

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный горный университет»



Кафедра горного дела



VII Международная научно-техническая конференция  
«ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ  
И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ»

10-11 апреля 2018 г.  
Сборник докладов

Ответственный за выпуск  
*доктор технических наук, профессор Н. Г. Валиев*

Екатеринбург – 2018

Оргкомитет: **Валиев Н. Г.** первый проректор УГГУ, зав. кафедрой горного дела, д.т.н., проф.  
**Лель Ю. И.** зав. каф. разработки месторождений открытым способом УГГУ, д.т.н., проф.  
**Лебедев Ю. В.** зав. каф. геодезии и кадастров УГГУ, д. т. н., проф.  
**Соколов И. В.** – зав. лабораторией подземной геотехнологии ИГД УрО РАН, д.т.н.  
**Набиуллин Ф. М.** – генеральный директор ООО «Березовский рудник»  
**Салахиев Р. Г.** – главный инженер ОАО «Ураласбест»  
**Кутенев А. А.** – советник генерального директора ОАО «УралАТИ», к.т.н.  
**Котляров В. В.** – технический директор ЗАО «Урупский ГОК», к.т.н.  
**Здоровец И. Л.** – главный инженер артели старателей «Нейва»  
**Кокарев К. В.** – доц. кафедры горного дела, к.т.н.  
**Арефьев С. А.** – доц. кафедры горного дела, к.т.н.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета  
Уральского государственного горного университета

Оргкомитет не несет ответственности за содержание опубликованных материалов.  
Эта книга или ее часть не могут быть воспроизведены  
в любой форме без письменного разрешения издателей

М 43 **VII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений»**, г. Екатеринбург, 10-11 апреля 2018 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 9-18 апреля 2018 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 523 с.

Доклады VII Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» в рамках Уральской горнопромышленной декады в Уральском государственном горном университете посвящены обсуждению результатов фундаментальных и прикладных исследований по проблемам наук о Земле, вопросам, связанным с использованием компьютерных технологий в горном деле, внедрению новых методов геометризации и прогнозирования состояния геологической среды, повышению уровня подготовки горных инженеров.

Публикуемые материалы могут представлять интерес для студентов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего профессионального образования в области горного дела, а также для специалистов науки и производства горнопромышленного комплекса.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>ПОДЗЕМНАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ</b> .....  | 9  |
| ВАЛИЕВ Н. Г., ПРОПП В. Д., ОСИНЦЕВ В. А., БЕРКОВИЧ В. Х. Способ разработки мощных рудных месторождений.....   | 9  |
| ЛАТЫШЕВ О. Г., ПРИЩЕПА Д. В. Статистическое моделирование контура выработки при буровзрывном способе проходки.....  | 11 |
| ВАЛИЕВ Н. Г., БЕРКОВИЧ В. Х., ПРОПП В. Д. Варианты технических решений по отработке рудных тел различной мощности камерно-столбовой системой разработки (для условий разработки месторождений бокситов АО «Севуралбокситруда»)..... | 17 |
| МИРОНЕНКО И. А., ПРОТАСОВ С. И. Проблемы переукладки гидроотвалов четвертичных вскрышных пород.....   | 22 |
| МАНИН Ю. А., МЕЛЬНИКОВ А. Е. Торкрет-смеси МБВ и опыт их применения при креплении подземных горных выработок.....   | 26 |
| БЕЛОГОРОДЦЕВ О. В., АМОСОВ П. В., ХОМКИН Е. Е. Особенности технологии подземных горных работ при отработке блоков, выходящих на поверхность.....  | 34 |
| ВЬЮГОВ А. А., МАЖИТОВ А. М., ГНЕДЫХ А. П., КРАСАВИН А. В. Опытные-промышленные испытания камерной системы разработки с инъекционным упрочнением закладочного массива в условиях Сафьяновского месторождения.....                    | 42 |
| ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В., ГУСМАНОВ Ф. Ф., КУЗНЕЦОВ А. М. Анализ геотехнологий со снижением зольности отбитого угля и размещением пустых пород в шахте.....  | 48 |
| ВАНДЫШЕВ А. М., ТЮЛЬКИН В. П. Технологические схемы отработки мощных бурогольных пластов Средней Азии.....  | 55 |
| ВАНДЫШЕВ А. М., ТЮЛЬКИН В. П., КОКАРЕВ К. В. Обоснование конструктивных параметров технологических схем разработки мощных пологих пластов.....  | 61 |
| КОРНИЛКОВ М. В., ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В. Разработка рациональных конструкций арочных крепей с управляющими силовыми воздействиями.....   | 65 |
| ЕРМОЛАЕВ А. И., ТЕТЕРЕВ Н. А. Ударно-воздушные волны при взрывах сульфидной пыли.....   | 71 |
| ОСИПОВА И. А. Модель представления информации в процессе проектирования и эксплуатации месторождения способом скважинного подземного выщелачивания.....   | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| БУДНИК Д. Р. К вопросу испытаний различных видов крепей подземных горных выработок .....   | 79  |
| СМИРНОВ А. А., БАРАНОВСКИЙ К. В., РОЖКОВ А. А. Способ массовой отбойки скальных руд.....   | 84  |
| НИКИТИН И. В. Эффективность вскрытия нижних горизонтов Ветренского подземного рудника автотранспортным уклоном .....   | 90  |
| СОКОЛОВ И. В., АНТИПИН Ю. Г., СОЛОМЕИН Ю. М. Схема доставки и транспортирования с двухступенчатым перепуском руды при разработке золоторудного месторождения .....   | 96  |
| СОКОЛОВ И. В., БАРАНОВСКИЙ К. В., ГОБОВ Н. В. Технические решения при отработке удаленных маломощных рудных тел.....   | 102 |
| ЭШМУРОДОВ З. О., ШЕРМУРОВОДА М. Ф., ХОЛБОВЕВ F. O. Модернизация систем управления электроприводов шахтных подъемных машин .....  | 107 |
| МАНИН А. А., ЕГОРОВ М. А., ПОЛУЛЯХ А. И. Закладочные работы на строящемся «Юбилейном» подземном руднике.....   | 111 |
| ТАНКОВ М. С. Опыт внедрения новых технологических решений, разработанных отделом горной науки ОАО «Уралмеханобр» на рудниках УГМК и АЛРОСА .....   | 116 |
| ВАЖЕНИН Л. А., ВАЛИЕВ Н. Г., КОКАРЕВ К. В., ПУНДИК Е. О. Использование технологических схем разработки пологих угольных пластов средней мощности столбами по восстанию при различной мощности наносов..... | 122 |
| <b>ОТКРЫТАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ</b> .....  | 127 |
| ЖАРИКОВ С. Н., КУТУЕВ В. А. Принцип сравнительного анализа методик для расчёта удельного расхода ВВ.....   | 127 |
| ФЛЯГИН А. С., КУТУЕВ В. А. Применение локализаторов взрыва «ФОНТАН» на предприятиях Урала.....   | 136 |
| ВАЛИЕВ Н. Г., СТАРЦЕВ В. А. Скважинно-гидравлическая разработка суглинистых россыпей с направленным бурением .....   | 140 |
| САПЕГИН Ю. К. Техника и технологии для безвзрывной разработки горных пород в карьерах .....  | 145 |
| САПЕГИН Ю. К. Способ доработки кимберлитовых месторождений открытым способом .....   | 149 |
| АКИШЕВ А. Н., ЗЫРЯНОВ И. В., ЛЕЛЬ Ю. И., ГЛЕБОВ И. А. Инновационная схема вскрытия и разработки глубоких горизонтов карьера «Нюрбинский» АК «АЛРОСА».....  | 153 |

|  |     |
|--|-----|
| ТУРСУНОВ Б. Ж., БОТИРОВ Т. В., ТАШПУЛАТОВ Д. К.,<br>ХАЙРУЛЛАЕВ Б. И. Перспектива применения оптимального процесса<br>рудоотделения в карьере Мурунтау .....                          | 160 |
| ТУРСУНОВ Б. Ж., ТАШПУЛАТОВ Д. К. Эффективность применения<br>предварительного обогащения руд в карьере Кальмакир.....  | 165 |
| СИНИЦЫН В. А., МЕНЬШИКОВ П. В., КУТУЕВ В. А., ШЕМЕНЕВ В. Г.<br>Определение качества смешивания компонентов взрывчатой смеси при<br>заряжении эмульсионных взрывчатых веществ .....   | 169 |
| ЧЕБАН А. Ю., СЕКИСОВ Г. В., ХРУНИНА Н. П. Технология открытых<br>горных работ с применением добычного агрегата .....   | 173 |
| ЧЕБАН А. Ю., СЕКИСОВ Г. В., ХРУНИНА Н. П. Совершенствование<br>технологий открытой разработки сложноструктурных месторождений с<br>применением машин послыйного фрезерования.....    | 176 |
| ЯКИМЕНКО Д. В. Технология разработки месторождений с применением<br>фрезерных машин и усовершенствованных скреперов .....  | 182 |
| КОРОСТОВЕНКО В. В., МОРОЗОВА Н. В., ЕГОРОВА Е. Л., МОРОЗОВ<br>В. Н. К расчету намывочного коэффициента при выделении<br>промышленного контура россыпи в вертикальной плоскости ..... | 186 |
| ШКАРУБА Н. А., КИСЛЯКОВ В. Е., ШАРЫПОВ Н. А. Длина струи<br>гидромонитора при наличии в воде тонкодисперсных грунтовых частиц  | 193 |
| РОМАШКИН Ю. В., СИДОРОВ В. В. Анализ производства вскрышных<br>работ при комбинированной системе разработки Черногорского<br>каменноугольного месторождения.....                     | 197 |
| БИЛИН А. Л., БЕЛОГОРОДЦЕВ О. В. Развитие принципов определения<br>границ карьеров на мощных крутопадающих месторождениях .....   | 202 |
| ЛЕЛЬ Ю. И., ИВАНОВА О. А., МУСИХИНА О. В., ГЛЕБОВ И. А.<br>Энергетические перспективы карьерного автомобильного транспорта ...   | 210 |
| БАХТУРИН Ю. А. Имитационное моделирование системы<br>железнодорожного транспорта карьера ОАО «Ураласбест».....   | 215 |
| БАХТУРИН Ю. А. Инновационные технические решения обеспечения<br>безопасности эксплуатации подвижного состава карьерного<br>железнодорожного транспорта .....                         | 224 |
| СТЕНИН Ю. В., АРЕФЬЕВ С. А., ЯКУШЕВ П. Е. Основные принципы и<br>роль уплотнения в процессе строительства карьерных автодорог .....  | 230 |
| СТЕНИН Ю. В., ГАНИЕВ Р. С., ВЕТРОВ П. А. Анализ и оценка<br>технологического риска погрузочно-транспортного процесса карьеров с<br>автотранспортом.....                              | 235 |

|   |     |
|---|-----|
| ВАЛИЕВ Н. Г., БОЙКОВ И. С. Определение коэффициента фильтрации титан-циркониевых песков месторождения «Центральное».....                                    | 240 |
| САНДРИГАЙЛО И. Н., АРЕФЬЕВ С. А., ВЕЛИЧКИН Д. Е. Опыт эксплуатации гидравлического экскаватора на месторождении «50 лет октября».....                       | 243 |
| <b>ГЕОМЕХАНИКА</b> .....  | 250 |
| ЛАТЫШЕВ О. Г., КАЗАК О. О. Прогноз эффективности использования поверхностно-активных веществ в процессах бурения горных пород .....                         | 250 |
| БАЛЕК А. Е., ПАНЖИН А. А., КОНОВАЛОВА Ю. П., МЕЛЬНИК Д. Е. Особенности напряженного состояния горного массива Соколовского железорудного месторождения..... | 256 |
| ИМАШЕВ А. Ж., БАХТЫБАЕВ Н. Б., ТАХАНОВ Д. К., СУИМБАЕВА А. М. Оценка геомеханического состояния приконтурной части массива горных пород.....                | 265 |
| ПОЛОВОВ Б. Д., КОРНИЛКОВ М. В., ВОЛКОВ М. Н., КАНКОВ Е. В. Обеспечение геомеханической безопасности и эффективности горнотехнических объектов .....         | 269 |
| ЛАТЫШЕВ О. Г., ФЛЯГИН А. С. Исследование процессов отбойки горных пород с использованием невзрывчатых разрушающих средств (НРС).....                        | 275 |
| ПАНЖИН А. А., САШУРИН А. Д., ПАНЖИНА Н. А. Исследование напряженно-деформированного состояния массива в районе Киембаевского карьера.....                   | 284 |
| ИВАНЧИН Е. А., ФЕДЮКОВ А. А. Особенности распределения напряжений при восходящем порядке отработки мощных рудных залежей .....                              | 290 |
| ХАРИСОВ Т. Ф. Обеспечение устойчивости бортов карьера в тектонически напряжённом массиве горных пород.....  | 295 |
| ДАЛАТКАЗИН Т. Ш. Изучение механизма формирования оползней в Коршуновском карьере.....   | 305 |
| ХАРИСОВА О. Д. Исследование процессов объемного деформирования подрабатываемых зданий и сооружений .....  | 312 |
| КАЮМОВА А. Н. О проблеме актуализации нормативной документации для изысканий в районах развития опасных природных и техноприродных процессов.....           | 320 |
| ЗАМЯТИН А. Л. Изучение состояния массива горных пород для обеспечения устойчивости борта карьера .....  | 325 |
| НУРИДДИНОВ Ф. А. Определение величины зоны уплотнения грунта при взрыве сферического заряда.....  | 330 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ<br/>НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ</b> .....  | 335 |
| КОВАЛЕВ Р. Н., ПОПОВ А. М. Утилизация и переработка твердых<br>отходов как важнейшая проблема современной цивилизации .....  | 335 |
| ЛЕБЕДЕВ Ю. В., КОВАЛЕВ Р. Н., КОКОВИН П. А. Обоснование<br>фундаментальной научной основы устойчивого развития территорий ....   | 342 |
| КОВАЛЕВ Р. Н., ЛЕБЕДЕВ Ю. В. «Зелёная» экономика: отход от догм  | 353 |
| КОЛЧИНА М. Е., КОНОВАЛОВ В. Е. Вопросы устойчивого развития<br>территорий промышленных городов Урала.....  | 360 |
| КОНОВАЛОВ В. Е., БЕДРИНА С. А., ЕРШОВА Т. Л. Основные факторы,<br>влияющие на кадастровую стоимость земель горнопромышленных<br>территорий .....   | 369 |
| БИЛИН А. Л. Проблема возрождения редкоземельной промышленности<br>России .....   | 373 |
| БОРИСОВА Ю. С. Анализ использования земель промышленности и<br>иного специального назначения на территории Свердловской области в<br>рамках мониторинга окружающей среды.....  | 380 |
| ШИПИЛОВА Е. В., БОЛОТНИКОВА Е. Н., ЛЕБЕДЕВ Ю. В. Состояние<br>социальной сферы в промышленных регионах (на примере Среднего<br>Урала) .....  | 384 |
| ЛЕБЕДЕВА Т. А., ИВАНОВА Н. С., КОЛТУНЕНКО А. Д. Лесные земли<br>как объект системного мониторинга и комплексной оценки в<br>промышленных регионах .....  | 393 |
| ЛЕБЕДЕВ М. Ю., КРЫЛОВ В. Г., ЛЕБЕДЕВ Ю. В. Криптовалюта и<br>недропользование.....   | 400 |
| КОНОВАЛОВ В. Е., КОЛЧИНА М. Е. Проблемы использования и охраны<br>земель горнопромышленных территорий Уральского региона и пути их<br>решения .....  | 404 |
| КОЛЧИНА Н. В. Проблемы внесения сведений в единый государственный<br>реестр недвижимости о ранее учтенных земельных участках .....   | 412 |
| ЛЕГОТИН Ф. Я. Понижительная себестоимость инновационных<br>геотехнологий при разработке рудных месторождений.....  | 418 |
| ХОХРЯКОВ А. В., СТУДЕНОК А. Г., ОЛЬХОВСКИЙ А. М., СТУДЕНОК<br>Г. А. Геотехнологическое и экологическое обоснование технологии<br>очистки дренажных вод горного предприятия от соединений азота в<br>отработанной горной выработке..... | 430 |
| БЕЛОВ В. В., КРУПИНИН Н. Я., ЛЕБЕДЕВ Ю. В. Альтернативная<br>энергетика: мифы и реалии .....   | 437 |

|  |     |
|--|-----|
| КРЫЛОВ В. Г., ЛЕБЕДЕВ Ю. В. История цифровой экономики .....   | 447 |
| <b>КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....   | 454 |
| БАБИЧ В. Н., КРЕМЛЕВ А. Г. Анализ проблематики информационно-математического моделирования .....   | 454 |
| БАБИЧ В. Н., СИРАЗУТДИНОВА Н. Б. Общие понятия о целой размерности.....  | 460 |
| САМОХВАЛОВ Ю. И. Характеристика Л. Эйлера для различных форм графов.....   | 466 |
| КАБУЛОВ А. В., КАЛАНДАРОВ И. И. Описание архитектуры алгоритмической системы Атлас.....  | 470 |
| АКУЛОВА Е. А. Определение координат при описании границ горного отвода.....  | 476 |
| ЛАТИПОВ Ш. Б., ХАШИМОВА Ф. С. Абсорбционный спектральный анализ при контроле сорбционной технологии методами фотоколориметрии и спектрофотометрии.....               | 484 |
| ФАЙЗУЛЛИН Р. М., КАРЯКИН А. Л. О концепции развития элементов интеллектуальной энергосистемы.....  | 489 |
| <b>ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ</b> .....   | 492 |
| САВИНА Т. Е. Трудности обучения геометро-графическим дисциплинам, и в частности начертательной геометрии .....   | 492 |
| ШАНГИНА Е. И. Современная методология геометро-графического образования.....   | 494 |
| ШАНГИНА Е. И. Технология реализации самостоятельной работы при решении задач.....  | 503 |
| ДЕНИСОВ М. А. Организация коллективной научной работы магистрантов для разработки современных методов расчета типового энергетического оборудования.....             | 510 |
| ДЕНИСОВ М. А., ЗВОНАРЕВ К. В., ЧЕРНЫХ В. Н. Геометро-графическое моделирование в магистратуре УрФУ при изучении дисциплин, базирующихся на компьютерной графике..... | 515 |
| ДЕНИСОВА М. В. Этапы повышения компетенций при интеграции в процесс обучения визуализации как продукта компьютерных технологий .....                                 | 519 |

# ПОДЗЕМНАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.272:622.34

## СПОСОБ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ВАЛИЕВ Н. Г., ПРОПП В. Д., ОСИНЦЕВ В. А., БЕРКОВИЧ В. Х.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье излагается сущность способа подземной разработки мощных рудных месторождений, включающего массовый выпуск отбитой руды под опускающейся «плавающей» потолочиной и обеспечивающего полноту и качество извлечения руды.

**Ключевые слова:** подземная разработка, выпуск руды, «плавающая» потолочина, инъекционные скважины, камерные запасы, междукамерный целик.

## METHOD FOR DEVELOPING WIDTH ORE DEPOSITS

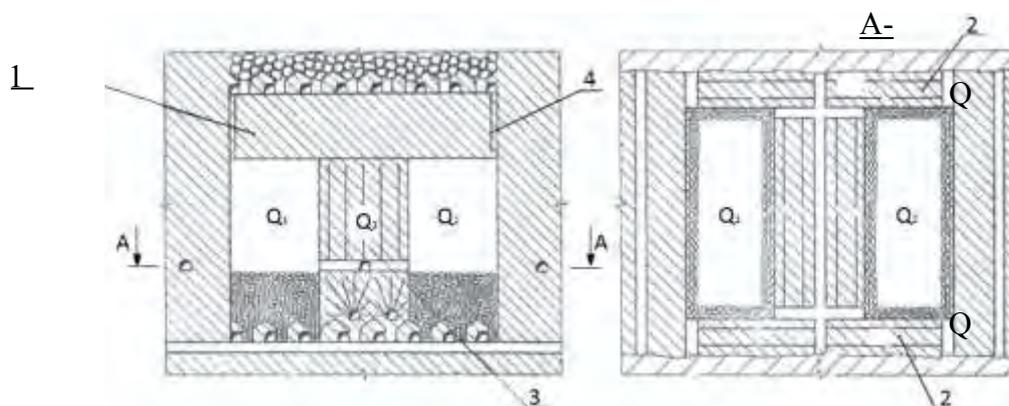
VALIEV N. G., PROPP V. D., OSINTSEV V. A., BERKOVICH V. Kh.

**Abstract.** The article describes the essence of the method of underground mining of powerful ore deposits, including the mass production of churned ore under a descending "floating" ceiling and ensuring the completeness and quality of ore extraction.

**Keywords:** underground mining, ore production, floating ceilings, injection wells, chamber reserves, interlock chamber.

Предлагаемый способ разработки мощных рудных месторождений может быть использован при подземной добыче полезных ископаемых в условиях обрушения налегающих пород. Он включает принудительное обрушение руды, отрезку потолочины в массиве над обрабатываемым блоком, разделенным на камеры и целики, и выпуск отбитой руды под опускающейся «плавающей» потолочиной. При невозможности повторного использования потолочины осуществляют ее погашение после посадки на днище блока.

Способ разработки осуществляется следующим образом (рис. 1).



**Рис. 1. Вертикальный разрез блока в период выпуска камерных запасов руды:**

1 – «плавающая» потолочина; 2 – рудные целики со стороны висячего и лежащего боков; 3 – междукамерный целик; 4 – взрывные скважины

В период подготовки блока к очистной выемке производят отрезку потолочины 1 и оставление целиков 2 в виде рудной «корки» со стороны висячего и лежачего боков рудного тела. Затем производят разбуривание камерных запасов блока с последующим их обрушением. Осуществляют планомерный выпуск руды из камер до тех пор, пока объемы компенсации  $Q_1$  и  $Q_2$ , создаваемые в результате выпуска камерных запасов, не достигнут величины, достаточной для нормального разрыхления обрушенных запасов руды, сосредоточенных в междукамерном целике (МКЦ) 3 и в целиках рудной «корки» 2:

$$Q_1 + Q_2 = (Q_3 + Q_4 + Q_5) \cdot K_p,$$

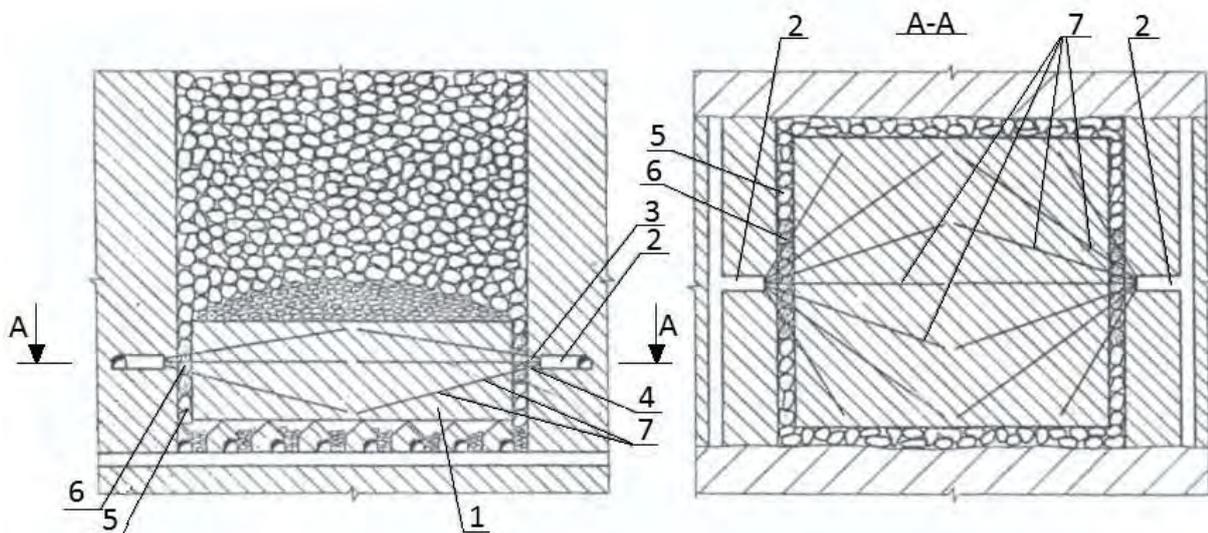
где  $Q_3$  – запасы руды, сосредоточенные в МКЦ, т;

$Q_4, Q_5$  – запасы руды, сосредоточенные в целиках рудной «корки», т;

$K_p$  – коэффициент разрыхления руды.

После этого разбуривают МКЦ и целики рудной «корки» и отрезают потолочину с двух других ее сторон взрыванием скважин 4.

Затем после обрушения запасов руды МКЦ и в целиках рудной «корки» приступают к их выпуску под опускающейся потолочиной до момента ее посадки на днище блока. Если условия для повторного использования потолочины в период отработки нижележащих блоков отсутствуют, то осуществляют ее погашение (рис. 2). Для этого из буровой выработки 2, пройденной с оставлением целика 4 бурят инъекционные скважины 3, через которые нагнетают твердеющую смесь в породы, заполняющие отрезные щели 5. После набора твердеющей смесью нормативной прочности из инъекционных скважин по заинъектированным породам 6 обруивают потолочину взрывными скважинами 7. Затем запасы руды в потолочине обрушают и приступают к их выпуску.



**Рис. 2. Вертикальный разрез блока в период посадки потолочины на днище:**

1 – потолочина; 2 – буровая выработка; 3 – рудный целик; 4 – инъекционные скважины;  
5 – отрезная щель; 6 – заинъектированные породы; 7 – взрывные скважины

Преимущества предлагаемого способа заключаются в повышении эффективности разработки мощных рудных месторождений за счет снижения потерь и разубоживания отбитой руды при ее выпуске под «плавающей» потолочины.

В способе за счет отрезки потолочины в период подготовки блока лишь с двух сторон (со стороны висячего и лежачего боков) и сохранения там части рудного массива в виде рудной «корки» исключается проникновение пустых налегающих пород через отрезные щели во время выпуска основных камерных запасов отбитой руды в блоке. Кроме того, оставление рудной «корки» предотвращает разубоживание руды от отслоившихся пород висячего и лежачего боков рудного тела. Это позволяет уменьшить разубоживание руды при выпуске.

Сохранение части рудного массива в виде рудной «корки» позволяет также за счет возможности изменения ее толщины применять способ при изменяющейся мощности рудного тела. Это, в свою очередь, позволяет исключить зависание потолочины при уменьшении мощности рудного тела, а также позволяет исключить прорывы пустых пород при увеличении мощности рудного тела, что ведет к снижению потерь и разубоживания руды.

Предлагаемый способ разработки предусматривает также, в случае невозможности повторного использования потолочины, ее погашение после посадки на днище блока. Это позволяет значительно повысить эффективность отработки запасов за счет сокращения потерь руды в целом по блоку.

УДК 622.278

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРА ВЫРАБОТКИ ПРИ БУРОВЗРЫВНОМ СПОСОБЕ ПРОХОДКИ

ЛАТЬШЕВ О. Г., ПРИЩЕПА Д. В.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация:** Результаты производства буровзрывных работ (БВР) определяются множеством случайных независимых факторов. Поэтому формируемый в результате единичного взрывания контур горной выработки является лишь одной из множества вероятностных его реализаций. В этой связи эффективным средством исследования технологии проходки является статистическое моделирование выработки на основе метода Монте-Карло. В работе обсуждаются способы компьютерной реализации метода на основе представления горной выработки как фрактального объекта. Математической основой моделей являются уравнения фрактального броуновского движения. Модели адаптированы к характеристикам паспорта БВР, в частности, к расположению контурных шпуров. Формируемый контур выработки определяется их параметрами путем использования метода «срединных смещений». Вероятностную природу параметров БВР, определяемую горно-геологическими условиями и реализуемой схемой взрывания, отражает использование в моделях алгоритма Фосса. Сопоставление результатов моделирования с характеристиками реальных взрывных работ показало адекватность моделей. Их использование создает необходимую базу для исследования и совершенствования технологии проходки выработок и, в частности, контурного взрывания.

**Ключевые слова:** подземная выработка, фрактальный анализ, статистическая модель, буровзрывные работы, прогноз.

# STATISTICAL MODELLING OF THE DEVELOPMENT LINE IN DRILLING-AND-BLASTING TECHNIQUE

LATYSHEV O.G., PRISHCHEPA D.V.  
Ural State Mining University

**Abstract:** The results of the performed drilling and blasting operations (DBO) are defined with many random independent factors. Thus, the rock development line obtained as a result of a single blasting operation is only one of its multiple probabilistic implementations. In this regard, statistical modelling of development based on Monte-Carlo method is an efficient mean of the development technique examination. The paper addresses the ways of the machine-assisted method implementation based on presentation of the mine as a fractal facility. The fractal Brownian motion equations are the mathematical basis of the models. The models are adapted to the characteristics of the DBO pattern, in particular, to the location of the line blastholes. Produced development line is determined by their parameters by using the "medial offsets" method. The probabilistic nature of the DBO parameters determined by the mining and geological conditions and the implemented blasting scheme is reflected by use of the Voss algorithm in the models. Comparison of the modelling results with the characteristics of actual blasting operations showed adequacy of the models. Their use creates a necessary basis for research and improvement of the excavation technology and, in particular, line blasting.

**Keywords:** underground excavation, fractal analysis, statistical model, drilling and blasting operations, forecast.

Преобладающим способом проходки выработок в скальных породах являются буровзрывные работы (БВР). Результаты производства буровзрывных работ, т. е. формирование контура подземных выработок определяются множеством случайных независимых факторов: свойства и состояние взрывааемых пород, характеристики ВВ, параметры паспорта БВР и др. Поэтому при каждом единичном взрыве получаемые очертания контура выработки являются вероятностной реализацией одной из бесконечного множества возможностей. В этой связи эффективным средством исследования процесса служит статистическое (имитационное) моделирование, основанное на методе Монте-Карло [1, 2].

Рассмотрим принципы построения модели формирования контура подземной выработки в проходке, основанной на генерации случайных чисел. Сечения и поверхность горной выработки представляют собой фрактальные объекты [3]. Степень неровностей (изломанности) ее контура адекватно оцениваются фрактальной размерностью сечения  $d_f$ . Задачей первого этапа моделирования является генерация отклонений контура выработки от проектного в процессе ее проходки. Базой являются координаты проектного сечения выработки. Удобным и наглядным способом реализации такой модели служит компьютерная графика, а ее инструментарий базируется на теории итерированных функций [4]. В общем случае итерированные функции задают пошаговое изменение некоторого объекта в соответствии с заданным алгоритмом. Для графической реализации модели используется «тертл-графика» (*turtle* – черепаха). При этом точка (черепашка) движется по линии проектного сечения выработки дискретными шагами, прочерчивая свой след. Уравнения ее движения:

$$\begin{cases} x_{i+1} = x_i + \Delta a_i \sin \beta_i; \\ y_{i+1} = y_i + \Delta a_i \cos \beta_i. \end{cases} \quad (1)$$

Угол поворота траектории  $\beta$  по известным параметрам распределения определит начальный угол развития трещины, т. е. первой итерации. На последующих шагах для учета «эффекта памяти» за исходный угол  $\beta$  следует брать его величину на предыдущей итерации и на данном шаге генерировать лишь отклонение от этого угла по установленному закону распределения.

Приращения координат  $\Delta a_i$  определяются моделью фрактального броуновского движения [5]. В этом случае приращение:  $\Delta x = x(t_2) - x(t_1)$  есть случайная величина, имеющая нормальное распределение вида:

$$P(\Delta x < x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(t_2 - t_1)^H} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{u}{\sigma(t_2 - t_1)^H}\right)^2\right] du, \quad (2)$$

где  $u$  – равномерно распределенная в интервале от 0 до 1 случайная величина.

Математическое ожидание приращений, т. е. их средняя величина, составит:

$$M[|x(t_2) - x(t_1)|] = \sqrt{2/\pi} \sigma(t_2 - t_1)^H. \quad (3)$$

Здесь  $\sigma = D/K_m$  – масштаб моделирования, определяемый заданным стандартным отклонением  $D$  и нормирующим коэффициентом  $D/K_m$ . Нормирующий коэффициент зависит от масштаба (шага) моделирования:  $K_m = |\Delta x|^{(2-d)/H}$ .  $H$  – показатель Гёльдера – в данном случае положительная равномерно распределенная величина в интервале от 0 до 1 (генерируется датчиком случайных чисел  $u_i$ ).

Исходными данными модели служат характеристики реальной технологии проходки выработки в данных горно-геологических условиях или результаты теоретического анализа проходческих процессов. На рис. 1 приведен пример реализации модели, формирующей поверхность горной выработки.

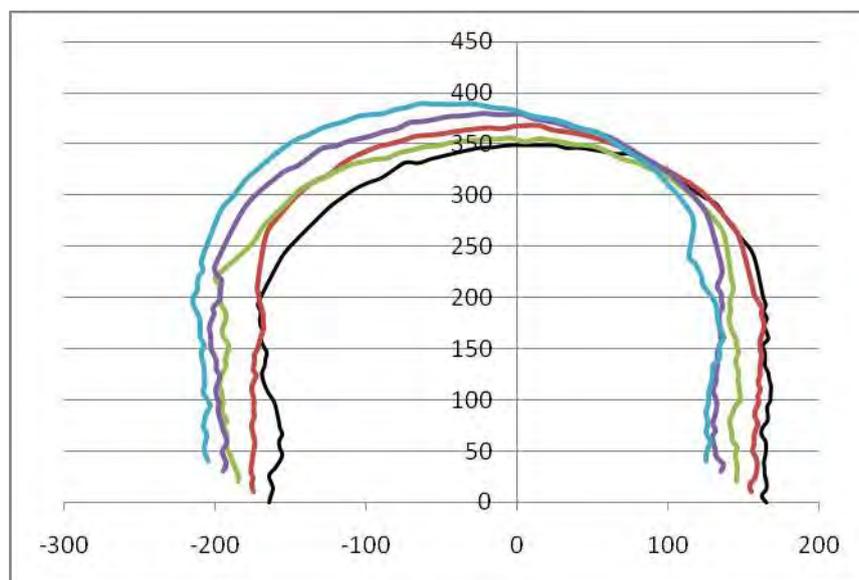


Рис. 1. Результаты реализации статистической модели (размеры в см)

На выходе модели предусмотрено автоматическое фиксирование результатов генерации и фрактальный анализ сечений и поверхности выработки в проходке. Методы и компьютерные программы фрактального анализа детально проработаны применительно к природным трещинам и изложены в работах [6, 7].

Контуры выработки формируются в результате реализации паспорта буровзрывных работ. Поэтому следующим этапом моделирования является введение в модель параметров БВР. В частности, линия контура заведомо должна проходить по точкам, заданным координатами контурных шпуров. Для реализации такой модели использован метод «срединных смещений» [4]. Идея метода состоит в вычислении случайного смещения точки, находящейся посередине отрезка прямой, соединяющей узловые точки. Затем определяется срединное смещение полученных  $2, 4, 8, \dots, 2^{(n+1)/2}$  отрезков, где  $n$  – число требуемых шагов (итераций).

С каждым шагом моделирования длина рассматриваемых отрезков уменьшается, и в этой связи срединные смещения  $\Delta y$  также должны уменьшаться в пропорции:

$$\Delta y(t) = \frac{1}{2^{kH}} \sigma \sqrt{1 - 2^{2H-2}} g, \quad (4)$$

$$t = k/2^n \text{ при } k = 0, 1, \dots, 2^n,$$

где  $g$  – случайные нормально распределенные числа;  $H = 2 - d_f$ . При этом предполагается, что фрактальная размерность  $d_f$  линии контура выработки известна по результатам изучения условий проходки в данных горно-геологических условиях или определена в вышеизложенной версии модели.

В такой модели сгенерированный контур выработки точно соответствует расположению контурных шпуров с учетом их длины, угла наклона и коэффициента использования (КИШ). Однако опыт производства БВР свидетельствует, что такого соответствия достичь не удастся. Это обусловлено рядом случайных факторов: неоднородностью состава и строения породного массива, неточностью бурения шпуров, влиянием взрыва соседних зарядов и пр. Все это в совокупности можно учесть средним квадратическим отклонением шпуров от их проектного положения  $S$ . Учесть это в модели позволяет алгоритм Фосса (*Voss R. F.*) [8].

В одномерном случае алгоритм Фосса представляет собой рекурсивную последовательность сложений значений некоторой псевдослучайной функции  $x_{i-1}$  случайными приращениями  $\Delta x_i$ :

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x_i, \quad (5)$$

где  $\Delta x_i$  – значения несмещенной нормально распределенной случайной величины с заданным средним квадратическим отклонением  $S_i$ .

Применительно к рассматриваемой модели реализация алгоритма Фосса осуществляется следующим образом. Полученный описанным выше методом срединных смещений контур выработки проецируется на линию проектного контура. Образуется некоторая последовательность точек координат траектории  $x = f(t)$ , где  $t$  – проекция траектории контура на ось абсцисс. Производим  $i$  шагов генерации точек. Коэффициент разбиения:  $r = \Delta t_i / \Delta t_{i-1}$ , где  $\Delta t_i$  и  $\Delta t_{i-1}$  – приращения по независимой переменной для двух последовательных поколений.

Среднее квадратическое отклонение приращений:

$$S_i = S_{i-1} \cdot r^H, \quad (6)$$

где  $H$  – показатель Гёльдера ( $0 < H < 1$ ), т. е.  $S$  непрерывно уменьшается от поколения к поколению. Этот показатель связан с фрактальной размерностью:  $H = 2 - d_f$ . В модели на каждом шаге итерации вычисляется среднее квадратическое отклонение по формуле (6) и с помощью генератора случайных чисел по формуле нормального распределения определяется величина приращений  $\Delta u_j$  и новые координаты  $y_i = y_{i-1} + \Delta u_i$ . Вновь полученные координаты пересчитываются (возвращаются) на изображение реального контура выработки.

Следующей задачей является адаптация модели к различным условиям взрывания в заданных горно-геологических условиях. В частности, в модели предусмотрены компьютерные программы, отражающие мероприятия по совершенствованию контурного взрывания: увеличение числа контурных шпуров и, следовательно, уменьшение расстояния между ними; бурение между зарядами холостых шпуров; изменение плотности заряжения контурных шпуров; изменение конструкции зарядов.

Отработка модели и оценка ее адекватности реальным условиям проходки выработок произведена по результатам внедрения контурного взрывания на Североуральских бокситовых рудниках, выполненного сотрудниками кафедры шахтного строительства УГГУ. Путем анализа результатов опытных взрываний определены соответствующие статистические характеристики, формирующие исходные данные описанных выше моделей. В качестве примера на рис. 2 приведена реализация модели формирования контура вскрывающего квершлага шахты «Ново-Кальинская» при проходке по типовому паспорту БВР.

Для повышения эффективности БВР предложена серия мероприятий по внедрению контурного взрывания, заключающихся в увеличении числа контурных шпуров и изменении конструкции зарядов и схем замедления. Введение в модель соответствующих данных позволила получить следующие результаты (рис. 3).

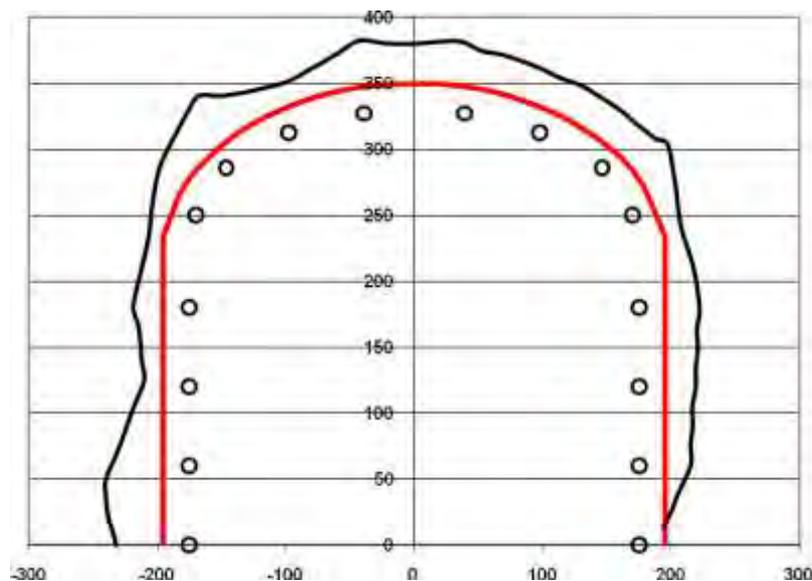
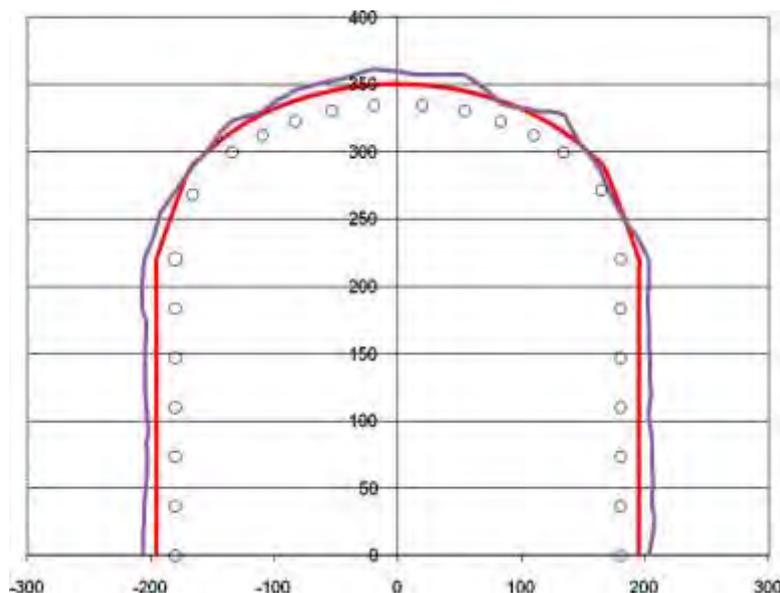


Рис. 2. Сечение квершлага в проходке по типовому паспорту БВР



**Рис. 3. Результаты моделирования контурного взрывания**

Сопоставление результатов опытного взрывания с модельными представлениями процесса показало адекватность предложенных статистических моделей. Их использование создает эффективную базу исследований и совершенствования технологии проходки подземных выработок.

#### **Список литературы**

1. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М.: Наука, 1978. – 64 с.
2. Хеерман, Д. В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике / Д. В. Хеерман. – М.: Наука, 1990. – 176 с.
3. Латышев, О. Г. Моделирование физических процессов в горном деле / О. Г. Латышев, М. Н. Волков. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. – 338 с.
4. Кроновер, Р. Фракталы и хаос в динамических системах / Р. Кроновер. – М.: Техносфера, 2006. - 488 с.
5. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: Изд-во: ИКИ, 2002. – 656 с.
6. Латышев, О. Г. Исследование трещинной структуры горных пород как фрактального объекта / О. Г. Латышев, М. В. Корнилов. – Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 156 с.
7. Латышев, О. Г. Исследование поверхности природных трещин как фрактального объекта / О. Г. Латышев, В. В. Франц, Д. В. Прищепа // Изв. вузов. Горный журнал. - 2016. - №3. – С. 44-50.
8. Москалев, П. В. Математическое моделирование пористых структур / П. В. Москалев, В. В. Шитов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. -170 с.

**ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОТРАБОТКЕ  
РУДНЫХ ТЕЛ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ КАМЕРНО-  
СТОЛБОВОЙ СИСТЕМОЙ РАЗРАБОТКИ (ДЛЯ УСЛОВИЙ  
РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОКСИТОВ  
АО «СЕВУРАЛБОКСИТРУДА»)**

ВАЛИЕВ Н. Г., БЕРКОВИЧ В. Х., ПРОПП В. Д.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье рассматриваются варианты технических решений по двухстадийной отработке рудных тел различной мощности в условиях динамических проявлений горного давления.

Главное преимущество предложенных вариантов состоит в возможности вывода горнорабочих из потенциально опасных зон, что значительно повысит безопасность очистных работ. Кроме того, расположение подготовительных выработок в подстилающих породах лежащего бока позволяет устранить очаги с повышенной концентрацией напряжений и, тем самым, снизить удароопасность отрабатываемого рудного массива.

**Ключевые слова:** система разработки, горные удары, подземные выработки, двухстадийная выемка, отбойка и выпуск руды, доставка руды силой взрыва, очистные камеры, барьерные целик, безопасность работ.

**VARIOUS TECHNICAL SOLUTIONS FOR PROCESSING AND  
ORE BODIES OF DIFFERENT CAPACITY CAMERA-PILLAR SYSTEM OF  
DEVELOPMENT (FOR THE CONDITIONS OF DEVELOPMENT OF BAUXITE  
DEPOSITS JSC "SEVURALBOKSITRUDA")**

VALIEV N. G., BERKOVICH V. Kh., PROPP V. D.  
Ural State Mining University

**Abstract.** In the article, variants of technical solutions for two-stage mining of ore bodies of various capacities under the conditions of dynamic manifestations of rock pressure are considered.

The main advantage of the proposed options is the ability to withdraw miners from potentially hazardous areas, which will significantly improve the safety of clearing works. In addition, the location of the preparatory excavations in the underlying rocks of the recumbent side makes it possible to eliminate foci with an increased concentration of stresses and, thereby, to reduce the shock hazard of the ore mass being processed.

**Keywords:** development system, mining impacts, underground workings, two-stage excavation, breaking and ore release, ore delivery by explosion force, cleaning chambers, barrier targets, work safety.

При эксплуатации месторождений на значительных глубинах повышается опасность производства горных работ и ухудшаются технико-экономические показатели добычи руды. Вместе с тем, с понижением уровня горных работ вследствие возрастания горного давления руды и породы переходят в предельное напряженное состояние, характеризующееся значительным снижением их устойчивости и возможностью возникновения горных ударов – наиболее опасной формы динамического разрушения массива.

В результате многолетних исследований по проблеме борьбы с горными ударами сформирован ряд основных требований по безопасному ведению горных работ на удароопасных месторождениях. Важнейшими из этих требований являются:

- общее развитие фронта очистных работ должно осуществляться в направлении от выработанных пространств на массив руды с минимальным количеством передовых выработок и без оставления целиков;

- полное исключение ведения очистных работ встречными и «догоняющими» очистными забоями;

- погашение выработанного пространства путем полной закладки либо полного обрушения пород висячего бока;

- запрет на применение систем разработки с общим движением очистных работ в направлении снизу вверх на уменьшающийся целик.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что для отработки удароопасных месторождений наиболее целесообразны системы разработки, предусматривающие сплошную бесцеликовую выемку руды с полным погашением выработанного пространства.

В связи с вышеизложенным, кафедрой горного дела Уральского государственного горного университета предлагается для применения сплошная «каскадная» система разработки, предусматривающая опережающую выемку камерных запасов в верхних панелях по отношению к нижним и размещением доставочных выработок в подстилающих породах под выработанным пространством.

Руду в каждой секции отбивают с ориентированием общей линии фронта очистных работ по направлению действия максимальных главных напряжений, что снижает опасность горных ударов за счет более равномерного распределения нормальных напряжений вокруг очистных камер.

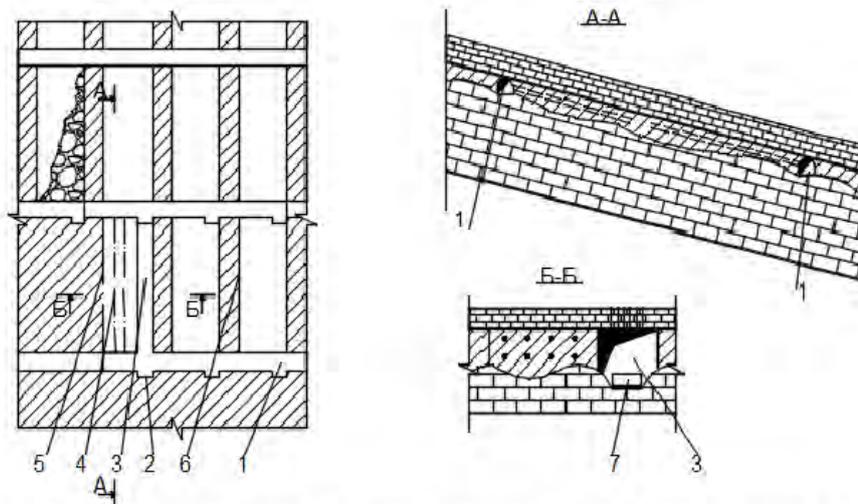
Сущность системы состоит в отработке участков месторождения панелями по-секционно (камера + опорный целик) со ступенчатым развитием фронта очистных работ и выемкой руды в секциях камерами сразу на всю мощность рудного тела. При этом все коммуникации переносятся в зону, не испытывающую значительных нагрузок со стороны окружающего их массива, рабочие забойной группы выводятся из районов с опасной концентрацией напряжений, что существенно повышает безопасность в случае динамических проявлений горного давления. Выемка руды камерами-секциями исключает резкий прирост опорного давления после образования очистного пространства. Кроме того, расположение выработок в разгруженной зоне дает возможность вести очистные работы в направлении рудного массива, не нарушенного передовыми выработками различного назначения, что обуславливает более плавное перераспределение опорного давления в краевой части рудного массива, а это, в свою очередь, снижает вероятность возникновения горных ударов.

Двухстадийность очистной выемки руды из блоков позволяет также за счет частичного извлечения руды из целиков и из углублений почвы «карманов» расширить область применения высокопроизводительной камерно-столбовой системы разработки.

Рассматривается несколько вариантов отработки рудных тел различной мощности.

**Первый вариант** рекомендуется применять для выемки руды на участках мощностью от 1,5 до 6,0 м. Подготовка блока к отработке заключается в проведении рудного восстающего из орта-заезда, расположенного в породах лежащего блока, из которого по мере развития фронта очистных работ на расстоянии 10 – 15 м друг от друга проходятся рудные панельные штреки.

В панелях очистные камеры чередуются с ленточными междукамерными или опорными целиками (рис. 1).



**Рис.1. Вариант сплошной камерной выемки рудных тел мощностью 1.5-6.0м**

1-панельный штрек; 2-камера скреперной лебедки; 3-рудоприемная траншея; 4-шпурь(скважина); 5-контур очистной камеры; 6-междукамерный (опорный) целик; 7-скреперный ковш.

Работы в пределах очистной камеры 5 начинаются с проходки рудоприемной траншеи (с подрывом пород лежачего бока) 3 и оборудования лебедочной ниши на панельном штреке 1, предназначенной для доставки рудной массы.

Руда в камере обрушивается шпурами 4 из верхнего и нижнего панельных штреков. Отбойка осуществляется со взрыводоставкой на рудоприемную траншею, затем отбитая рудная масса при помощи скреперной лебедки доставляется на панельный штрек и далее по нему до восстающего.

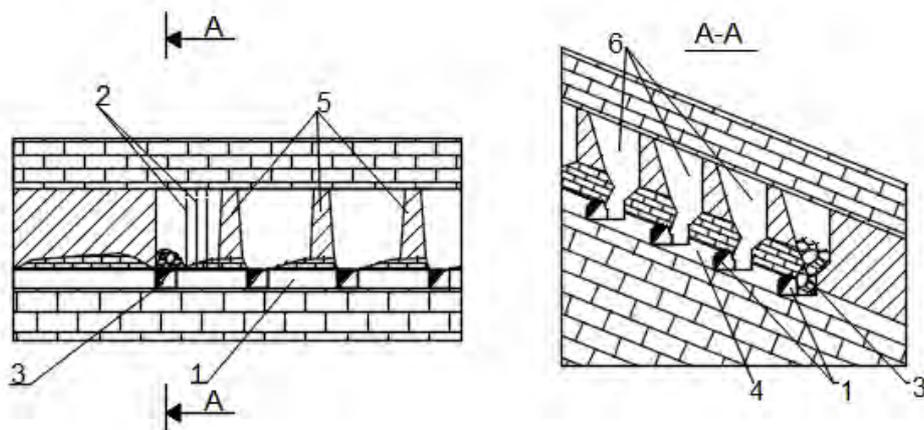
Варианты двухстадийной отработки блоков предусматривают оставление между камерами опорных или междукамерных целиков, обрушение которых производят одновременно с обрушением пород непосредственной кровли. Один из способов обрушения кровли заключается в проходке специальных буровых камер вне границ выемочного участка в породах висячего бока с последующим бурением и взрыванием скважин параллельно выработанному пространству.

**Второй вариант** рекомендуется применять при мощности рудного тела более  $6 \div 8$  м (рис. 2). Его отличительная особенность заключается в том, что выпуск отбитой руды из камер (I стадия) и из обрушенных опорных или междукамерных целиков (II стадия) осуществляется через выпускные дучки на выработки горизонта доставки, размещенные в устойчивых подстилающих породах лежачего бока.

Общий порядок отработки блока следующий. Вначале над местом расположения полевого восстающего, служащего для доставки рудной массы до откаточного горизонта, на всю мощность рудного тела обрабатывается рудная полоса шириной 15 – 20 м. Это позволяет снизить до минимума напряжения в месте расположения полевого восстающего.

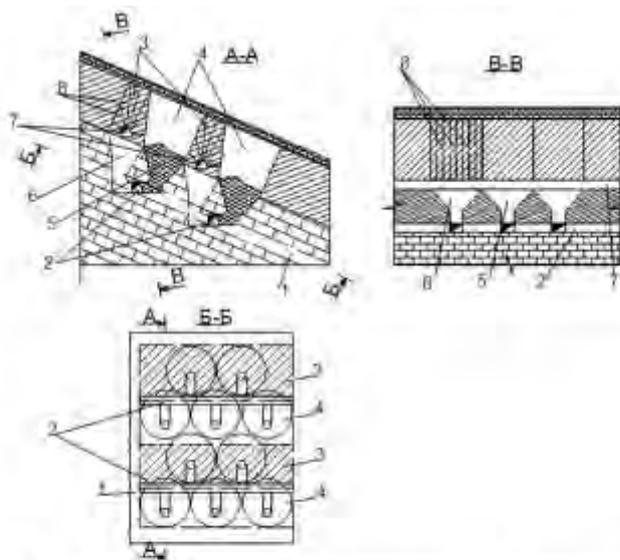
Затем проводится выемка камерных запасов. Очистные работы в каждой из камер начинаются с заглубления подэтажного штрека в лежачий бок, проходки до контакта с породами висячего бока залежи отрезного восстающего и создания отрезной щели.

Отбойка руды в междукамерных целиках осуществляется посредством взрывания веерных скважин, пробуренных из буровых штреков, одновременно с обрушением непосредственной кровли.



**Рис.2. Вариант сплошной камерной выемки мощных рудных тел**

1-доставочные штреки, пройденные по породам лежачего бока; 2-скважины; 3-выпукная дучка; 4-полевой восстающий; 5-опорные целики; 6-очистные камеры.



**Рис.3. Вариант отработки ленточных междукамерных целиков с использованием переносного оборудования и двухсторонним "шахматным" расположением выпускных дучек**

1-полевой восстающий; 2-штреки скрепирования; 3-междукамерные целики; 4-очистная камера; 5-выпускная дучка под камеру; 6-выпускная дучка под целик; 7-буровой штрек; 8-якер скважины.

Руда отбивается веерами скважин, пробуренных из доставочного штрека через породы лежачего бока.

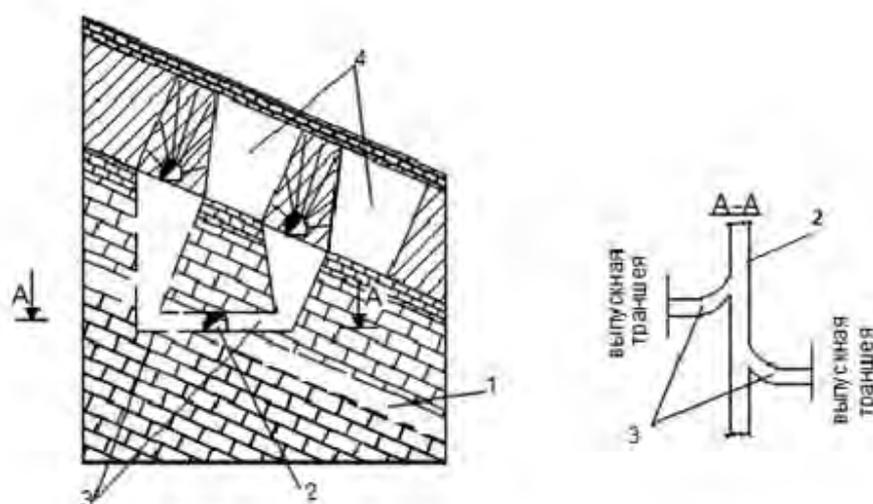
Рудная масса в пределах камеры доставляется силой взрыва до рудовыпускной дучки, откуда по штреку скрепирования доставляется до восстающего или до рудоспуска.

Выемка камерных запасов может осуществляться и по классическим схемам применения камерно-столбовой системы разработки.

Выемке запасов руды в ленточных междукамерных целиках, как было отмечено выше, предшествуют горно-подготовительные работы в породах лежачего бока по обо-

рудованию горизонта доставки, ориентированного на применение как переносного, так и самоходного погрузочно-доставочного оборудования.

В случае применения переносного оборудования выпуск руды осуществляется через выпускные выработки «дучки» (рис. 3), при применении самоходного погрузочно-доставочного оборудования – на выпускные траншеи (рис. 4).



**Рис.4. Вариант отработки междукammerных целиков с использованием самоходного погрузочно-доставочного оборудования**

1-полевой доставочный съезд; 2-доставочный штрек; 3-погрузочные камеры; 4-очистные камеры.

Главное преимущество предложенных вариантов – возможность вывода горнорабочих из потенциально опасной зоны. Кроме того, производство работ в ненарушенном проведении подготовительных выработок массиве позволяет устранить в конструктивных элементах системы разработки очаги с повышенной концентрацией напряжений и тем самым снизить удароопасность обрабатываемого рудного массива.

Применение предложенной технологии очистных работ для отработки участков, опасных по горным ударам, значительно повысит безопасность очистных работ и обеспечит необходимую производительность блока при более высоких показателях извлечения руды.

## ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕУКЛАДКИ ГИДРООТВАЛОВ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД

МИРОНЕНКО И. А., ПРОТАСОВ С. И.  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

**Аннотация.** Изложены аспекты разработки и перемещения четвертичных вскрышных пород, намытых в гидроотвалы, которые расположены над угленасыщенной зоной, и анализ производственного опыта ведения горных работ на гидроотвале № 3 разреза «Кедровский». Приведены результаты расчета несущей способности различных зон гидроотвала, что позволило обосновать безопасную и эффективную технологию их переукладки.

**Ключевые слова:** гидроотвалы четвертичных вскрышных пород, безопасная и эффективная технология переукладки, угленасыщенная зона, производственный опыт работ.

## PROBLEM OF THE RISE OF THE A-FRAME DERRICK

MIRONENKO I. A., PROTASOV S. I.  
T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

**Abstract.** The aspects of the development and transfer of quaternary overburden rocks to the hydrodeposits located above the coal-bearing zone and the analysis of the production experience of mining at the no. 3 of hydro-dump Kedrovsky are outlined. The results of the calculation of the bearing capacity of various zones of the hydrotrain are given, which allowed to substantiate the safe and effective technology of their re-laying.

**Keywords:** hydro-dumps of quaternary overburden, safe and effective technology of re-laying, coal-bearing zone, production experience.

Для увеличения годовой добычи угля в Кузбассе к 2025г. до 260 млн т потребуются осуществить ввод в эксплуатацию ряд новых участков угольных месторождений. Экономически целесообразно осваивать те из них, которые расположены в непосредственной близости от действующих разрезов, где отработка запасов угля завершается, но создана современная техническая база, способная обеспечить устойчивую работу предприятия.

Препятствием для реализации этого направления развития угледобычи иногда становится наличие гидроотвалов над угленасыщенной зоной.

Впервые разработка и перемещение на новое место намытых ранее пород, была осуществлена в Кузбассе на разрезе «Кедровский». Сейчас подобная задача должна быть решена на разрезе «Черниговец», где под гидроотвалом №2 находятся промышленные запасы угля. Для их отработки требуется обоснование экономической целесообразности такого решения и определить безопасную технологию разработки намытого массива с перемещением водонасыщенных, с низкими показателями прочности и несущей способности пород из гидроотвала №2 в гидроотвал №1. Ориентировочно должно быть отработано порядка 30 млн м<sup>3</sup> от общего объема гидроотвала №2, который оценивается величиной более 50 млн м<sup>3</sup>. Весьма вероятно, что при проектировании отработки участка Иганинский 2 возникнет необходимость переукладки намытого массива

ва - гидроотвала на реке Еловка разреза «Моховский» мощностью до 30 м, который находится на поле участка горных работ.

Учитывая реальную возможность в ближайшей перспективе возникновения необходимости переукладки четвертичных вскрышных пород уложенных в гидроотвалы и на других объектах угледобычи, как с целью расконсервации запасов, так и при их рекультивации, возникает необходимость научного обоснования безопасной и экономически эффективной технологии реализации этого направления для всей горнодобывающей промышленности.

В этом плане особый интерес представляет опыт разработки и перемещения на новое место намытых пород гидроотвала № 3 разреза «Кедровский». Гидроотвал расположен в пойме реки Чесноковка и представляет собой сооружение овражно-балочного типа. В 1958 г., после одностороннего обвалования была начата его эксплуатация, которая продолжалась до 1979 г. На момент окончания намыва дамба гидроотвала № 3 представляла собой сооружение, состоящее из дамбы первичного обвалования и восьми дамб наращивания, общей высотой 53 м. Площадь гидроотвала составляла 292 га, а его емкость 48 млн м<sup>3</sup>, мощность намывных отложений достигала 45 м. В таком состоянии гидроотвал был законсервирован [1].

В 2000 г. с применением гидромониторно-землесосных комплексов стали разрабатывать породы, которые были уложены в гидроотвал, и перемещать их по трубопроводу в горную выработку участка №5 [2]. В настоящее время уже ведется разработка запасов угля из пластов, которых залежали под гидроотвалом № 3.

В результате ведения горных работ при разработке пород гидроотвала был получен ценный производственный опыт, который следует досконально изучить и обобщить. Первое, на что следует обратить внимание – это наличие довольно значительных по размеру деревьев, которые успели вырасти на поверхности гидроотвала и создавали помехи в работе системы гидротранспорта гидрокомплекса разреза (скапливались в зумпфе и осложняли процесс забора гидросмеси).

Подход к решению вопроса о формировании на площади гидроотвала разделительной дамбы для исключения переукладки той его части, которая не препятствует отработке запасов угля, представляет определенный интерес. Решить эту инженерно-техническую задачу пытались путем отсыпки на поверхности намывного массива в планируемом месте разделения участков гидроотвала насыпи из полускальных вскрышных пород. Такой способ всё-таки не является приемлемым, т.к. ожидаемого производственными продавливания насыпи полускальных пород сквозь намытый массив не произошло. Проникновение полускальных пород перемычки в намытый массив, подтвержденное бурением скважин, составило всего 5-6 м, при этом «устойчивость системы борт карьера – борт обеспечивается с коэффициентом запаса выше нормативного при результирующем угле наклона 14 град.» [2].

Кроме того, в процессе гидромониторной разработки ядерной неконсолидированной зоны гидроотвала, неоднократно происходили оползневые явления, которые приводили к авариям, потерям оборудования. Только вовремя принятые технологические решения по опережающему размыву гидромонитором первого подступа разрабатываемого массива намывных горных пород и специальная направленность струи гидромонитора при подрезке забоя, обеспечили в последующем безопасность ведения горных работ.

Научной базой для решения вопроса о разработке и перемещении четвертичных вскрышных пород, уложенных в гидроотвалах, должны быть результаты исследований, которые связаны с изучением сегрегации намываемых пород, формирования их грану-

лометрического состава в различных зонах, динамики несущей способности намывных отложений и методов натурального контроля состояния этих массивов.

Установлено, что в соответствии с процессом сегрегации, происходящем при намыве гидросмеси, в гидроотвале формируются три основные зоны с определенным гранулометрическим составом и физико-механическими свойствами пород [3]. Первой, непосредственно у дамбы, с которой проводился намыв, формируется зона песчано-супесчаных пород. За ней следуют соответственно вторая и третья зоны, где располагаются суглинистые и глинистые фракции вскрышных горных пород.

При выборе технологии разработки обводненных четвертичных пород для переформирования всего гидроотвала необходимо учитывать тот факт, что безопасность и экономичность ведения горных работ может гарантироваться только при применении комплекса различных технологий, каждая из которых предназначена для эффективной разработки пород определенных физико-механических свойств, в приемлемых горнотехнических условиях.

Многолетний опыт ведения горных работ средствами гидромеханизации доказал, что наиболее эффективно обводненные неконсолидированные породы, разрабатываются с применением землесосных снарядов, песчано-супесчаные, плотные (в целике) – гидромониторно-землесосными комплексами, а взорванные глинистые и выветрелые полускальные породы - с предварительным экскаваторным рыхлением в навал с последующим размывом высоконапорной струей гидромониторов [4].

Главным критерием, который определяет условия эффективной и безопасной эксплуатации оборудования при разработке пород, намывных в гидроотвал, следует считать величину несущей способности рабочей площадки, т.е. поверхности каждой из указанных выше зон гидроотвала.

В соответствии с физико-механическими свойствами намывных отложений по формуле Прандтля-Рейснера [5, 6] была определена величина максимальной несущей способности основания зон гидроотвала ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ): зона 1, песчано-супесчаная – 2,84 - 22,94; зона 2, суглинистая – 3,89-11,31; зона 3, глинистая – 0,15-1,38.

Известно, что несущая способность поверхности в  $1,5 \text{ кг}/\text{см}^2$  достаточна для применения оборудования на гусеничном ходу, а при  $2,0 \text{ кг}/\text{см}^2$  она позволяет использовать некоторые виды колесной техники.

Для обеспечения работы землесосных снарядов величина несущей способности основания значения не имеет, т.к. он разрабатывает породу, находясь на плаву.

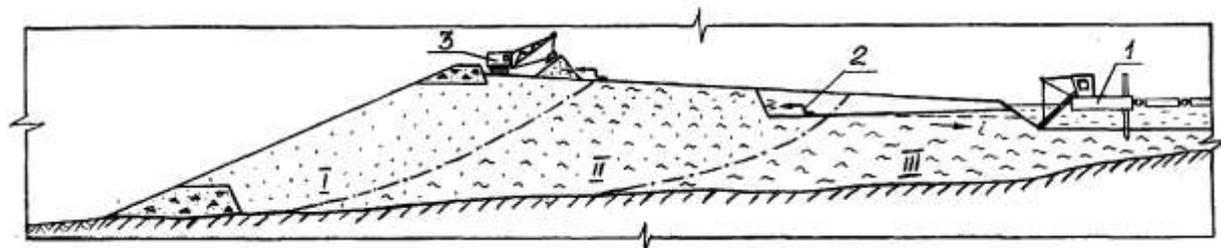
Результаты расчета показали, что прочностные свойства пород песчано-супесчаной и суглинистой зон позволяют там использовать гидромониторно-землесосные комплексы и гидрокомплекс с предварительным экскаваторным (драглайном) рыхлением пород в навал, который разрабатывается высоконапорной струей гидромонитора.

Несущая способность основания третьей зоны гидроотвала однозначно определяет возможность осуществить безопасное функционирование принятой гидротехнологии только при применении землесосных снарядов. При этом их применение должно обеспечить первоначальную отработку пород третьей зоны гидроотвала, где располагаются суглинистые и глинистые фракции вскрышных горных пород. Кроме того, находясь на плаву, с учетом специальной организации их работы, земснаряды произведут дренаж пород второй зоны гидроотвала и обеспечат ускоренный ввод гидромониторно-землесосных комплексов.

Очевидно, что гидрокомплекс с предварительным экскаваторным рыхлением пород в навал, который разрабатывается высоконапорной струей гидромонитора, позволяет значительно снизить количество воды, находящееся в обороте, однако применение экскаватора

обуславливает дополнительные издержки. Только технико-экономическим сравнением конкретных вариантов можно достоверно определить оптимальный состав гидрокомплекса.

Таким образом, на данном этапе исследования принципиально обоснована комплексная технология переукладки пород гидроотвалов, расположенных над угленасыщенной зоной, которая представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Комплексная гидромеханизированная технология переформирования гидроотвала.** I; II; III - зоны намыва соответственно песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых четвертичных вскрышных горных пород. 1 - разработка обводненных неконсолидированных глинистых пород землесосным снарядом; 2 - гидромониторный размыв суглинистых пород; 3 - гидромеханизированная разработка песчано-супесчаных пород (включая породы пионерной насыпи и последующих дамб обвалования) с предварительным экскаваторным рыхлением в навал, который разрабатывается высоконапорной струей гидромониторов

#### Список литературы

1. Федосеев А.И. Опыт отработки намывных четвертичных пород с площади бывшего гидроотвала №3 ОАО «Разрез Кедровский» / А.И. Федосеев, В.Р. Вегнер, С.И. Протасов, С.П. Бахаева // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГГУ. – 2004. - №3, - С. 268-273.
2. Кузнецова И.В. Исследование инженерно-геологических условий частичной ликвидации гидроотвалов при открытой разработке угля в Кузбассе /автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – С.-Петербург: С-ПГГУ, 2011.
3. Гальперин А.М. Гидромеханизированные природоохранные технологии / А.М. Гальперин, Ю.Н. Дьячков. – М.: Недра, 1993.
4. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М. : Недра, 1982. – 405 с.
5. Гальперин А.М. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А.М. Гальперин, Ю.И. Кутепов, Ю.В. Кириченко, А.В. Киянец, А.В. Крючков, В.С. Круподеров, В.В. Мосейкин, В.П. Жариков, В.В. Семенов, Х. Клапперих, Н. Тамашкович, Х. Чешлок // М.: Горная книга, 2012.- 336 с.
6. Фёрстер В. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов: уч. пособие для вузов. Т. 1. Насыпные и намывные массивы / В. Фёрстер, А.М. Гальперин, Х.Шеф. – М.: МГГУ, 2006.- 391 с.

## ТОРКРЕТ-СМЕСИ МБВ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ КРЕПЛЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

МАНИН Ю. А.<sup>1</sup>, МЕЛЬНИКОВ А. Е.<sup>2</sup>

ООО «Торговый дом «Кварц» - дилер карьера «Гора Хрустальная»<sup>1</sup>  
ЗАО Карьер «Гора Хрустальная»<sup>2</sup>

**Аннотация.** Дано описание результатов опытно-промышленных испытаний смесей для сухого торкретирования марки МБВ в условиях Сафьяновского подземного рудника.

**Ключевые слова:** горные выработки, крепление выработок, торкретирование, набрызг-бетон.

## SHOTCRETE MIXTURES “MBV” MODEL AND THE EXPERIENCE OF THEIR APPLICATION FOR MOUNT OF UNDERGROUND ROCK MININGS

MANIN Yu. A.<sup>1</sup>, MEL'NIKOV A. E.<sup>2</sup>

JSC Torgovy dom “Kvarts”<sup>1</sup>  
JSC Quarry “Gora Khrustalnaya”<sup>2</sup>

**Annotation.** A description of the results of pilot industrial tests of mixtures for dry shotcrete “MBV” in the conditions of the Safianovskoye underground mine is given.

**Keywords:** mine workings, mount of underground rock minings, shotcrete, sprayed concrete.

Крепление горных выработок и поддержание их в рабочем состоянии в период строительства и эксплуатации шахт, тоннелей и подземных сооружений является одним из основных и очень важных производственных процессов.

В настоящее время быстрыми темпами развивается способ крепления горных выработок набрызг-бетоном (торкрет-бетоном), который предусматривает нанесение слоя бетонной смеси на поверхность выработки посредством направленного потока сжатого воздуха. Развитие этого способа неслучайно, так как набрызг-бетон обладает внушительным рядом преимуществ.

В рамках данной статьи невозможно перечислить полный список преимуществ данного способа крепления, поэтому ниже приводятся только основные:

- набрызг-бетонная (торкрет-бетонная) крепь обладает универсальной конструкцией, может быть использована и в качестве временной и в качестве постоянной крепи, как самостоятельно, так и в сочетании с анкерами и арматурной сеткой;
- позволяет уменьшить сечение выработки и объем проходческих работ, благодаря сокращению толщины крепи;
- слой набрызг-бетона работает в единой системе с породой, образуя конструкцию высокой грузонесущей способности;
- даже небольшой слой набрызг-бетона надежно предохраняет горные породы от разрушения внешними агентами (в основном, от воздействия кислорода), в результате чего породы сохраняют свои свойства неизменными на длительный срок. В обычных условиях прочность пород с течением времени может падать до 60-70% от первоначальной прочности;

- высокий уровень механизации процесса крепления обеспечивает увеличение производительности труда проходчиков-крепыльщиков в 2-3 раза.

Дальнейшему развитию набрызг-бетонирования способствует и появление в последние годы новых материалов строительной химии. Современные химические добавки позволяют существенно расширить диапазон регулирования характеристик бетонов, таких как скорости набора прочности, водонепроницаемость, химическая стойкость, прочность сцепления с поверхностью и другие. Бетоны с улучшенными характеристиками менее подвержены отрицательному воздействию агрессивной шахтной среды, не отслаиваются от контуров выработок и обеспечивают надёжность и долговечность горных конструкций.

Необходимо отметить, что основными параметрами, наиболее существенно влияющими на физико-механические свойства набрызг-бетона, являются:

- водоцементное отношение (В/Ц);
- количество цемента в смеси;
- гранулометрический состав заполнителя, соотношение между мелким (зерна размером до 2,5 мм) и крупным заполнителем (размер зёрен выше 2,5 мм);
- наличие функциональных добавок.

Эти же самые параметры определяют и наиболее существенный изъян в торкретировании – безвозвратные потери на отскок. Установлено, что величина отскока снижается с уменьшением размера частиц заполнителя и увеличением содержания цемента. Оптимум водоцементного отношения определён на уровне 0,4-0,5.

Именно вследствие важности точного соотношения компонентов бетона для получения требуемых характеристик крепи, они должны дозироваться в заводских условиях. Не «на глазок».

На рис. 1 показана зависимость прочности набрызг-бетона и количества отскока от водоцементного отношения (В/Ц).

Существует два способа возведения торкрет-бетонной крепи.

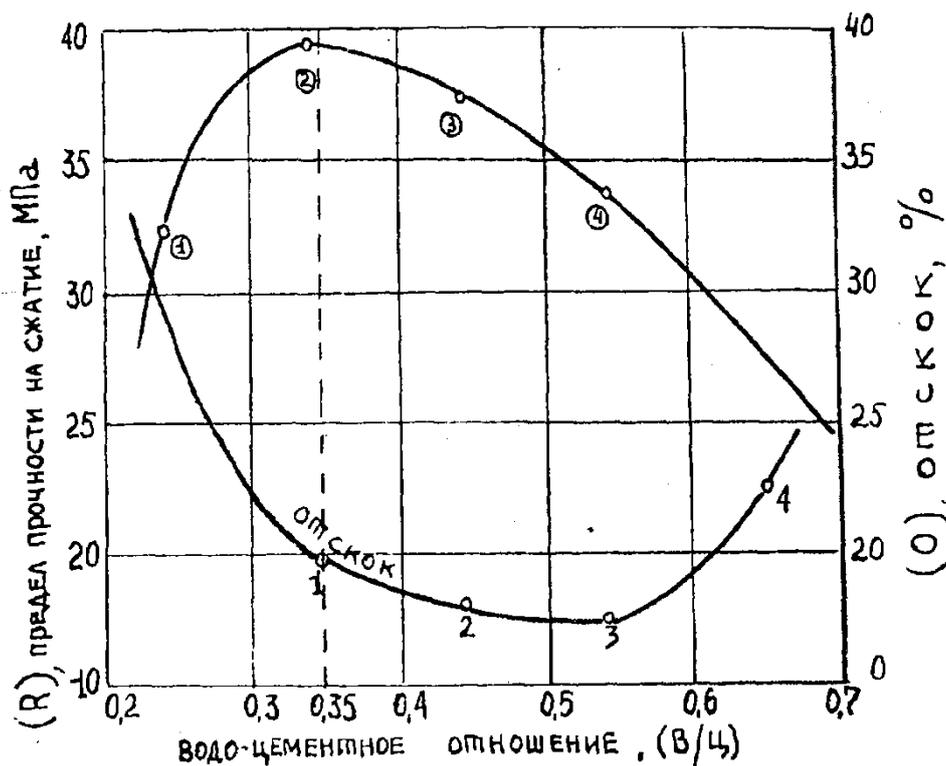
«Мокрый» - предварительно затворённый водой бетон нагнетается по шлангу насосом к соплу. В сопло подаётся сжатый воздух, который обеспечивает набрызгивание бетона на поверхность выработки. Для придания бетону тиксотропных свойств в сопло также подаётся специальная добавка. «Мокрый» способ обладает таким преимуществом как отсутствие пыли, что очень важно в условиях закрытых пространств (таких как горная выработка).

«Сухой» - цемент и инертные заполнители (песок, щебень) перемешиваются без воды и загружаются в машину для сухого торкретирования. Сухая смесь сжатым воздухом по шлангу транспортируется от машины в сопло-смеситель, куда по другому шлангу поступает вода. Смоченная водой смесь из сопла накидывается на поверхность породы. Длина сопла небольшая, поэтому полного перемешивания смеси с водой не происходит, что приводит к выбросу пыли в процессе работ. Существуют различные способы пылеподавления

- конструкция и длина сопла;
- схема подачи воды;
- добавки в смесь, ускоряющие смачивание мелких частиц

Однако все эти меры позволяют только снизить количество пыли, но не избежать её образования в рабочем пространстве полностью. Поэтому крайне важно применение крепыльщиками индивидуальных средств защиты органов дыхания.

Шахты Урала в своей практике применяют оба способа набрызг-бетонирования.



**Рис. 1. Зависимость прочности набрызг-бетона и количества отскока от водоцементного отношения (В/Ц).**

При больших одновременных объёмах крепления, когда важна высокая производительность, используются специализированные комплексы «мокрого» набрызгбетонирования (например Spraymex).

Однако горно-геологические условия часто требуют выполнять крепление по мере проходки, когда площадь незакреплённой поверхности невелика. Есть также выработки, которые по своей конструкции и назначению имеют небольшую площадь поверхности. В таких случаях высокопроизводительные комплексы неэффективны и их с успехом заменяют более мобильные машины сухого торкретирования.

ЗАО Карьер «Гора Хрустальная» специализируется на разработке месторождения жильного молочно-белого кварца под названием «Гора Хрустальная». Основная продукция карьера – кусковой и фракционированный кварц, кварцевая мука. С 2004 года на предприятии начал работу цех по производству сухих строительных смесей, в ассортименте которых есть смеси для сухого торкретирования марки МБВ. Смеси МБВ более 10 лет успешно применяются в строительстве, для ремонта железобетонных и кирпичных дымовых труб, гидротехнических сооружений. Применение современных добавок качественно снизили показатели отскока при сухом способе торкретирования, ускорили время твердения. Тиксотропные и адгезионные характеристики наиболее дорогих типов МБВ позволяют наносить слой до 20 см за один проход на вертикальных поверхностях и до 10 см на потолочных при отскоке не превышающем 2-3%.

В 2012 году смеси МБВ были предложены горным предприятиям для крепления горных выработок. В ходе контактов со специалистами Сафьяновского подземного рудника (УГМК), выполнения пробного крепления была специально разработана смесь МБВ 410. Подбор рецептуры смеси осуществлялся с учётом повышенных требований по отскоку и запыленности, требований горного строительства по прочности, водонепроницаемости, адгезионной эффективности, тиксотропности. Динамика схватывания и набора прочности бетона должна была быть минимальной, чтобы не задерживать проходку с применением взрывных работ. Именно взрывные работы часто разрушали набрызг-бетон и вынуждали выполнять крепление повторно.

В составе смеси:

1. Вяжущее – портландцемент бездобавочный ПЦ500Д0 (СЕМ I 42,5Н), наиболее качественный портландцемент производства ОАО «Сухоложцемент»;
2. Заполнитель – чистый кварцевый песок, дроблённый, фракции -2,5 мм. В ходе пробных работ максимальная крупность песка была снижена до 2,5 мм с целью существенного снижения отскока;
3. Полимерные функциональные добавки, способствующие быстрому смачиванию смеси и снижению запылённости. Одновременно, полимерные добавки помогают контролировать водоцементное отношение на уровне 0,4-0,5. Если в торкрет-смесь поступает излишек воды, то набрызганный слой начинает блестеть, сигнализируя об избытке воды.
4. Тиксотропная добавка, способствующая сохранению тиксотропных свойств бетона при колебаниях в подаче воды. Смесь может быть нанесена толщиной до 10см за один проход. Одновременно также снижает отскок.
5. Ускоритель твердения для ускоренного набора прочности в первые сутки после нанесения набрызг-бетона.

В конце 2014 года были проведены опытно-промышленные испытания (ОПИ) смеси в условиях Сафьяновского подземного рудника. Научное сопровождение работ осуществляла компания «Маггеоэксперт» г.Магнитогорск (профессор Калмыков В.Н.)

Сафьяновский рудник в своей практике применял как мокрый, так и сухой способ набрызгбетонирования. Отскок как по мокрому, так и по сухому процессу составлял 30 %.

Бетон для мокрого способа изготавливался на бетоносмесительной установке в Екатеринбурге и доставлялся на рудник автотранспортом (100 км). Нанесение бетона на поверхность выработки осуществлялось комплексом Sprauges (на момент ОПИ Sprauges был законсервирован).

Приготовление смеси для сухого способа осуществлялось на месте работ в шахте перемешиванием цемента ПЦ400 и отсева вручную, что абсолютно не гарантировало качество получаемого бетона. Торкретирование вели три бригады на машинах сухого способа Aliva. Численность каждой бригады три человека. Один крепильщик осуществлял перемешивание компонентов, второй грузил смесь в машину, третий торкретировал. Нормативная толщина набрызга в зависимости от показателя устойчивости скального массива составляла 8 см, 5 см, 3 см. Бетон, получаемый в ходе ручного замеса, можно было нанести слоем не более 1,5-2 см. При большей толщине бетон стекал по поверхности. Поэтому крепильщики вынуждены возвращаться, чтобы доводить толщину крепи до нормативной толщины за 2-6 раз.

Суммарное отставание по устройству крепи от проходки составляло на время испытаний 500 пог. м.

### Лабораторные испытания компании «Маггеоэксперт»

Опытно-промышленные испытания предусматривали лабораторные исследования, в ходе которых определялись сроки схватывания цементного теста по ГОСТ 310.3-76, а также прочностные характеристики – предел прочности при изгибе и сжатии на образцах по ГОСТ 10180-90. Результаты приведены в табл. 1 и 2.

**Таблица 1 – Результаты испытаний образцов - балочек из материала МБВ 410 на изгиб по ГОСТ 310.4-81**

| Период испытаний, сут. | Испытание образцов на изгиб, МПа |      |      |                  |
|------------------------|----------------------------------|------|------|------------------|
|                        | Номер образца                    |      |      | среднее значение |
|                        | 1                                | 2    | 3    |                  |
| 1                      | 2,25                             | 1,55 | 1,57 | 1,79             |
| 3                      | 3,89                             | 3,35 | 3,42 | 3,55             |
| 7                      | 5,46                             | 5,44 | 5,67 | 5,52             |
| 14                     | 6,82                             | 7,29 | 6,4  | 6,84             |
| 28                     | 7,3                              | 8,7  | 7,4  | 7,8              |

Прочность на изгиб на 28 сутки в размере 7,8 МПа в 6,5 раз превышает прочность на изгиб бетона, приготовленного с использованием цемента ПЦ400 и отсева.

**Таблица 2 – Результаты испытаний предела прочности при сжатии образцов из материала МБВ 410 по ГОСТ 10180-90**

| Период испытаний, сут. | Предел прочности при сжатии образцов, МПа |       |       |                  |
|------------------------|---|-------|-------|------------------|
|                        | Номер образца                             |       |       | среднее значение |
|                        | 1   | 2     | 3     |                  |
| 1                      | 3,21                                      | 3,3   | 3,56  | 3,43             |
| 3                      | 10,74                                     | 11,13 | 12,18 | 11,66            |
| 7                      | 15,07                                     | 15,09 | 17,35 | 16,22            |
| 14                     | 19,5                                      | 20,12 | 22,55 | 21,34            |
| 28                     | 23,1                                      | 24,2  | 28,3  | 25,2             |

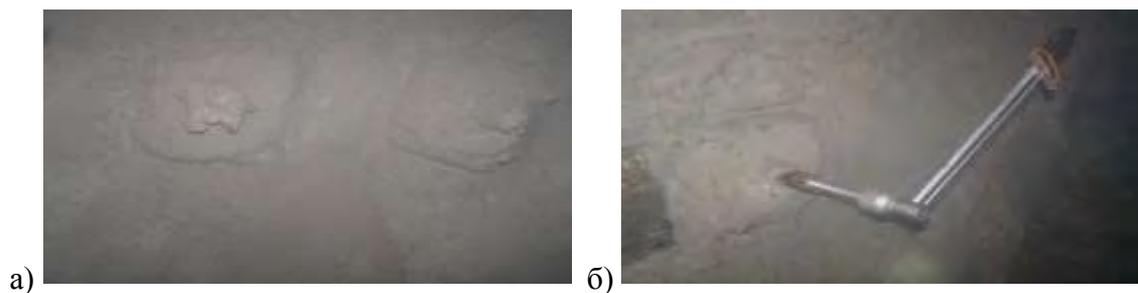
Из приведенной таблицы следует, что прочностные показатели материала МБВ 410 на сжатие при лабораторных испытаниях получились равными на 28 сутки 25,2, что соответствует классу бетона В 20.

#### Опытно-промышленные испытания

В ходе проведения ОПИ оценивались качество нанесения покрытия, величина сцепления материала МБВ 410 с контурами выработок, исследовались прочностные характеристики материала на сжатие и изгиб.

По Программе-методике, согласованной с техническим руководством ООО ТД «Кварц» и рассмотренной техническим руководством подземного рудника АО «Сафьяновская медь» проведены промышленные испытания на участке Кольцевой штрек гор. -120 м.

Для определения величины сцепления материала МБВ 410 с контурами выработок 02.12.14 было установлено 3 приспособления – рамки согласно программе-методике. 03.12.14 г. произведены замеры усилий отрыва материала от контуров выработки с использованием динамометрического ключа (рис. 2).



**Рис. 2. Фото этапов проведения опытно-промышленных испытаний: а - нанесение состава на рамки; б – испытания материала на отрыв от контуров выработки с использованием динамометрического ключа**

При испытаниях сцепления раствора на участке с устойчивостью пород **ШБ** наблюдался отрыв материала МБВ 410 от контура выработки при приложении нагрузки в 3,15 МПа. Согласно п.п. 3.71. ВСН 126-90 ведение взрывных работ в непосредственной близости от покрытия из набрызгбетона допускается при наборе им прочности на отрыв не менее 1 МПа.

Визуальным наблюдением установили, что состояние горных выработок удовлетворительное.

Согласно ВСН 126-90 путём набрызга материалом МБВ 410 заполнены деревянные ящики с размерами 500х500х120. Затем полученные плиты распиливали на образцы кубической формы со стороной ребра 100мм для определения прочности на сжатие и образцы с размерами 40х40х160 мм для определения предела прочности на изгиб на 7-е и 20-е сутки. Результаты испытаний приведены в таблицах 3 и 4.

**Таблица 3 – Результаты испытаний образцов на изгиб из материала МБВ 410**

| Период испытаний, сут. | Прочность на изгиб, МПа |      |      |                  |
|------------------------|-------------------------|------|------|------------------|
|                        | Номер образца           |      |      | среднее значение |
|                        | 1                       | 2    | 3    |                  |
| 7                      | 5,58                    | 7,2  | 6,82 | 6,53             |
| 20                     | 7,88                    | 8,11 | 7,83 | 7,94             |
| 28                     | 8,9                     | 9,1  | 8,7  | 8,9              |

**Таблица 4 – Результаты испытаний предела прочности при сжатии образцов из материала МБВ 410**

| Период испытаний, сут. | Прочность на сжатие, МПа |       |       |                  |
|------------------------|--------------------------|-------|-------|------------------|
|                        | Номер образца            |       |       | среднее значение |
|                        | 1                        | 2     | 3     |                  |
| 7                      | 18,72                    | 28,03 | 21,38 | 24,7             |
| 20                     | 27,84                    | 28,03 | 33,82 | 30,92            |
| 28                     | 31,7                     | 33,4  | 36,6  | 33,9             |

Прочностные показатели материала МБВ 410 на сжатие получились равными на 28 сутки 33,9 МПа, что соответствует классу бетона В25.

Таким образом, при проведении опытно-промышленных испытаний (ОПИ) определены следующие характеристики цементного покрытия из материала МБВ 410:

- сцепление 3,15 МПа;

- предел прочности на изгиб 8,9 МПа;
- предел прочности на сжатие 33,9 МПа.

Учитывая прочностные показатели, расход МБВ 410 на устройство бетонной крепи можно снизить в 2,5 раза по сравнению с количеством бетона из цемента ПЦ400 и отсева, приготовленного «самозамесом» и идущего на изготовление набрызгбетонной крепи той же прочности.

**Таблица 5 – Эквивалентная толщина набрызг-бетонной крепи согласно прочностным характеристикам материалов**

|  |             |             |             |             |             |             |             |             |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Толщина набрызг-бетонной крепи из цемента ПЦ400 и отсева, «самозамес», см</b> | <b>1</b>    | <b>2</b>    | <b>3</b>    | <b>4</b>    | <b>5</b>    | <b>6</b>    | <b>7</b>    | <b>8</b>    |
| <b>Толщина набрызг-бетонной крепи МБВ 410, см</b>                                | <b>0,37</b> | <b>0,73</b> | <b>1,10</b> | <b>1,47</b> | <b>1,84</b> | <b>2,20</b> | <b>2,57</b> | <b>2,94</b> |

### **Экономическая оценка крепления горных выработок материалом МБВ 410**

Главным преимуществом применения готовой смеси сухого торкретирования в сравнении с вариантом приготовления состава на месте работ является гарантированное качество бетона и, соответственно, крепи горной выработки. Никаких гарантий получения бетона с требуемыми характеристиками в случае «самозамеса» нет.

Но, кроме того, что готовая смесь гарантирует безопасность, она экономически целесообразна.

1. Отскок в размере 30 % определяет не просто потерю 1/3 материала. Величина отскока определяет дополнительные расходы (как материальные, так и людские) на транспортировку материала к месту работ, его замешивание, загрузку в торкрет-машину и нанесение на поверхность выработки.

2. Снижение толщины крепи – это также сокращение затрат на транспортировку, загрузку и нанесение. Суммарно снижение потерь на отскок и уменьшение толщины крепи позволяют Сафьяновской меди более чем в два раза сократить количество спускаемого в шахту материала.

3. Исключение операции замешивания материала на месте работ высвобождает одного работника из трёх, что на 1/3 снижает расходы по статье «Заработная плата».

4. Производительность бригад в составе двух крепильщиков растёт за счет того, что им в два раза меньше надо пропустить через машину материала и не надо ждать, когда будет приготовлена смесь. Из трёх бригад необходимо оставить две.

Ниже приводится итоговая сравнительная таблица экономических расчётов, выполненных компанией «Маггеоэксперт». Эти расчёты также подтверждают экономическую целесообразность использования в практике набрызг-бетонирования готовых смесей МБВ.

**Таблица 6 – Сумма затрат на устройство набрызгбетонной крепи**

| <b>№</b> | <b>Статьи затрат</b> | <b>«Самозамес»</b>  | <b>Смесь МБВ 410</b> |
|----------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1        | Материалы            | 235                 | 439                  |
| 2        | Заработная плата     | 244,69              | 46,08                |
| 3        | Амортизация          | 112,88              | 33,14                |
|          | <b>Итого</b>         | <b>593 руб/кв.м</b> | <b>518 руб/кв.м</b>  |

По результатам опытно-промышленных испытаний был подготовлен отчёт, в котором отражены полученные результаты и была дана рекомендация о проведении крупномасштабных работ в условиях Сафьяновского или других подземных рудников. Исходя из полученных прочностных характеристик МБВ 410 утверждено «Дополнение к Инструкции по креплению и поддержанию капитальных, подготовительных, нарезных и разведочных выработок Сафьяновского подземного рудника». Дополнение разрешало уменьшить толщину крепи в случае применения МБВ 410 с 8 см до 5-6 см, с 5 см до 3-4 см, с 3 см до 1-2 см.

В течение 2015 и 2016 годов осуществлялись промышленные поставки смеси МБВ 410 на Сафьяновский подземный рудник. В течение этого времени было полностью ликвидировано отставание по креплению. В марте 2018 года комиссией рудника с участием представителя ТД «Кварц» проведён визуальный осмотр выработок, покрытых набрызгбетоном МБВ 410. Отмечено хорошее состояние крепи. Замеры прочности бетона дали результаты от 63 до 66 МПа, что соответствует классу прочности В45 и В50.

### Список литературы

Брукс Г., Линдер Д., Руффорт Г. Торкрет-бетон, торкрет-цемент, торкрет-штукатурка / под ред. канд. техн. наук Л.А. Фенднера; пер. с нем. М. В. Алёшичкиной и канд. техн. наук З.А. Липкинда. – М.: Стройиздат, 1985. – 205 с.

Возведение обделок подземных гидротехнических сооружений в вечномёрзлых скальных грунтах. Ведомственные строительные нормы: ВСН 36-86. – Введ. 1986-07-01. – М.: Минэнерго СССР, 1986. – 38 с.

Возведение крепи из анкеров и набрызгбетона подземных гидротехнических сооружений в сложных горно-геологических условиях. Ведомственные строительные нормы: ВСН 50-87. – Введ. 1987-07-01. – М.: Минэнерго СССР, 1987. – 38 с.

Голицынский Д.М. Научные основы проектирования и возведения набрызгбетонных обделок транспортных тоннелей в слабоустойчивых грунтах: Дис. ... докт. техн. наук: 05.23.15 / Дмитрий Михайлович Голицынский; Ленинградский Ордена Ленина институт инженеров железнодорожного транспорта имени академика В.Н. Образцова. – Ленинград, 1983. – 447 с.

Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ: ВСН 126-90. – Введ. 1991-01-01. – М.: Минтрансстрой СССР, 1991. – 93 с.

Методические указания по выбору и применению штанговой, набрызг-бетонной и комбинированной крепей на руднике Шатыркуль. – Караганда: ТОО «Корпорация Казахмыс», 2010. – 50 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1515606>. – Дата обращения: 20.02.2018 г.

Подземные горные выработки. Свод правил: СП 91.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП II-94-80. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012. – 49 с.

Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений / Н.М. Покровский. – М.: Недра, 1977. – 400 с.

Отчёт по научно-исследовательской работе «Научное сопровождение опытно-промышленных испытаний торкрет смеси МБВ 410 в условиях Сафьяновского подземного рудника»: материалы опытно-промышленных испытаний ЗАО «Маггеоэксперт». – Утверждён 23.01.2015. – Магнитогорск, 2015. – 42 с.

Отчёт по проведению опытно-промышленных испытаний набрызг-бетонной крепи различных производителей в условиях Сафьяновского подземного рудника: материалы опытно-промышленных испытаний ОАО «Урамеханобр». – Утв. 29.09.2016 – Екатеринбург, 2016. – 43 с.

Технологический регламент производства работ по ремонту бетонных и железобетонных конструкций методом «сухого» торкретирования с использованием полимерно-минеральной мелкозернистой ремонтной смеси МБВ 400. – М.: ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН, 2015. – 46 с.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ОТРАБОТКЕ БЛОКОВ, ВЫХОДЯЩИХ НА ПОВЕРХНОСТЬ

БЕЛОГОРОДЦЕВ О. В., АМОСОВ П. В., ХОМКИН Е. Е.  
Горный институт КНЦ РАН

**Аннотация.** В настоящее время в горнорудной практике при отработке мощных рудных месторождений наблюдается тенденция расширения объёмов подземной разработки прикарьерных запасов, так как увеличивается число карьеров, которые находятся в стадии завершения открытых горных работ или технической ликвидации.

В результате исследований, выполненных в Горном институте КНЦ РАН, установлено, что при отработке прикарьерных запасов месторождений системами с обрушением руды и вмещающих пород повышение показателей извлечения руд и безопасности горных работ достигается за счёт регулирования интенсивности выпуска руды и формирования термоизоляционного слоя.

**Ключевые слова:** карьерное пространство, подземные горные работы, система разработки, компьютерное моделирование, выпуск руды, термоизоляция.

## PARTICULARITIES OF AN UNDERGROUND MINING TECHNOLOGY USED TO EXCAVATE ROCK BLOCKS OUTCROPPING AT THE SURFACE

BELOGORODTSEV O.V., AMOSOV P. V., KHOMKIN E. E.  
Mining Institute Kola Science Centre RAS

**Abstract.** In modern mining they observe a tendency to extend underground development of near open-pit reserves in thick ore deposits because of increase of open-pits ready to completion of open mining operations or technical elimination.

Researchers of Mining Institute KSC RAS have established that when developing near open-pit reserves by mining systems of ore and country rock caving, the parameters of ore excavation and mining safety increase due to controlling intensity ore drawing and constructing a thermal insulating layer.

**Keywords:** open-pit space, underground mining operations, mining system, computer modeling, ore drawing, thermal isolation.

### Введение

В настоящее время отработка запасов Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений апатит-нефелиновых руд Хибинского массива осуществляется подземными горными работами. Добыча руды на очистных работах осуществляется с применением системы поэтажного обрушения руды и вмещающих пород с торцевым выпуском руды и доставкой её погрузочно-доставочными машинами до пунктов перегрузки в участковые рудоспуски.

В районе стыковки подземных горных при отработке запасов Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений находится выработанное пространство Саамского карьера, в связи с необходимостью отработки прикарьерных запасов требуется решение ряда задач.

При применении систем с обрушением руды и вмещающих пород создаётся обширное очистное пространство, непосредственно выходящее на дневную поверхность. В условиях Севера это неизбежно приводит к смерзанию руды и, как следствие, к большим потерям. Кроме того, выход очистного пространства на дневную поверхность в условиях отрицательных температур приводит к замораживанию подземных горных

выработок и энергетических коммуникаций (сети воды и сжатого воздуха), а также к нарушению вентиляционного режима рудника. При отработке переходной зоны практически невозможно заполнить очистное пространство по мере выемки руды за счёт естественного или принудительного обрушения вмещающих пород [1].

Основная идея исследований, проводимых в Горном институте КНЦ РАН, заключается в оптимизации параметров подземной технологии добычи руды посредством компьютерного моделирования объектов геотехнологии, выбора варианта системы разработки, интенсивности выпуска руды из очистного пространства, определения глубины промерзания горных пород и необходимой толщины термоизоляционного слоя, способа его формирования в зависимости от состояния открытых и подземных горных работ при отработке запасов месторождения.

#### ***Формирование термоизолирующего перекрытия***

Технологически проблема термоизоляции подземного очистного пространства наиболее просто решается путём засыпки нижних горизонтов отработанных участков карьера раздробленными вскрышными породами. Породный слой служит в качестве барьера для проникновения холода в отбитый рудный массив и горные выработки, а также для заполнения очистного пространства вслед за выпуском отбитой руды.

Формирование термоизолирующего слоя может осуществляться следующими способами:

- транспортирование горной породы из внешних отвалов в карьер автомобильным транспортом;

- принудительное обрушение горной породы в бортах карьера массовыми взрывами;

- комбинированный способ с заполнением центральной части карьера породой с использованием автомобильного транспорта и краевых частей – путём обрушения борта карьера;

- самообрушение покрывающих пород в результате производства очистных работ подземного рудника;

- предварительно отбитой на верхнем горизонте (подэтаже) и временно не выпускаемой (замагазинированной) руды;

- с помощью гибких (льдопородных и снегопородных) смесей [2].

Мощность обрушенных покрывающих пород на примере отработки прибортовых запасов в районе Саамского карьера

Исходя из сложившейся в настоящее время горнотехнической ситуации при отработке прикарьерных запасов апатит-нефелиновых руд Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений в районе Саамского карьера, который находится в стадии технической ликвидации, доставить в чашу карьера горное оборудование не представляется возможным. Поэтому наиболее приемлемыми являются варианты формирования термоизолирующего слоя за счёт самообрушения покрывающих пород и предварительно отбитой на верхнем горизонте (подэтаже) временно не выпускаемой (замагазинированной) руды при производстве очистных работ подземного рудника.

Для оценки фактических величин мощности обрушенного слоя покрывающих пород в горно-геологической информационной системе MINEFRAME, разработанной Горным институтом КНЦ РАН, создана каркасная модель Саамского карьера и обрушенных покрывающих пород при ведении подземных горных работ (Рисунок 1) [3]. По результатам исследований сделан вывод, что наименьший по величине или практически отсутствующий слой обрушенных покрывающих пород в пределах стыковочной

зоны находится в районе магистралей М-250м ÷ М-400м и профилях Р-1, Р-1+36, Р-2 Юкспорского месторождения и в центральной части Саамского карьера.

### Оценка глубины промерзания неактивного магазина отбитой породы в «сухом» и «влажном» состояниях

Цель – оценка теплового состояния отбитой породы, находящейся либо в «сухом», либо «влажном» состояниях в зависимости от температуры атмосферного воздуха и наличия снежного покрова. В первую очередь внимание обращено на толщину слоя породы, температура которой опускается ниже температуры фазового перехода «вода-лёд». Некоторые результаты этого исследования были представлены авторами в докладе на конференции SGEM 2017 [4].

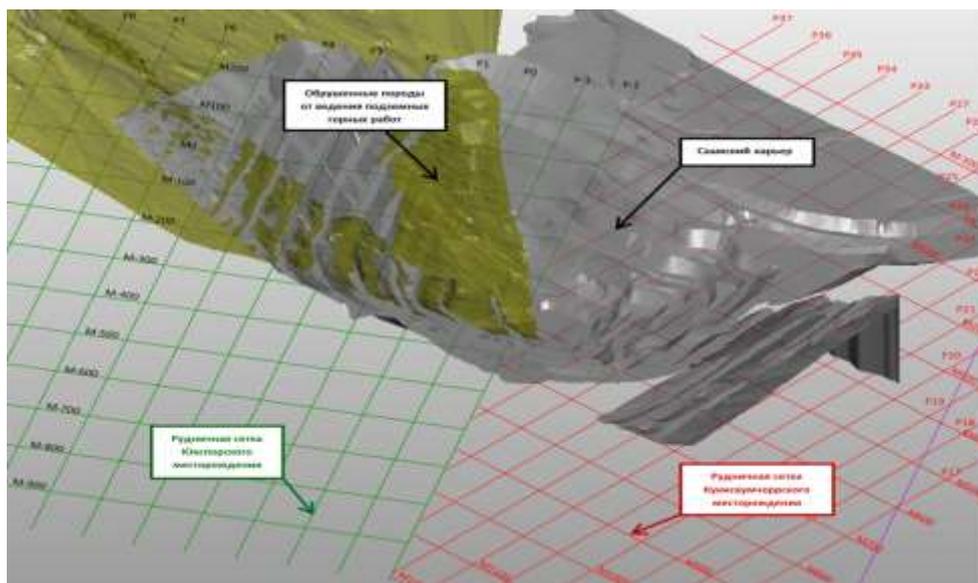


Рис. 1. Каркасная модель Саамского карьера и обрушенных покрывающих пород при ведении подземных горных работ

#### «Сухое» состояние массива

Для «сухого» массива оценка теплового состояния выполнена на базе классического нестационарного уравнения теплопроводности. Временной интервал моделирования составлял 10 суток для двух значений средней температуры воздуха  $-10^{\circ}\text{C}$  и  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Моделируемая область составлена из двух прямоугольных параллелепипедов. Нижнее тело – взорванная (отбитая) порода, верхнее – покрывающая порода. Предварительные расчёты для покрывающей породы толщиной 5 м показали, что при принятых в модели значениях теплофизических параметров температура верхнего слоя взорванной породы не опускается ниже нуля. По этой причине в численных экспериментах использована модель покрывающей породы толщиной 1 м. Геометрические размеры нижнего параллелепипеда равны  $20 \times 3 \times 40$  м, верхнего  $20 \times 3 \times 1$  м. Над верхним параллелепипедом располагается атмосфера (снег).

Принятые в расчётах теплофизические параметры зон модели, а также льда и воды приведены в работе [4].

Начальные условия: температура на нижней границе модели  $5^{\circ}\text{C}$ . Распределение температуры по высоте выстроено при значении геотермического градиента равном  $-0,02^{\circ}\text{C}/\text{м}$ .

Граничные условия: на нижней границе – условие Дирихле (температура 5<sup>0</sup>С);  
на верхней границе – условие 3-го рода (коэффициент эффективного теплообмена на поверхности  $\alpha$  Вт/(м<sup>2</sup>К) зависит от толщины  $\delta_{sn}$  снежного покрова, скорости ветра на поверхности);

на всех боковых границах – условие симметрии.

В расчётах приняты следующие параметры для снега: плотность  $\rho_{sn}$  равной 120 кг/м<sup>3</sup>; для коэффициента теплопроводности используется упрощённая формула А.В. Павлова:  $\lambda_{sn} = 0,001 \cdot \rho_{sn}$  Вт/(мК) [5]. В таблице 1 приведены вычисленные с использованием формулы [6]

$$\alpha = 1 / \left( \frac{1}{\alpha^0} + \frac{\delta_{sn}}{\lambda_{sn}} \right)$$

значения коэффициентов эффективного теплообмена при вариации толщины снега,  $\alpha^0$  – коэффициент теплообмена в отсутствии снега, значение которого в расчетах принято равным 10 Вт/(м<sup>2</sup>К), что имеет место при скорости ветра на уровне 1 м/с.

Анализ результатов численных экспериментов свидетельствует, что для температуры воздуха -10<sup>0</sup>С только в отсутствии снежного покрова прогнозируется промерзание взорванной породы. Причём за 10 суток глубина промерзания окажется на уровне 0,4 м. Толщины снежного покрова 0,1 м уже достаточно, чтобы предотвратить промерзание верхнего слоя взорванной породы.

**Таблица 1 – Значения коэффициентов эффективного теплообмена при вариации толщины снега  $\delta_{sn}$**

| $\delta_{sn}, \text{ м}$           | 0,0  | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| $\alpha, \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ | 10,0 | 1,07 | 0,57 | 0,39 | 0,29 | 0,23 |

Понижение температуры воздуха до -20<sup>0</sup>С скажется более существенно на глубину промерзания взорванной породы. В отсутствии снежного покрова промерзание ниже температуры 0<sup>0</sup>С за 10 суток составит практически 0,95 м. Постепенное увеличение толщины снежного покрова с 0,1 м до 0,5 м приведёт к снижению глубины промерзания с 0,6 м до 0,25 м.

Важно отметить, что на границе раздела областей модели переход температуры через 0<sup>0</sup>С (температура фазового перехода «лёд-вода») происходит в период между 1 и 2 сутками процесса моделирования.

#### **«Влажное» состояние массива**

Эффект наличия влаги в отбитой породе на её промерзание рассмотрен с привлечением программного модуля, позволяющего моделировать фазовый переход «лёд-вода». В Горном институте указанный модуль использовался в рамках решения задачи, связанной с прогнозом теплового состояния криолитозоны при размещении в ней источников тепловыделений (например, подземной атомной станции малой мощности или объекта захоронения отработавшего ядерного топлива Билибинской АЭС) [7].

Наличие влаги в зоне отбитой породы проварьировано от 1% до 5%.

Поскольку, как было показано выше, наличие снежного покрова заметно снижает глубину промерзания массива, то все расчёты выполнены для условия отсутствия снега.

Результаты расчётов следуют за физикой процесса: чем выше влажность, тем медленнее идёт процесс охлаждения породы, поскольку при охлаждении воды имеет место выделение теплоты. На 10 суток процесса моделирования глубина промерзания при влажности 1% составляет 0,83 м, а при влажности 5% – 0,73 м.

Переход через температуру фазового «лёд-вода» на границе раздела областей модели происходит после 2 суток процесса моделирования, т.е. процесс промерзания «влажной» породы запаздывает по сравнению с «сухой» породой.

В таблице 2 обобщены глубины промерзания «влажной» отбитой породы на 10 суток процесса моделирования для двух значений температуры воздуха (-10<sup>0</sup>C и -20<sup>0</sup>C) при вариации влажности. Как видно из представленных данных, эффект наличия влаги в породе зависит ещё и от внешних метеоусловий. Во всяком случае, производная глубины промерзания от влажности может составлять несколько сотых метра на 1% влажности. Причём в менее холодных условиях (-10<sup>0</sup>C) указанный параметр выше. Для сравнения в последней колонке таблицы 2 представлены глубины промерзания, рассчитанные для случая «сухой» отбитой породы.

**Таблица 2 – Глубина промерзания отбитой породы на 10 суток процесса моделирования для «влажной» (от 1 до 5 %) и «сухой» отбитой породы в отсутствие снежного покрова, м**

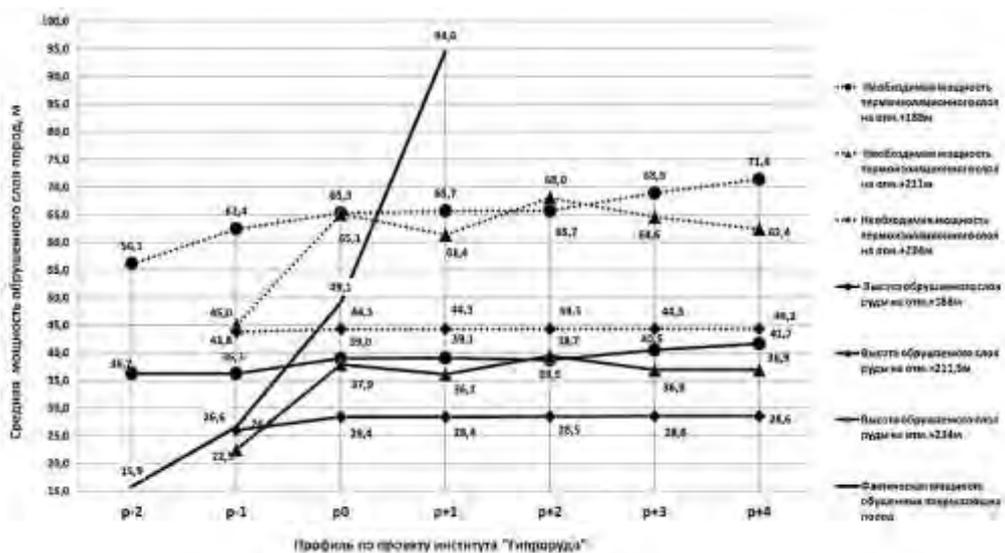
| Температура воздуха, °C | Влажность отбитой породы, % |      |      |      |      | «Сухая» порода» |
|-------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|-----------------|
|                         | 1                           | 2    | 3    | 4    | 5    |                 |
| -10                     | 0,28                        | 0,21 | 0,17 | 0,11 | 0,01 | 0,40            |
| -20                     | 0,83                        | 0,80 | 0,78 | 0,75 | 0,73 | 0,95            |

### Минимально необходимая мощность термоизолирующего породного (рудного) слоя

Минимальную мощность термоизолирующего породного слоя при этажном и подэтажном обрушении рудного массива ( $H_{сл}$ ) можно принять, исходя из условия обеспечения полного заполнения очистного пространства блока вслед за выпуском руды:

$$H_{сл} = H_B \frac{100 + P_{\%}}{100 - P_{\%}} + H_{нр} - H_c, \text{ м,}$$

где  $P_{\%}$ ,  $P_{\%}$  – потери и разубоживание руды при выпуске рудной массы, %;  $H_B$  – высота выпускаемого слоя рудной массы, м;  $H_{нр}$  – глубина промерзания обрушенной породы (руды), м;  $H_c$  – высота снежного покрова, м.



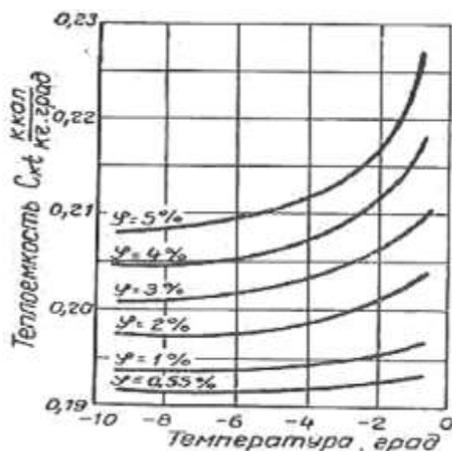
**Рис. 2. Фактическая и необходимая мощность термоизоляционного слоя при извлечении запасов руды на подэтажах стыковочной зоны в районе Саамского карьера**

На основании проведённых исследований и горнотехнической ситуации в районе Саамского карьера выявлено, что часть запасов, извлекаемых подземным способом, в период отрицательных температур не может быть обеспечена минимально необходимой мощностью термоизоляционного слоя за счёт принудительного обрушения покрывающих пород или частичного маганизирования руды при отбойке её на верхних подэтажах (рис. 2).

### Управление интенсивностью выпуска руды

При отработке блоков, расположенных вблизи поверхности, между отбитой рудой, атмосферой и вентиляционной струёй, пронизывающей руду, происходят сложные процессы теплообмена. Смерзание руды в магазине может возникнуть при следующих схемах теплообмена [8]:

1. Теплообмен при выпуске руды в зимний, весенний и осенний периоды в условиях противотока, когда руда опускается вниз навстречу воздушному потоку, пронизывающему весь магазин.



**Рис. 3. Зависимость удельной теплоёмкости апатитовой руды от температуры при различной влажности [9]**

2. Теплообмен в неподвижном магазине.

Как известно [9], предотвратить смерзание руды в магазине в условиях противотока воздуха через обрушение очистных забоев, граничащих с дневной поверхностью, можно посредством интенсивности её выпуска. Для оценки минимально необходимой интенсивности выпуска руда авторы воспользовались выражением, рекомендованным в работе [9]:

$$i = \frac{86,4 \cdot w_d \cdot S_d \cdot C_a}{S_v \cdot C_r}, \text{ т/м}^2 \text{ в сутки}$$

где  $C_a$  — объёмная теплоёмкость воздуха, ккал/(м<sup>3</sup>·К);  $C_r$  — удельная теплоёмкость руды, ккал/(кг·К);  $S_d$  — сечение дучки, м<sup>2</sup>;  $S_v$  — сечение

воронки, м<sup>2</sup>;  $w_d$  — скорость утечки воздуха в дучке, м/с.

В нашем случае, при применении системы разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды, адаптируем наименования конструктивных элементов системы разработки с этажным обрушением руды и вмещающих пород. Сечение дучки  $S_d$  заменим на сечение горизонтальной части отбиваемой секции по подошве буродоставочной выработки  $S_p$ , а сечение воронки  $S_v$  на горизонтальное сечение эллипсоида выпуска  $S_s$  на момент достижения им максимальных размеров при заданной высоте подэтажа. В выполненных оценках фиксированные значения были присвоены двум параметрам: объёмная теплоёмкость воздуха и максимальное горизонтальное сечение эллипсоида выпуска при высоте выпускаемого слоя рудной массы до 40 ÷ 50 м, 0,306 ккал/(м<sup>3</sup>·К) и 513 м<sup>2</sup>, соответственно. Рассмотрено два значения для горизонтальной площади по подошве буродоставочной выработки (толщина отбиваемого слоя 2,8 м и 5,6 м) 13,45 и 26,90 м<sup>2</sup>. Эффект зависимости удельной теплоёмкости руды от температуры при различной влажности, что отмечено в работе [9] в графической форме (Рисунок 3), принят во внимание посредством вариации значений этого параметра: 0,190, 0,200, 0,210 и 0,220 ккал/(кг·К). Значения скорости утечки воздуха, основанные на ве-

личинах натуральных замеров, проварьированы в диапазоне 0,05 ÷ 0,50 с шагом 0,05 м/с. В отдельных очистных забоях буродоставочных выработок, находящихся в непосредственной близости от дневной поверхности (выработанного пространства карьера), скорости утечки воздуха могут достигать до 1,5 м/с и более.

В таблице 3 представлены расчётные значения минимально необходимой интенсивности выпуска руды для ряда значений скорости утечки воздуха. В силу линейности используемых в вычислениях зависимостей расчётные значения минимально необходимой интенсивности выпуска руда также могут быть описаны линейными соотношениями. В частности, в указанных выше диапазонах вариации параметров  $C_r$  и  $w_d$  имеем следующую зависимость  $i = (a \cdot C_r + b) \cdot w_d$ , где коэффициенты  $a$  и  $b$  попарно равны -0,0166 и 6,7991 для  $S_p$  13,45 м<sup>2</sup> и -0,0332 и 13,5980 для  $S_p$  26,90 м<sup>2</sup>, соответственно.

Отметим интересный физически верный момент. Поскольку при одной и той же температуре с ростом влажности удельная теплоёмкость апатитовой руды увеличивается, то при фиксированной горизонтальной площади по подошве буродоставочной выработки минимально необходимая интенсивность выпуска руда снижается, что видно по данным табл. 3.

**Таблица 3 – Расчётные значения минимально необходимой интенсивности выпуска руда, т/м<sup>2</sup> в сутки**

| Скорость утечки воздуха, м/с | Удельная теплоёмкость апатитовой руды, ккал/(кг·К)   |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                              | 0,190  |        | 0,200  |        | 0,210  |        | 0,220  |        |
|                              | Площадь горизонтальной части отбиваемой секции по подошве буродоставочной выработки $S_p$ , м <sup>2</sup> |        |        |        |        |        |        |        |
|                              | 13,45  | 26,90  | 13,45  | 26,90  | 13,45  | 26,90  | 13,45  | 26,90  |
| 0,05                         | 0,1824   | 0,3648 | 0,1733 | 0,3466 | 0,1650 | 0,3301 | 0,1575 | 0,3151 |
| 0,10                         | 0,3648   | 0,7297 | 0,3466 | 0,6932 | 0,3301 | 0,6602 | 0,3151 | 0,6302 |
| 0,15                         | 0,5472   | 1,0945 | 0,5199 | 1,0398 | 0,4951 | 0,9902 | 0,4725 | 0,9452 |
| 0,20                         | 0,7297   | 1,4593 | 0,6932 | 1,3863 | 0,6602 | 1,3203 | 0,6302 | 1,2603 |
| 0,25                         | 0,9121   | 1,8241 | 0,8665 | 1,7329 | 0,8252 | 1,6504 | 0,7877 | 1,5754 |
| 0,3                          | 1,0945   | 2,1890 | 1,0398 | 2,0795 | 0,9902 | 1,9805 | 0,9452 | 1,8905 |
| 0,35                         | 1,2769   | 2,5538 | 1,2130 | 2,4261 | 1,1553 | 2,3106 | 1,1028 | 2,2055 |
| 0,4                          | 1,4593   | 2,9186 | 1,3863 | 2,7727 | 1,3203 | 2,6406 | 1,2603 | 2,5206 |
| 0,45                         | 1,6417   | 3,2834 | 1,5596 | 3,1193 | 1,4854 | 2,9707 | 1,4178 | 2,8357 |
| 0,5                          | 1,8241   | 3,6483 | 1,7329 | 3,4659 | 1,6504 | 3,3008 | 1,5754 | 3,1508 |

### Заключение

В статье представлены предварительные результаты оценки теплового состояния в «сухом» и «влажном» состояниях неактивного магазина отбитой породы, находящейся либо в «сухом», либо «влажном» состояниях в зависимости от отрицательной температуры атмосферного воздуха и наличия снежного покрова. Исследования выполнены на базе созданных компьютерных моделей, позволяющих получать пространственно-временные распределения температуры отбитой породы, в т. ч. с учётом фазового перехода «вода-лёд».

Анализ результатов выполненных численных экспериментов позволяет констатировать несколько моментов, имеющих разный «вес» значимости и новизны:

- за десятидневный срок имеет место промерзание отбитой породы только в пределах первого метра;

- заметное влияние на глубину промерзания оказывает высота снежного покрова за счёт уменьшения величины коэффициента эффективного теплообмена;
- в большей степени подвержена промерзанию «сухая» отбитая порода;
- каждый процент влажности породы «отнимает» у глубины промерзания несколько сотых метра.

Рассмотрена зависимость интенсивности выпуска отбитой рудной массы от конструктивных параметров системы разработки, параметров отбиваемого слоя и удельной теплоёмкости породы. Исходя из современной тенденции увеличения площади поперечного сечения очистных выработок, вследствие применения всё более мощного погружно-доставочного оборудования, и на основании практического опыта отработки прикарьерных запасов подземными рудниками АО «Апатит», можно сделать вывод, что при определённом увеличении интенсивности выпуска рудной массы из магазина и изоляции от выработанного пространства буродоставочных выработок, где отбойка руды и выпуск прекращён, необходимость в формировании термоизолирующего породного (рудного) слоя отпадает.

При приближении фронта очистных работ подземного рудника к выработанному пространству карьера повышение эффективности подземной технологии отработки прикарьерных запасов в период отрицательных величин наружного воздуха может быть достигнуто:

- формированием термоизолирующего породного (рудного) слоя за счёт самообрушения покрывающих пород или частично предварительно отбитой массовыми взрывами и временно не выпускаемой (замагазинированной) руды стыковочных секций верхних горизонтов (подэтажей);
- увеличением интенсивности выпуска рудной массы и изоляцией отработанных участков от выработанного пространства при извлечении прикарьерных запасов, где невозможно сформировать термоизоляционный слой необходимой мощности;
- отбойкой руды объёмом не более суточной производительности очистных забоев.

### Список литературы

1. Комплексная разработка рудных месторождений мощными глубокими карьерами. (Мельниковские чтения). Труды международного совещания. Апатиты: РАН КНЦ Горный институт, 1995. 145 с
2. Демидов Ю.В. О классификации систем комбинированной разработки рудных месторождений // Горный журнал. 1995, №4. С. 16-19.
3. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Семёнова И.Э., Белгородцев О.В. Подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ в системе MINFRAME. // Горный журнал. 2015, №8. С. 53-57.
4. Lukichev S., Belogorodtsev O., Amosov P. Improvement of a Mining Technology for Near Open-Pit Reserves Excavation in the Northern Conditions // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Т. 17. № 13. P. 415-422.
5. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск, ГЕО, 2008. 230 с.
6. Регулирование теплового режима подземных сооружений складского и специального назначения в условиях Севера / А.С. Курилко [и др.]: [отв. ред. С.А. Батугин]; Рос. акад. Наук, Сиб. отд-ние, Учреждение Рос. акад. Наук Ин-т горного дела им. Н.В. Черского СО РАН. Якутск: Изд-во Инта мерзлотоведения СО РАН, 2011. 246 с.
7. Мельников Н.Н., Амосов П.В., Новожилова Н.В., Климин С.Г. Экология подземных объектов ядерной энергетики в условиях криолитозоны. Ярославль: ООО «Принтхаус-Ярославль», 2015. 119 с.

8. Николаев Ю.И. Исследование условий выпуска и методов предотвращения смерзания магазинированной руды на рудниках комбината «АПАТИТ». Автореферат дис. ... кандидата технических наук. Л., 1969. 20 с.

9. Гущин В.В., Беличенко Л.Ф., Бусырев В.М. Подземная разработка апатитовых месторождений. Мурманск, кн. изд-во, 1972. 224 с.

УДК 622.67

## ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ИНЪЕКЦИОННЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА В УСЛОВИЯХ САФЬЯНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

ВЬЮГОВ А. А.<sup>1</sup>, МАЖИТОВ А. М.<sup>2</sup>, ГНЕДЫХ А. П.<sup>2</sup>, КРАСАВИН А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НЧОУ ВО «Технический университет УГМК»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

**Аннотация.** В работе представлены методика и результаты проведенных опытно-промышленных испытаний этажно-камерной системы разработки в восходящем порядке с инъекционным упрочнением сухого закладочного массива в условиях Сафьяновского месторождения. Исследования показали, что предлагаемая технология технически осуществима и не вызывает сомнений в ее эффективности.

**Ключевые слова:** подземная разработка, восходящий порядок, бутобетонная закладка, инъекционное упрочнение.

## PILOT TESTING OF CHAMBER SYSTEMS WITH INJECTING HARDENING BACKFILL ARRAY IN TERMS OF SAFYANOVSKY MINE MAKES UP

VJUGOV A. A.<sup>1</sup>, MAZHITOV A. M.<sup>2</sup>, GNEDYKH A. P.<sup>2</sup>, KRASAVIN A. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical University of UMMC

<sup>2</sup>Nosov Magnitogorsk State Technical University

**Abstract.** The paper presents the methodology and results of the conducted pilot testing of storey-chamber systems in ascending order, with the injection of dry hardening backfill array in terms of Safyanovsky mine makes up. Studies have shown that the proposed technology is technically feasible and there is no doubt about its effectiveness.

**Keywords:** underground mining, upward, rubble concrete laying, injection hardening.

Проведение опытно-промышленных испытаний непосредственно на участке месторождения является неотъемлемой частью исследований по оценке технической осуществимости и эффективности технологии отработки месторождения и дальнейшего ее внедрения в производственный процесс. В связи с этим цель работы заключается в уточнении аналитических и экспериментальных исследований и технологических решений по формированию искусственного массива путем инъекционного упрочнения сухой сыпучей закладки.

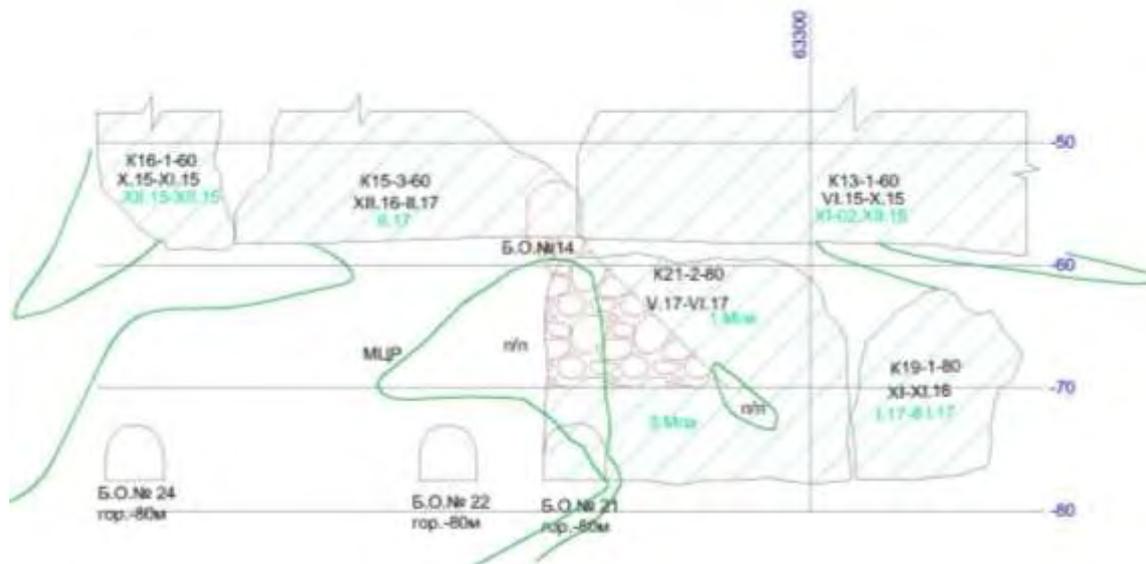
Реализуемая технология [1,2] включает проведение доставочного и вентиляционного штреков, вентиляционно-ходового восстающего, соединяющего доставочный и вентиляционный этажи, а также буро-доставочных ортов, разделяющих рудное тело на камеры. Очистным камерам придают форму параллелепипеда с углом наклона контакта с рудным массивом смежной камеры 75-85 градусов и располагают вкрест простирания рудного тела. Камеры отрабатываются в сплошном порядке без оставления в выработанном пространстве несущих целиков. Развитие фронта горных работ в пределах этажа осуществляется от центра к флангам, либо от одного фланга к другому, при восходящем порядке разработки залежи. Отработка первой камеры начинается с проходки отрезного восстающего и формирования отрезной щели. Отбойка основных запасов камеры осуществляется на компенсационное пространство отрезной щели. Висячий бок камеры формируется под углом 75-85 градусов, причем при отработке от центра к флангам, центральная камера имеет форму трапеции и соответственно два висячих бока. Угол наклона стенок камер в сторону выработанного пространства повышает устойчивость закладочного массива. После очистной выемки выработанное пространство камеры заполняется пустой породой. Далее производится упрочнение слоя породной закладки на границе с рудным массивом, путем инъецирования. Подача цементного раствора производится по скважинам, пробуренным из выработок вентиляционного этажа. Количество скважин рассчитывается исходя из радиуса проникновения раствора в породу, высоты и длины камеры. Отбойка запасов последующих камер ведется в зажимающей среде, обеспечивая тем самым уплотнение не потерявшего подвижность закладочного массива сопряженной камеры [3].

Для проведения опытно-промышленных испытаний подземным рудником АО «Сафьяновская медь» представлен участок месторождения, включающий очистную камеру (K21-2-80) и сопряженную с ней камеру K22-3-80 в подэтаже -60/-80 Сафьяновского месторождения.

Рудный массив опытного блока сложен медно-цинковым колчеданом неравномерно окремненном, участками слабо выщелоченном, трещиноватом выше среднего разнонаправлено, трещины неравномерно заполнены интенсивно гидрослюдизированными породами кислого состава до состояния глинки трения. Крепость руд 10-12. Отмечается слабый капез воды. Содержание серы составляет более 30%. Породы относятся к категории устойчивости IVa. Руда относится ко II классу – умеренно склонная к самовозгоранию, II типу – пожароопасная.

Конструирование и адаптация системы разработки к условиям опытного блока произведены с учетом экспериментального характера отработки запасов и предусматривает подходящие выработки для осуществления съемки контуров обнажения с целью оценки устойчивости закладочного массива. В целом очистные работы при отработке запасов опытного блока производятся существующей камерной системой разработки с расположением камер вкрест простирания.

Закладка опытной камеры производилась в четыре этапа (рис. 1). На первоначальном этапе формировался несущий слой прочностью 3 МПа и высотой 10,5 м для обеспечения сохранности нижерасположенных очистных камер. На следующем этапе (основном) производилась засыпка камеры сухой породной закладкой с одновременным монтажом иньекторов. Далее для обеспечения полноты закладки выработанного пространства незаложенный объем камеры заполнялся твердеющей закладкой прочностью 1 МПа. На завершающем этапе производилось инъецирование породной закладки водцементным раствором, подаваемым через перфорированные иньекторы.



**Рис. 1. Схема закладки опытно-промышленной камеры закладочным материалом (разрез вкрест простирания камеры)**

Перед проведением закладочных работ опытная камера 21-2-80 зачищена от отбитой руды с помощью ПДМ с дистанционным управлением, подходы к камере закреплены и очищены от постороннего хлама, а также произведена съемка стенок отработанного пространства и анализ отработки камер [4]. В качестве сухой закладки используется пустая порода с проходки горно-капитальных и подготовительных выработок фракцией  $5 \div 300$  мм.

Разгрузка автосамосвалов, транспортирующих породную закладку, осуществляется на почву вентиляционно-закладочного горизонта вблизи закладываемой камеры. Подача доставленного закладочного материала непосредственно в камеру производится с помощью ковшовых ПДМ, выполняющих роль бульдозера с соблюдением мер безопасности. Для разгрузки автосамосвала на почву выработки предусматривается разгрузочный пункт.

Порода, подаваемая в камеру с помощью ковшовых ПДМ, распространяется по камере самотёком под действием силы тяжести. При этом в выработанном пространстве в районе места подачи закладка отсыпается в виде конуса с углом естественного откоса  $30-40^\circ$ , в связи с этим в выработанном пространстве могут возникать значительные объёмы недозаложенных пустот. Это требует применения дополнительных мероприятий по обеспечению необходимой степени заполнения выработанного пространства. Одним из мероприятий может считаться максимально возможное увеличение ширины вентиляционно-закладочной выработки (по опыту применения восходящей выемки руды на зарубежных рудниках для увеличения степени заполнения выработанного пространства породной закладкой ширина закладочной выработки увеличивается до  $6 - 8$  метров).

Когда вершина конуса достигла уровня почвы бурового орта гор. -60 м, подача породы в камеру под действием собственного веса стало затруднительной. Дальнейшее заполнение выработанного пространства камер осуществлялось с помощью ПДМ с дистанционным управлением. При этом дистанционно управляемая машина заходила в камеру по навалу отсыпанной породы и перемещала отсыпанный навал по камере, выполняя функции бульдозера. Использование этого способа требует дополнительных

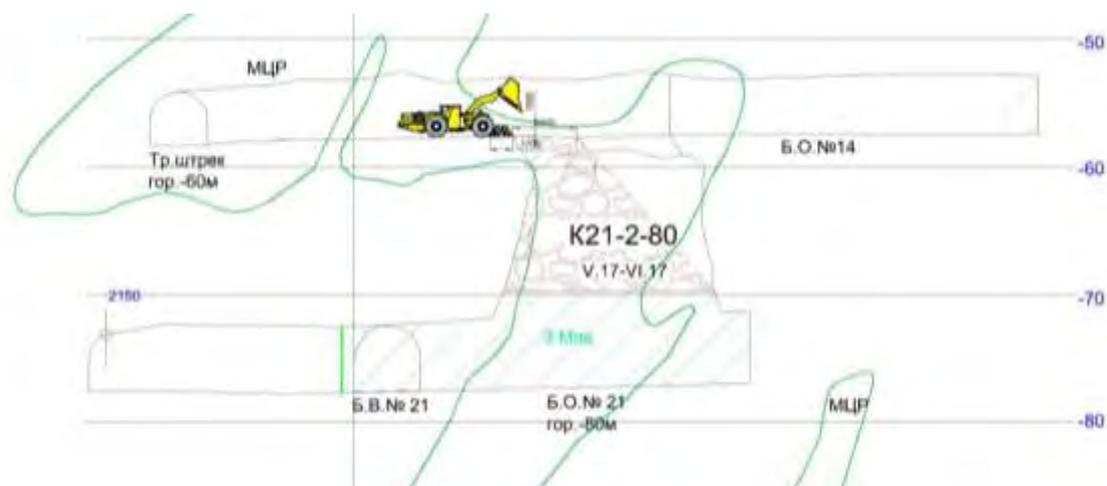
мер безопасности. При движении машины по свежоотсыпанному навалу породы не исключается его оползание, и машина вместе с оползнем может сползти к основанию навала. Для предотвращения этого рекомендуются следующие меры:

- производить закладку камер порциями с перерывом для некоторой слёживаемости пород в навале и снижения подвижности пород. В этом случае движение ПДМ по слежавшейся породе, а не по свежоотсыпанному навалу будет значительно безопаснее;

- закреплять на ПДМ страховочный трос, чтобы вытянуть её в случае сползания по откосу.

По истечении времени за счёт естественной слёживаемости пород, а также при воздействии на них веса передвигающейся по породной закладке ПДМ происходит уплотнение закладочного массива. Соответственно образуются усадка закладочного материала и уровень закладки понижается. Для регистрации состояния породной закладки организован систематический контроль верхнего уровня закладочного массива. Для ликвидации появляющихся недозакладов за счёт усадки закладочного массива периодически, а также перед началом отработки вышележащего выемочного подэтажа производится подсыпка породы и восстановление уровня закладочного массива до кровли отработанных камер.

Схема закладки представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Схема формирования сухой закладки**

Инъекционная технология включает приготовление растворов, установку инъекторов, транспортирование и нагнетание раствора. Для приготовления, транспортирования и нагнетания упрочняющего раствора используется существующий поверхностный закладочный комплекс.

После очистной выемки запасов камеры 21-2-80 по северной ее стенке на всю высоту монтируются инъекторы из ПВХ или металлической трубы  $d_y = 100$  мм, перфорированный выпускными отверстиями для пропуска инъекционного раствора через каждые 3÷5 м по длине инъектора. Общая площадь сечения выпускных отверстий не менее  $5S_n$  ( $S_n$  –сечение трубы инъектора,  $см^2$ ). Таким образом, принимается диаметр отверстий  $b \geq 8$  мм. Инъекторы монтируются через каждые 4 м по всей длине камеры (рис. 3).



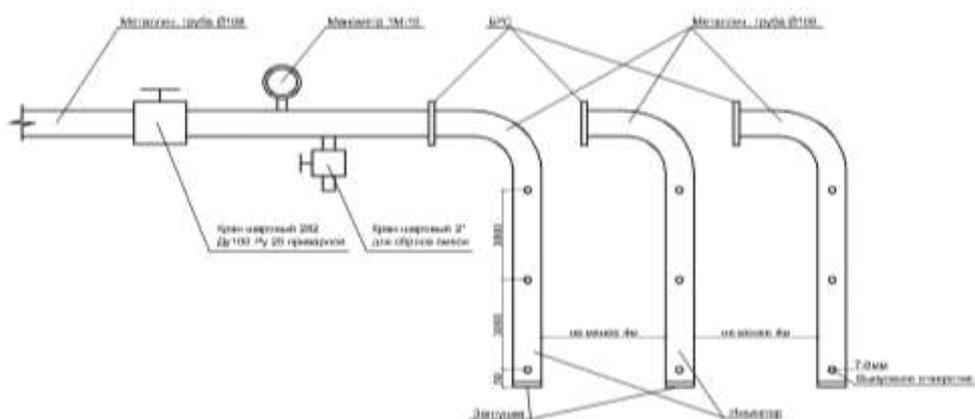
**Рис. 3. Схема укладки инъекторов в камере**

Нагнетание осуществляется за счет давления гидростатического столба. При плотности инъекционной смеси  $\rho = 1210 \text{ кг/м}^3$  и глубине нагнетания  $H = 200 \text{ м}$  (с учетом потерь давления на горизонтальных участках) давление нагнетания  $P_{\text{нагн}}$  составило:

$$P_{\text{нагн}} = \rho \cdot g \cdot H = 1210 \cdot 9,8 \cdot 200 = 2,4 \text{ МПа}$$

Инъектирование производится в IV стадии в отступающем порядке путем переключения инъекторов (рис. 4). Контроль за полнотой насыщения массива породной закладки инъекционной смесью осуществляется посредством манометра, установленного у основания инъектора, и визуально, по степени наполнения инъектора. При превышении номинального давления равного 2,4 МПа и более подача раствора прекращается. В случае снижения уровня смеси в инъекторе производится ее подливка. По окончании нагнетания раствора давление в системе снижено до нуля и произведен сброс раствора в камеру.

Во время производства работ составляется график хода инъекции (график поглощения раствора и давления нагнетания).



**Рис. 4. Схема подключения магистрального закладочного трубопровода к инъекторам**

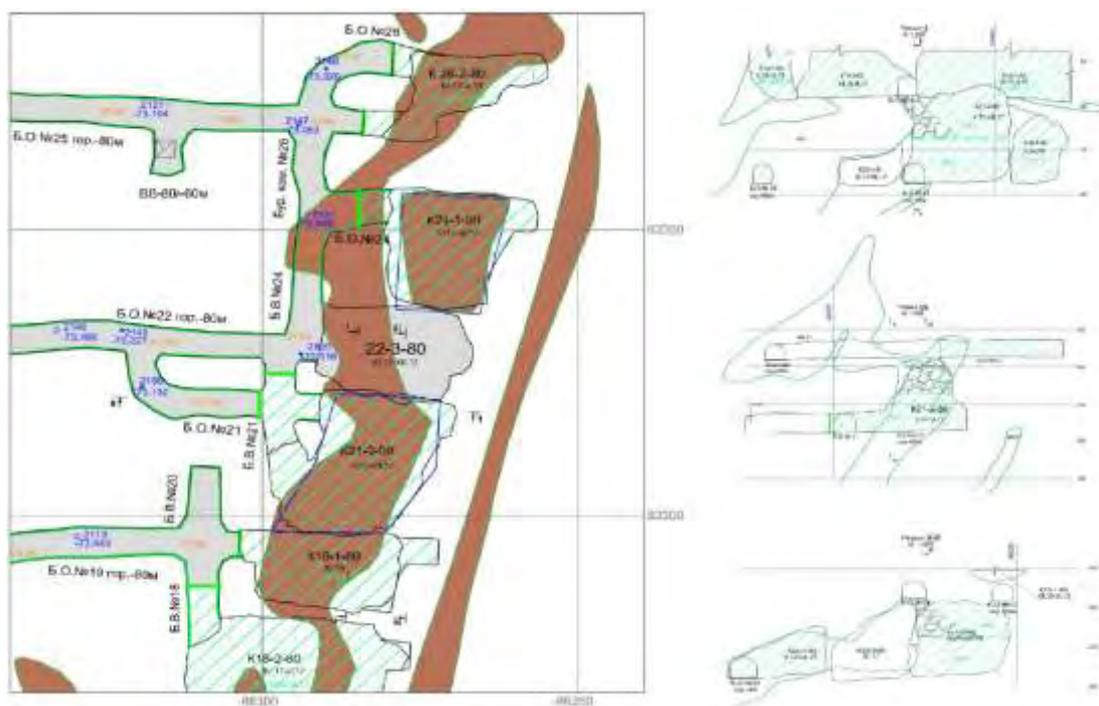
Монтаж инжекторов из металлических труб  $\varnothing$  108 мм не представляло осложнений, т.к. в данном случае длина той части которая опускалась в очистную камеру 21-2-80 от 7 до 9 метров. В других случаях, где высота очистной камеры будет большей соответственно возникнут осложнения безопасном в монтаже инжекторов.

При производстве процесса инъекции было израсходовано  $63 \text{ м}^3$  цементного молока, в т.ч. цемента 18850 кг, воды 56770 л.  $54 \text{ м}^3$  цементного молока ушло на пропитку толщи сухой закладки,  $9 \text{ м}^3$  слилось на почву горной выработки в процессе сброса давления и промывки закладочного трубопровода.

При производстве процесса инъекции последнего третьего инжектора наблюдалось выпучивание цементного молока из сухой закладки т.к. в данном месте сухая закладка не была утрамбована. В данном месте наблюдалось пропитка на расстоянии 2,5 м от инжектора.

В связи с тем, что сухая закладка применялась в виде пустой породы с проходческих работ, представленными реалиями интенсивно гидрослюдизированными, можно сделать вывод, что пустотность сухой закладки около 20%. Пустотность 20% получалась исходя из предполагаемого объема пропитки сухой закладки, который составляет порядка  $400 \text{ м}^3$  и объема  $54 \text{ м}^3$  цементного молока израсходованного на пропитку.

Последующая отработка сопряженной камеры К22-3-80 (рис. 5) свидетельствует об устойчивости укрепленного слоя закладочного массива. Значительных вывалов породы, влияющих на коэффициент разубоживания, не наблюдалось. Также на устойчивость вертикальной стенки повлияла рудная корка мощностью до 0,5-1 м, сформировавшаяся при ведении буровзрывных работ. При производстве очистных работ и выпуске рудной массы из камеры рудная корка обрушилась, в результате отслоения от закладочного массива, и не повлияла на коэффициент потерь по камере.



**Рис. 5. Состояние очистных работ опытного участка после отработки сопряженной камеры**

Таким образом, предлагаемая технология с инъекционным упрочнением сухого закладочного массива технически осуществима и не вызывает сомнений в ее эффективности. Для уточнения параметров поэтажно-камерной системы разработки со сплошной выемкой и инъекционным упрочнением сухого закладочного массива в раз-

личных горно-геологических условиях Сафьяновского месторождения необходимо дополнительное проведение опытно-промышленных работ на отдельном геологическом участке.

Для внедрения выше указанной системы разработки необходимо:

- согласование нормативных документов (прохождения экспертизы и т.д.);
- провести опытный анализ проведения инъекции через скважины;
- из полученных результатов провести анализ производительности и анализ трудозатрат по производству закладочных работ с учетом проведения всех работ, связанных с проведением инъекции сухого закладочного массива;
- произвести оценку необходимости приобретения новой самоходной и вспомогательной техники.

### Список литературы

1. Вьюгов А.А. Снижение ресурсоемкости закладочных работ при освоении крутопадающего рудного тела / А.А. Вьюгов, А.М. Мажитов, Д.А. Асанов // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений сборник докладов VI Международной научно-технической конференции. 2017. С. 65-70.

2. Мажитов А.М. К вопросу снижения себестоимости закладочных работ при камерных системах разработки / А.А. Вьюгов, А.М. Мажитов, Д.А. Асанов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2017. Т. 1. С. 18-20.

3. Мажитов А.М. Интенсификация технологии восходящего порядка отработки крутопадающего рудного тела / А.М. Мажитов, Д.А. Асанов // Актуальные проблемы горного дела. 2016. № 2. С. 36-42.

4. Мажитов А.М. Текущее состояние и перспективы внедрения по Mineframe в систему управления горнодобывающего предприятия на примере АО «Сафьяновская медь» / А.М. Мажитов, И.А. Мосунов // Актуальные проблемы горного дела. 2017. № 3. С. 14-17.

УДК 622.235

## АНАЛИЗ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ СО СНИЖЕНИЕМ ЗОЛЬНОСТИ ОТБИТОГО УГЛЯ И РАЗМЕЩЕНИЕМ ПУСТЫХ ПОРОД В ШАХТЕ

ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В., ГУСМАНОВ Ф. Ф., КУЗНЕЦОВ А. М.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация:** В статье приводится анализ геотехнологий и опыт их применения на международном уровне в различных отраслях горнодобывающей промышленности.

**Ключевые слова:** добыча угля, промышленность, очистной забой, технологические схемы, глубина залегания.

## ANALYSIS OF GEOTECHNOLOGIES WITH REDUCED ASH CONTENT OF THE COUNTERED COAL AND PLACEMENT OF EMPTY ROCKS IN MINE

POTAPOV V. Ya., POTAPOV V. V., GUSMANOV F. F., KUZNETSOV A. M.  
Ural State Mining University

**Abstract.** The article analyzes the geotechnologies and the experience of their application at the international level in various branches of the mining industry.

**Keywords:** coal mining, industry, clearing face, technological schemes, depth of occurrence

Тенденции последних лет по снижению объемов добычи угля и его доли в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ) Российской Федерации противоречат общепринятой мировой практике, в которой доминирует тенденция повышения роли угля в ТЭБ ведущих стран мира [1, 2-5].

В целом доля угля в топливно-энергетическом балансе мирового сообщества составляет 29 %, в США – 60 %, в Китае – 75 %. Доля угля в выработке электроэнергии в Германии – 58 %, в США – 56 %, в России – чуть больше 25 % среди других энергоносителей [5].

Одним из ключевых факторов, способствующих росту экономики России, является развитие электроэнергетики, основу сырьевой базы которой составляет продукция газовой и угольной отраслей промышленности. Однако в последние годы добыча газа снизилась на 8,5 % [2, 3, 4].

С учетом прогноза роста электропотребления к 2010 году до 1100 млрд. кВт·ч и необходимости обеспечения энергетической безопасности страны целесообразно кардинальное изменение структуры топливно - энергетического комплекса.

Балансовые запасы угля в России содержат до 80 % всего экономически доступного ископаемого топлива, что в отличие от нефти и газа должно гарантировать сохранение роли угольной промышленности как основы энергетики страны на очень длительную перспективу.

Сырьевая база угольной промышленности России представлена балансовыми запасами категории  $A+B+C_1$  в количестве 201,8 млрд. т., из которых 102,3 млрд. т. (50,7 %) – бурые угли, 98,6 млрд. т. (48,9 %) – каменные угли в т.ч. 41,8 млрд. т. (20,9 %) – коксующиеся. Балансовые запасы действующих шахт и разрезов составляют 28,7 млрд. т., резервный разведанный фонд угольной отрасли для строительства новых угледобывающих предприятий соответствует суммарной производственной мощности 1,03 млрд. т. в год [5, 6].

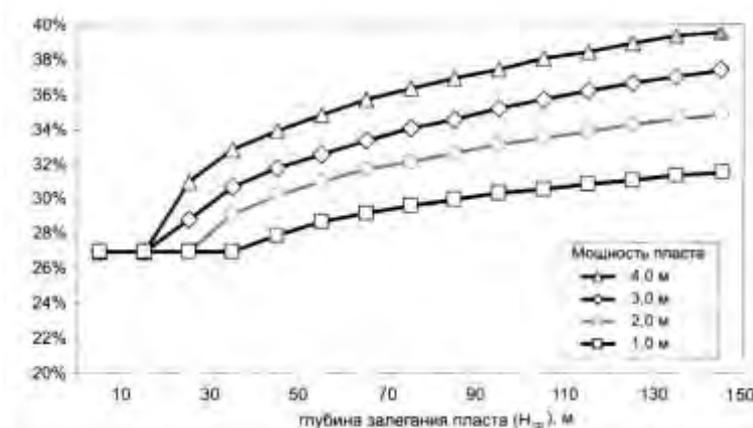
Обеспечение народного хозяйства высокотехнологичным сырьем для металлургической промышленности и энергетики продолжает оставаться основной задачей угольной промышленности [7]. Решение этой важнейшей экономической задачи связано с коренной реконструкцией и техническим переоборудованием; технологией отработки пластов и наращиванием объемов добычи энергетических углей. Так в 2020 году объем добычи угля должен составить 450 – 500 млн. т.

Важным вопросом в этом плане является достижение полного извлечения запасов угольных месторождений. Для решения возникающих при этом задач необходимо иметь полную информацию о состоянии разрабатываемых запасов, уровне их использования, эффективности технологических схем выемки угля. Существующие технологические схемы отработки пластов сохраняют значительный уровень разубоживания продуктивной толщи углей пропластками и вмещающими породами, которые снижают товарную стоимость и увеличивают затраты на производство тонны угольного топлива. Ухудшение качества добываемых углей за счет разубоживания пустыми породами приводит к значительным внутриотраслевым потерям. Это в равной мере относится к подземному и открытому способам разработки.

Использование технологии разработки угольных месторождений с предварительным снижением зольности возможно только при детальном изучении физических параметров пород, слагающих угленосные формации месторождений, мощности и угла падения пластовых залежей и т.п.

Мощность пласта является одним из основных факторов, влияющих на выбор системы разработки, а также выполняет роль классифицирующего признака. В зависимости от мощности пласта применяются системы разработки без разделения пластов на слои или с их разделением [7].

В целом объем потерь полезного ископаемого зависит от глубины отработки и от мощности пласта. Величина потерь растет как с увеличением мощности, так и с глубиной залегания пласта (рис. 1). Максимальный расчетный объем потерь в целиках составляет около 40% [5]. Мощность пласта определяет способы выемки, интенсивность сдвижений вмещающих пород, способы управления горным давлением.



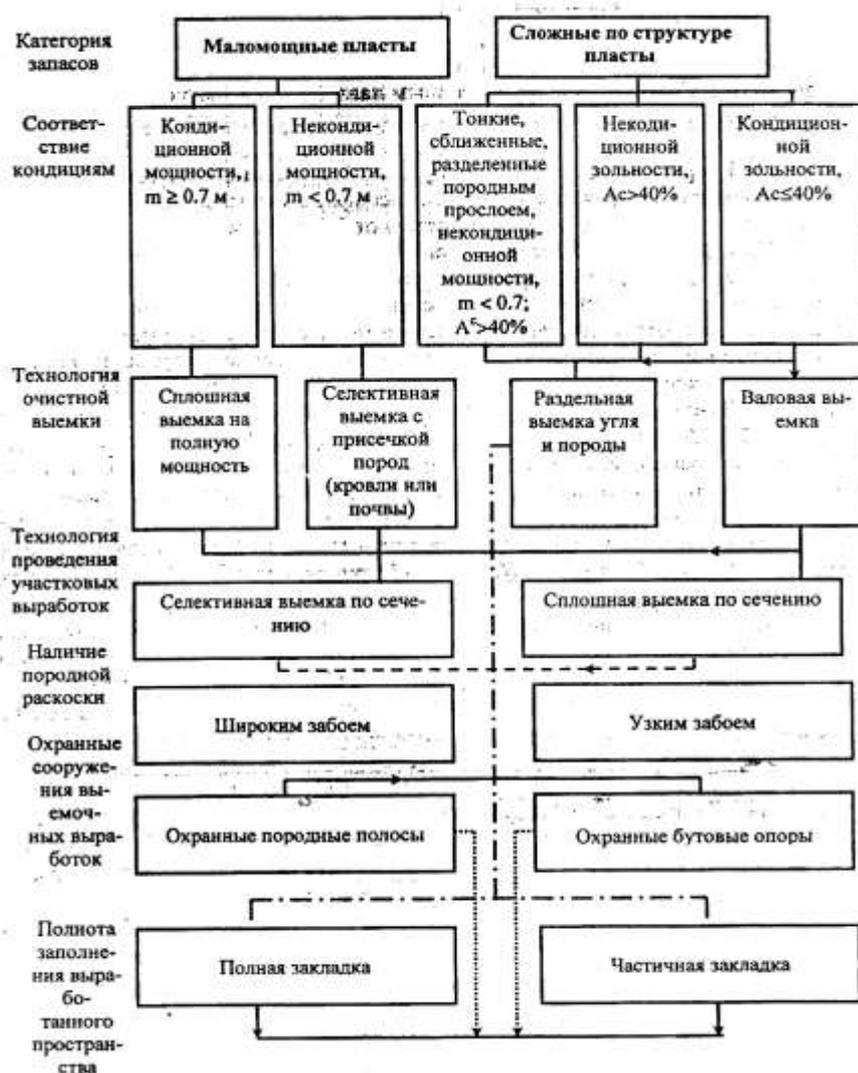
**Рис. 1. Зависимость потерь полезного ископаемого в целиках от мощности (m) и глубины залегания пласта ( $H_{ср}$ )**

На тонких и весьма тонких пластах возникает необходимость присечки пород кровли и почвы пласта при проведении подготовительных выработок, а иногда и при ведении очистных работ в лавах, оборудованных очистными комплексами. В этих условиях, проводимые вслед за очистным забоем подготовительные выработки, охраняют путем размещения породы в бутовых полосах. Это обеспечивает применение сплошных систем разработки на тонких пластах.

При разработке мощных пластов на полную мощность возникают проблемы по поддержанию кровли, что требует применения особых способов выемки угля и крепления забоя. При отработке мощных крутых пластов возникает необходимость в закладке выработанного пространства для уменьшения потерь угля, снижения эндогенной пожароопасности и сохранения поверхности.

В подземной добыче угля на шахтах СНГ на весьма тонкие и тонкие пласты приходится 28-30 % добычи, пласты средней мощности – 56 - 60 % и на мощные пласты 12 – 14 %. При этом определенная часть условно отнесенных с некондиционным запасам угля и практически полностью сопутствующие породы перемещаются в отвалы, существенно ухудшая при воздействии климатических факторов экологическую обстановку на поверхности [8].

Данная ситуация просматривается на многих угольных месторождениях России. Условия разработки угольных месторождений становятся все более сложными, в связи с увеличением глубины ведения горных работ. В виду большого разнообразия горно-технологических условий разнообразны и применяемые системы разработки.



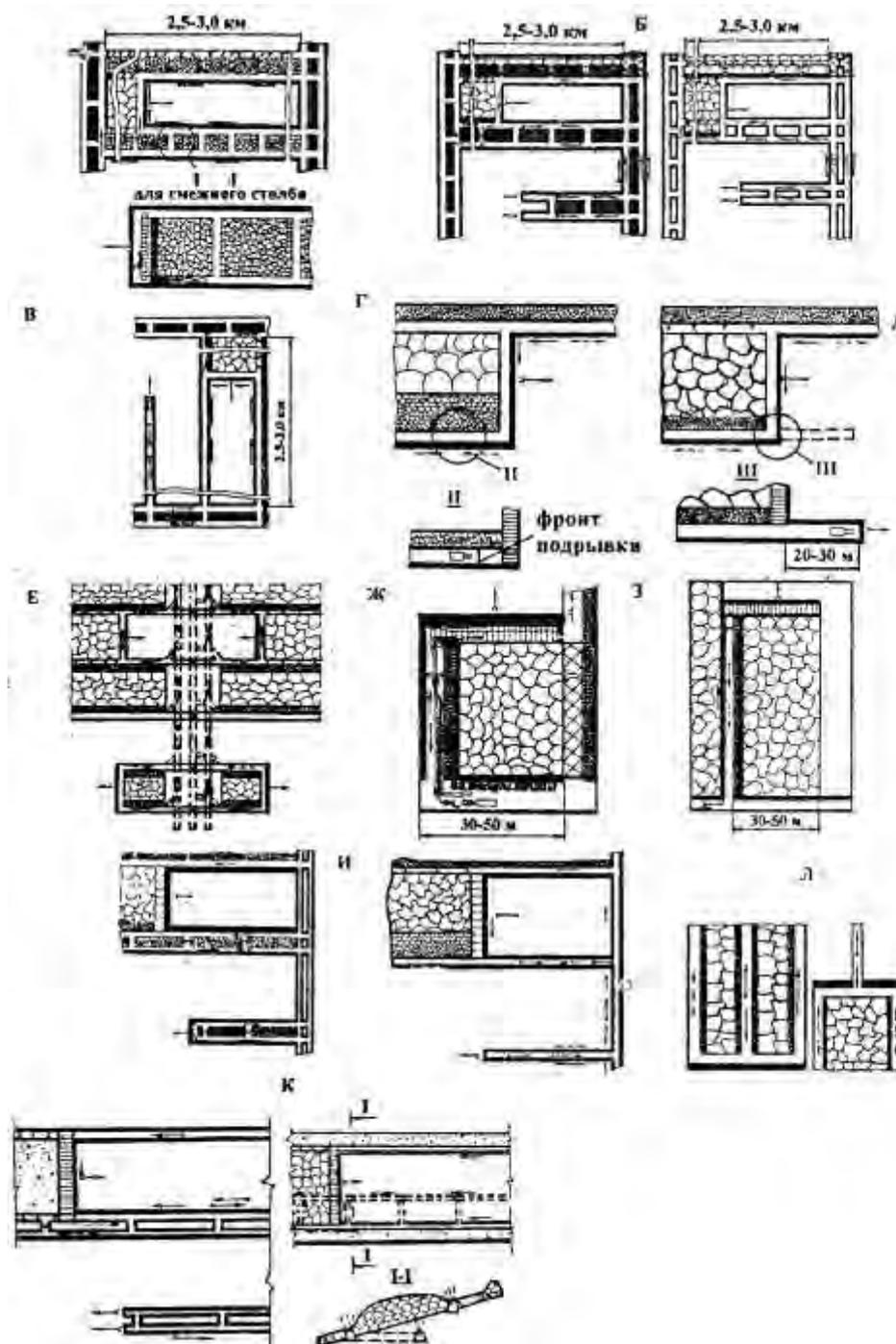
**Рис. 2. Классификация запасов угля в маломощных, сложно-структурных пластах и технологии их выемки**

Вопросам создания технологических схем и их совершенствования, а также технико-экономической оценки потерь угля в целях повышения полноты извлечения его запасов из недр уделяется большее внимание в научных исследованиях и публикациях. Основные положения оптимизации параметров горных работ и технологии разработки пластовых месторождений были заложены еще профессорами Бокием Б.И. (1902), Поповым А.С. (1932), Звягиным П.З. (1935), академиком Шевяковым Л.Д. (1938)

В дальнейшем большой вклад в теорию проектирования горных работ внесли такие ученые как академики Агошков М.И., Мельников Н.В., Шемякин Е.И., члены-корреспонденты РАН Каплунов Д.Р., Малышев Ю.Н., Пучков Л.А., и многие другие.

Распространение основных систем разработки в шахтах СНГ в процентах к общему объему добычи угля характеризуется следующими показателями: сплошная система – 38,5 %, система разработки длинными столбами 44,8 %, система разработки

мощных пластов с разделением на слои 8,9 %, щитовая система разработки 3,2 %, камерные, камерно-столбовые, короткие столбы и др., 4,6 %.



**Рис. 3. Технологические схемы выемки маломощных и сложноструктурных пластов**

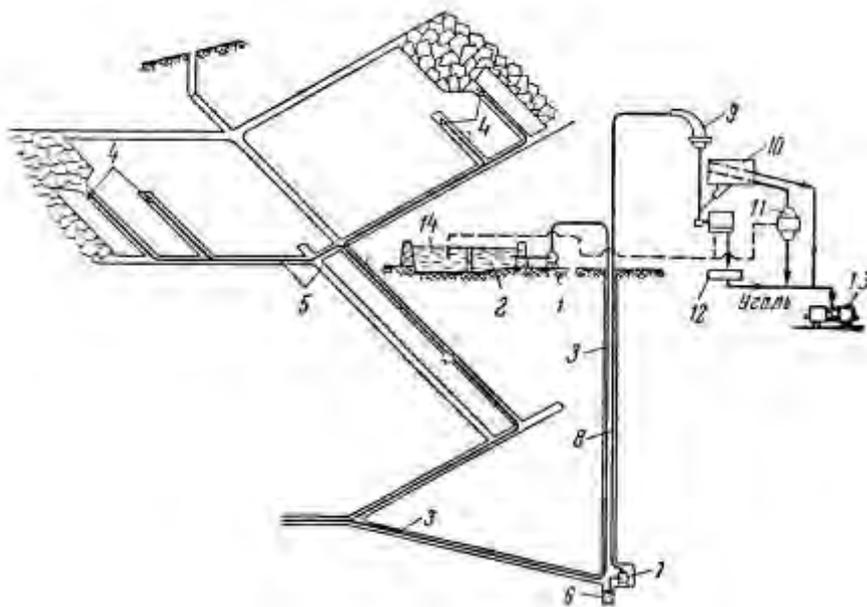
Использование данных технологий при подземной разработке сопровождается разубоживанием отбитого угля. Так при материнской зольности  $A_m^d$  в диапазоне 7-22 % конечная зольность отбитой массы  $A_k^d$  достигает в некоторых случаях 40-50 % (Челябинский бассейн, Кузнецкий бассейн – 31,5 %, Кизеловский бассейн, Печерский

бассейн, Экибастузское месторождение 32 %) [5]. На шахтах Восточного Донбасса разубоживание угля породой при добыче составляет в среднем 20 %, из-за чего на те же 20 % снижается производственная мощность шахт и обогатительных фабрик по полезному компоненту и эффективность использования их производственных фондов.

В последние годы, обострилась проблема уменьшения подготовленных запасов коксующих углей за счет отработки пластов средней мощности и мощных. Поэтому возникает необходимость в восполнении потребности в коксующих углях посредством добычи из маломощных и сложноструктурных пластов [9]. К сложноструктурным пластам причислены пласты смешанного строения с несколькими угольными пачками, разделенные прослойками и по кондициям отнесенные к балансовым или забалансовым запасам. Разработка их ведется обычно без селекции - валовым способом.

Таким образом, разработка запасов коксующихся углей маломощных и сложноструктурных пластов, а при эффективных технологических решениях и забалансовых запасов, является актуальной проблемой.

Мировой опыт разработки маломощных и сложноструктурных пластов показывает, что при высокой нагрузке на лаву (до 3 – 5 тыс. т/сут) порода, получаемая от проведения и поддержания горных выработок, селективной выемки пластов, может выдаваться на поверхность, что обуславливает значительный экологический ущерб и затраты на ее транспортирование, отвалообразование. Но возможно ее оставление в шахте.



**Рис. 4. Технологическая схема добычи угля на гидрошахте:**

- 1 – высоконапорные насосы; 2 – водосборники; 3 – специальные трубы; 4 – мониторы;
- 5 – желоба; 6 – зумпф; 7 – углесосы; 8 – трубопровод; 9 – дуговое сито; грохот – 10;
- 11 – горизонтальные и вертикальные центрифуги; 12 – сушилка; 13 – вагон;
- 14 – шламовый отстойник.

Размещение породы в шахте с выкладкой ее в бутовые и закладочные массивы обеспечит полноту выемки запасов угля, снизит объемы проходческих работ по воспроизводству фронта очистной выемки, снизит опасность проявлений горного давления в очистном забое и на его сопряжениях. Достигаемая при этом экономия – за счет снижения затрат на выдачу породы, уменьшения зольности добываемого угля и улучшения

состояния очистных и подготовительных выработок – позволит повысить эффективность выемки сложных по структуре и малой мощности пластов.

В связи с этим рассмотрим технологические схемы с оптимальными параметрами, обеспечивающими высокую степень концентрации и интенсификации горных работ при выемке маломощных и сложноструктурных пластов с размещением породы в охранные массивы подготовительных выработок и выработанном пространстве очистных забоев для управления горным давлением.

На рис. 2 представлена схема классификации запасов угля в технологии выемки маломощных сложноструктурных пластов. Установлено, что при комплексном учете факторов (подземного и поверхностного транспорта, отвалообразования, экологического ущерба и др.) размещение в шахте породы, получаемой от проходки, селективной выемки и других источников, выгоднее на 20-30 %, чем выдача ее на поверхность.

В статье [9] рассмотрены технологические схемы очистных работ, адаптированные к условиям высокопроизводительной разработки маломощных и сложноструктурных пластов (рис. 3), сгруппированные по следующим отличительным признакам: с предварительным проведением и охраной парных выемочных выработок бутовыми полосами (А, И) или целиками угля (Б), с одиночными выработками (В), без предварительной их проходки с опережением (Д) или отставанием (Г) от фронта очистных работ с комбинированной отработкой выемочных столбов (Е), с короткими лавами (Ж) в том числе с тупиковыми забоями (З); с газовыработками (К) и с сооружением выработок (Л) в выработанном пространстве. Приведенные технологические решения являются прогрессивными способами отработки угольных пластов по принципу «шахта – лава».

Определенный интерес представляет технология подземной гидравлической добычи угля, в сочетании с обогатительными переделами она может быть использована для разделения углей, (рис. 4) которую применяют в конкретных горно-геологических условиях. Причем технологические схемы гидрошахт в принципе различаются незначительно (рис. 4). Предложенная технология была апробирована при разработке угольных пластов на шахте «Липовецкая» Приморский край.

Анализ представленных технологических схем разработки угольных месторождений показал, что выемка углей сопряжена с присечкой значительной части породы. Это приводит к значительному их разубоживанию.

Рассмотренные технологические схемы требуют доработки в плане введения в технологические схемы процессов предварительного обогащения углей в сочетании с размещением или закладкой выделенных пород в погашаемые выработки.

### Список литературы

1. Угольная промышленность Российской Федерации / Минтопэнерго Р.Ф. ЦНИЭИуголь.- М.- 1992. - Т.1. - 146 с.
2. Роут Г.Н. Обоснование параметров крепления поддержания выработок при отработке угольных пологих пластов короткими очистными забоями. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тула, 1999. - 19с.
3. Вавилов Л.Н. Обоснование актуальности расширения и воспроизводства Подмосковского угольного бассейна / Л.Н. Вавилов, Г.В. Стасть// Н. изв - я вузов. Горный журнал. – 2004. – № 6. – С.10 – 12.
4. Итоги работы угольной промышленности России за 2003 год/ Глюкауф. - 2004. - № 1.

Казаков В.А. Техничко-технологические проблемы разработки осложнено структурных месторождений полезных ископаемых открытым способом / В.А. Казаков, А.Я. Савченко// Научно-аналитический производственный журнал «Горные машины и автоматика». - 2005. - № 3. - С. 3-7.

5. Корнилков В.Н. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Подземная разработка пластовых месторождений. Учебник для вузов: г. Екатеринбург. Изд-во УГГУ, 2005. - 494 с.

6. Жаров А.И. Закономерности геомеханических процессов при бесцеликовых технологических схемах: Учеб. пособие для вузов/ М. - 1995. – 42 с.

7. Алексеев В.П. Промышленные типы угольных месторождений: Учеб. пособие для вузов. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1994.- 4.1.- 80с.

8. Нифонтова Т.И. Избирательное разрушение отвальных масс в отвалах угледобывающих предприятий Севера/ Т.И. Нифонтова, Ю.А. Нифонтов // Информационно аналитический бюллетень. М.: МГУ. - №8. - 1999г.- С.71-72.

9. Демин В.Ф. К вопросу об охране повторно используемых выработок породами полосами// Тр. университета. - Караганда: КарГТУ, 2004. - Вып. 4. С.-43 - 46.

10. Потапов В.В. Технология управления качеством углей в подземных условиях с применением закладочных работ. //Материалы международной научно-технической конференции: «Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья».- Екатеринбург: изд. АМБ, 2004. - С. 252 - 256.

УДК 622.268.6

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ БУРОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ СРЕДНЕЙ АЗИИ

ВАНДЫШЕВ А. М., ТЮЛЬКИН В. П.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье приводятся рекомендуемые технологические схемы отработки мощных пластов пологого и наклонного падения на больших глубинах бурогольных месторождений Средней Азии, разрывы во времени между отработкой смежных слоёв и выемочных столбов при выемке верхнего и нижних слоёв, предложены номограммы для определения оптимального расстояния между промежуточными квершлагами (гезенками) и области целесообразного расположения полевых штреков в породах почвы в зависимости от длины очистного забоя и угла падения мощного пласта.

**Ключевые слова:** мощные угольные пласты, технологические схемы, горные работы на больших глубинах.

## TECHNOLOGICAL CHARTS OF WORKING OF POWERFUL LIGNITE LAYERS OF MIDDLE ASIA

VANDYSHEV A. M., TYUL'KIN V. P.  
Ural State Mining University

**Abstract.** In the article led recommendable technological charts of working off the powerful layers of the declivous and sloping falling on the on large depths of lignite deposits of Middle Asia, breaks in time between working off contiguous layers and hollow posts at a coulisse overhead and

lower, nomograms offer for determination of optimal distance between intermediate crossheadings (winzes) and area of expedient location of field drifts in the breeds of soil depending on stope and angle of incidence of powerful layer length.

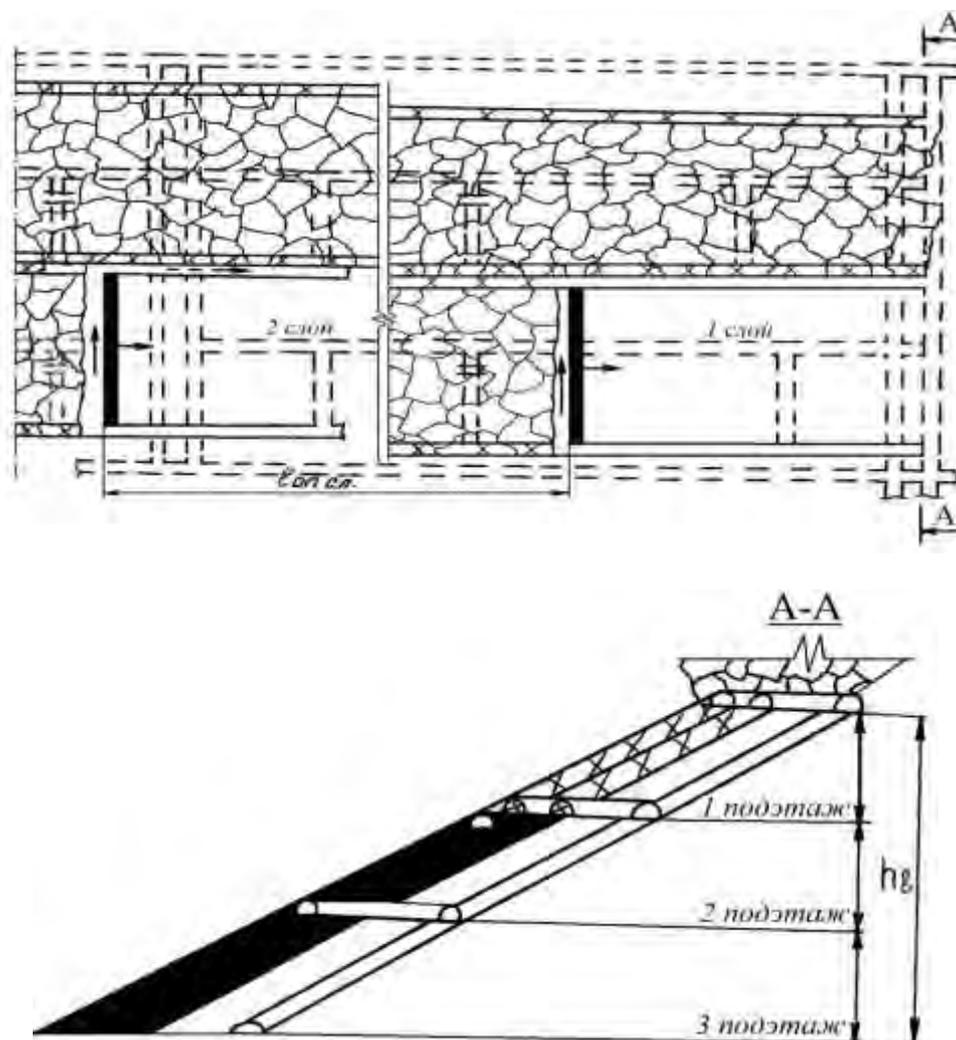
**Keywords:** powerful coal beds, technological charts, mountain works on large depths.

Многообразие горно-геологических и горнотехнических условий разработки мощных бурогольных пластов Средней Азии на больших глубинах обуславливает многообразие технологических схем их отработки.

На больших глубинах (свыше 400 м) следует применять бесцеликовые технологические схемы [1, 2].

Разработка мощных пластов на шахтах Среднеазиатского региона должна осуществляться системами разработки наклонными слоями в нисходящем порядке с отработкой слоёв по схеме «слой-пласт» при проведении одной из слоевых выработок на границе с обрушенными породами.

Сложные горно-геологические условия разработки мощных пластов весьма склонного к самовозгоранию угля и требования правил безопасности определяют полевой способ подготовки пластов (рис. 1–3).

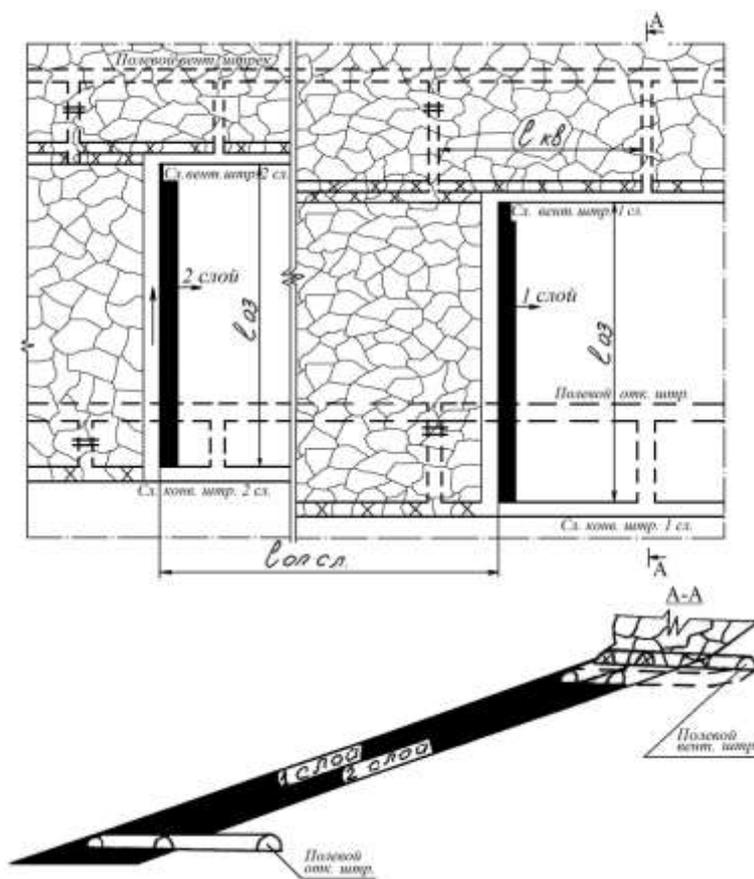


**Рис. 1. Полная полевая подготовка мощного пласта при отработке его наклонными слоями без оставления межстолбовых целиков угля**

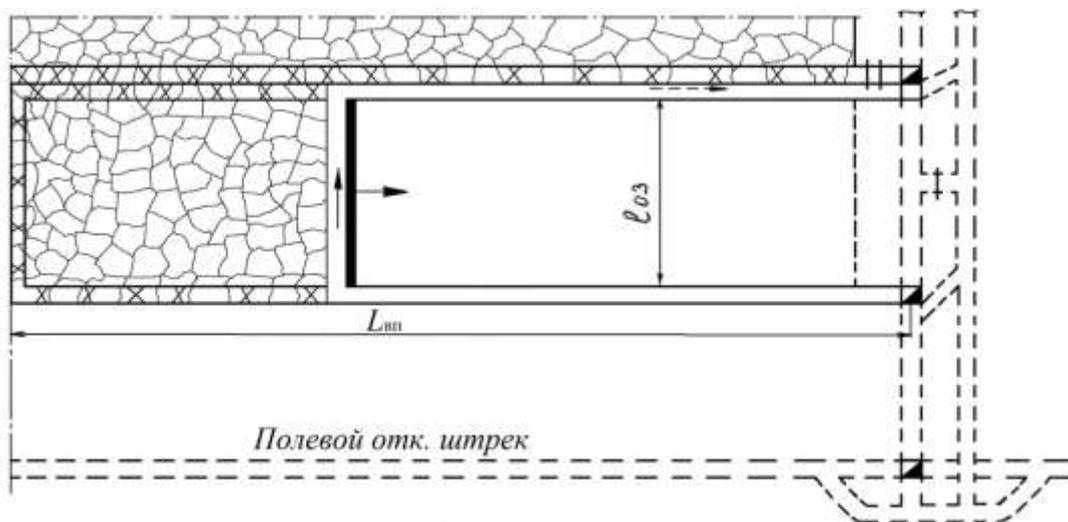
Наиболее перспективной является технологическая схема с полной полевой подготовкой и проведением слоевых штреков вприсечку к выработанному пространству впереди очистного забоя отдельными участками до очередного промежуточного квершлага или гезенка (рис. 1). Такая схема позволяет иметь минимальную протяжённость поддерживаемых присечных выработок, обеспечить надёжную изоляцию выработанных пространств отработанных участков и достаточно просто регулировать разрыв во времени между отработкой смежных столбов и слоёв. Частным случаем такой технологической схемы является полевая подготовка пластов при системе разработки слоёв «лава-этаж» (см. рис. 2).

При отсутствии полной полевой подготовки с проведением полевых участковых (панельных) бремсбергов, но без проведения полевых промежуточных (ярусных) штреков подготовка очередного столба должна обеспечиваться проведением слоевых штреков сразу на всю длину выемочного поля (см. рис. 3).

Необходимый разрыв между обрушением пород в смежном выемочном поле (слое) и проведением выработок на границе с ними обуславливается периодами стабилизации активных сдвижений пород и температуры в выработанном пространстве, а также временем слёживания обрушенных пород. Количественные значения основных факторов, влияющих на выбор опережения между слоями и выемочными столбами, а также рекомендуемые при этом разрывы во времени приведены в табл. 1.



**Рис. 2. Отработка мощного пласта наклонными слоями без оставления междуэтажных целиков угля (отработка слоёв системой «лава-этаж»)**

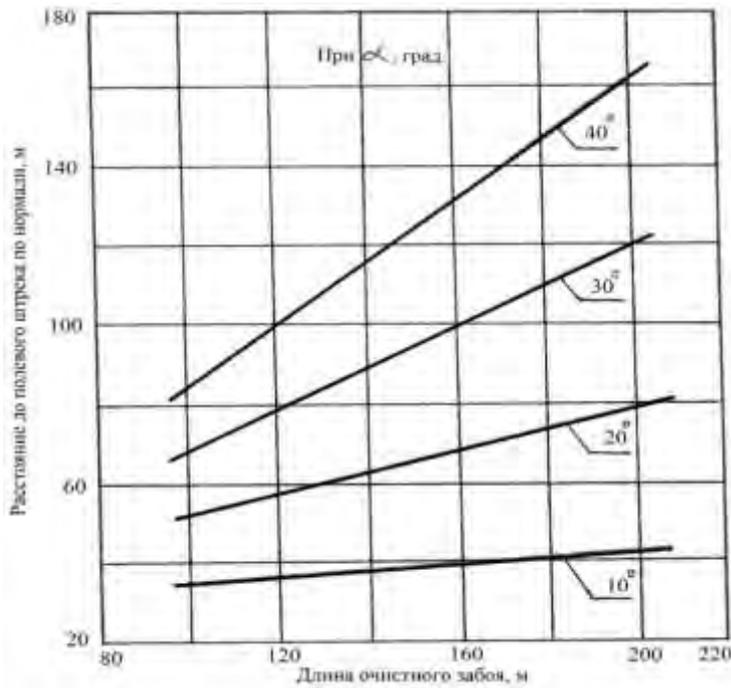


**Рис. 3. Отработка пласта длинными столбами по простиранию без оставления межстолбовых целиков угля**

При бесцеликовой технологии отработки мощных пластов для предотвращения возникновения эндогенных пожаров (из-за возможных потерь угля от оставленных межслоевых пачек и целиков угля у геологических нарушений) должны быть разработаны профилактические мероприятия в соответствии с бассейновыми инструкциями по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на шахтах Среднеазиатского региона.

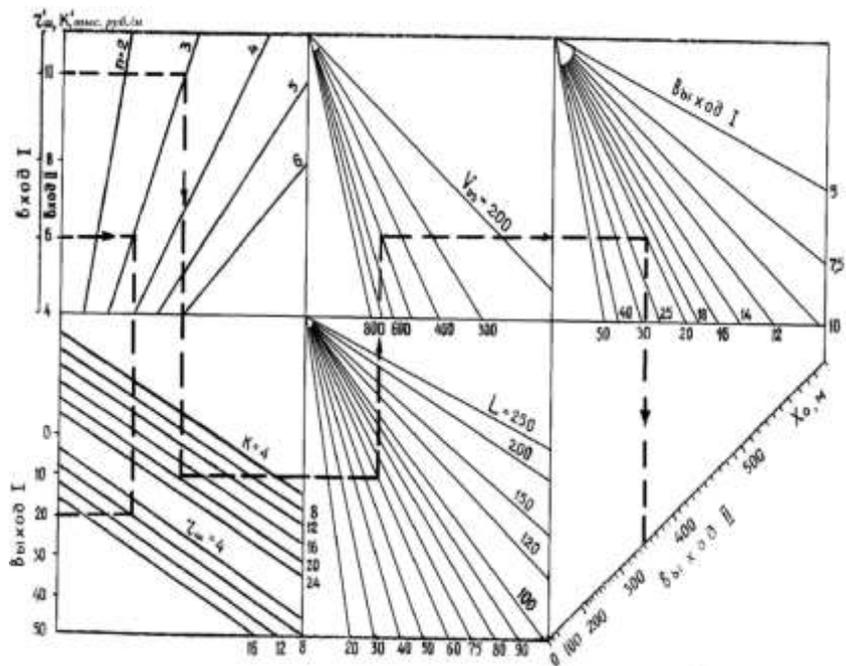
**Таблица 1 – Основные факторы, влияющие на выбор опережения между слоями и выемочными столбами и рекомендуемые разрывы во времени при отработке мощных пластов на больших глубинах**

| Показатели  | Численные значения показателей |
|---|--------------------------------|
| Время стабилизации активных сдвижений пород, мес.:<br>при выемке верхнего слоя<br>при выемке нижних слоёв                                 | 2...3<br>1,5...2               |
| Время снижения и стабилизации температуры в выработанном пространстве, мес.:<br>при выемке верхнего слоя<br>при выемке нижних слоёв       | 5...6<br>6...7                 |
| Время слёживания обрушенных пород для обеспечения эффективной отработки нижних слоёв, мес.  | 5...7                          |
| Рекомендуемые разрывы во времени между отработкой смежных слоёв, мес.   | 6...7                          |
| Рекомендуемые разрывы во времени между отработкой смежных выемочных столбов, мес.:<br>при выемке верхнего слоя<br>при выемке нижних слоёв | 6<br>7                         |



**Рис. 4. Номограмма для определения области целесообразного расположения полевых штреков в породах палеозоя в зависимости от длины очистного забоя и угла падения мощного пласта**

квершлагами (гезенками) необходимо определять из условия минимальных суммарных затрат на проведение квершлагов (гезенков) и их восстановление при повторном использовании и на поддержание слоевых штреков. Для этого используется номограмма, представленная на рис. 5, где  $K$  и  $K'$  – соответственно стоимость проведения и восстановления промежуточных квершлагов (гезенков) тыс. руб./м;  $r_{ш}$ ,  $r_{ш}'$  – соответственно годовая стоимость поддержания слоевых штреков по первому и нижним слоям, тыс. руб./м;  $L$  – длина



**Рис. 5. Номограмма для определения оптимального расстояния между промежуточными квершлагами (гезенками)**

Полевые штреки следует располагать преимущественно в устойчивых породах палеозойских отложений [2, 3]. При значительной мощности слабых пород почвы пласта экономическая целесообразность расположения полевых штреков в породах палеозоя определяется по номограмме (рис. 4). Если мощность слабых горных пород почвы окажется больше экономически целесообразного удаления полевого штрека от пласта по нормали, то его следует располагать в слабых породах на расстоянии не менее 25 м от почвы пласта по нормали.

Оптимальные расстояния между промежуточными

квершлага (гезенка), м;  $V_{оз}$  – скорость подвигания очистного забоя, м/год;  $n$  – число вынимаемых слоёв;  $X_0$  – оптимальное расстояние между промежуточными квершлагами (гезенками), м.

**Пример.** Определить оптимальное расстояние между промежуточными квершлагами при следующих значениях заданных величин: стоимость поддержания 1 м слоевых штреков в год по нижним слоям  $r' = 6$  тыс. руб.; стоимость поддержания 1 м слоевых штреков в год по верхнему слою  $r_{ш} = 8$  тыс. руб.; стоимость проведения 1 м квершлага  $K = 20$  тыс. руб.; стоимость восстановления 1 м квершлага  $K^* = 10$  тыс. руб.; длина квершлага  $L = 60$  м; скорость подвигания очистного забоя в год  $V_{оз} = 500$  м; число обрабатываемых слоёв  $n = 3$ .

По стоимости поддержания слоевых штреков и количеству вынимаемых слоёв определяем промежуточный результат в номограмме (линия I, выход I = 20), который будет использоваться в дальнейшем. На входе II вводим данные по стоимости восстановления квершлага  $K^* = 10$  тыс. руб. и проводим линию до пересечения с линией соответствующих значений в следующем порядке:  $n = 3$ ;  $K = 20$ ;  $L = 60$ ;  $V_{оз} = 500$ ; выход I = 20 и с точки пересечения линий с выходом I опускаем вертикальную линию на выход II и получаем результат равный 346 м.

Внедрение на больших глубинах предложенных технологических схем отработки мощных буроугольных пластов весьма склонного к самовозгоранию угля позволит обеспечить необходимые безопасные условия ведения горных работ, существенно снизить затраты на профилактику и тушение эндогенных пожаров, эксплуатационные потери угля и повысить технико-экономические показатели работы очистных забоев.

#### Список литературы

1. Бесцеликовая отработка мощных пологих и наклонных пластов / В. Н. Корнилков, А. М. Вандышев, В. В. Таскаев и др. М.: Недра, 1978. 171 с.
2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Л.: ВНИМИ, 1981. 222 с.
3. Вандышев А. М., Тюлькин В. П. Обоснование места расположения полевых штреков при слоевой отработке мощных пластов. Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. Сб. материалов IV Международной научно-технической конференции. Екатеринбург, 2015.

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ

ВАНДЫШЕВ А. М., ТЮЛЬКИН В. П., КОКАРЕВ К. В.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье приводится анализ влияния основных горно-геологических факторов на параметры технологических схем разработки мощных пологих угольных пластов. Изложены рекомендации по выбору и определению конструктивных параметров технологических схем, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности горных работ в специфических условиях бурогольных месторождений Средней Азии.

**Ключевые слова:** параметры технологических схем, мощные угольные пласты, неустойчивые породы, повышение устойчивости горных пород.

## GROUND OF STRUCTURAL PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL CHARTS OF DEVELOPMENT OF POWERFUL DECLIVOUS LAYERS

VANDYSHEV A. M., TYUL'KIN V. P., KOKAREV K. V.  
Ural State Mining University

**Abstract.** To the article the analysis of influence of basic mining-and-geological factors is driven on the parameters of technological charts of development of powerful declivous coal beds. Recommendations are expounded on a choice and determination of structural parameters of technological charts, providing the increase of safety and efficiency of mountain works in the specific terms of lignite deposits of Middle Asia.

**Keywords:** parameters of technological charts, powerful coal beds, unsteady breeds, increase of stability of mountain breeds.

Горно-геологические условия угольных месторождений Средней Азии отличаются большим разнообразием и сложностью их разработки (слабые породы, вмещающие угольные пласты, значительная тектоническая нарушенность угольных месторождений и изменчивость элементов залегания пластов, высокая склонность углей к самовозгоранию и др.). В связи с этим не представляется в полной мере возможным использовать имеющиеся рекомендации по широкому кругу горных вопросов (технологические схемы отработки пластов, их конструктивные элементы и параметры, управление неустойчивыми кровлями, охрана подготовительных горных выработок и др.), разработанных для других бассейнов. Системный анализ горно-геологических условий разработки мощных пологих угольных пластов на шахтах Среднеазиатского региона, результатов экспериментов и натурных исследований позволили определить перспективные технологические решения их отработки.

Мощность пласта, угол падения и глубина разработки являются основными факторами, определяющими параметры пространственно-геометрические закономерности развития геомеханических процессов при разработке мощных пластов. С увеличением мощности вынимаемого слоя и глубины разработки возрастает зона активного сдвижения пород, увеличиваются параметры проявлений опорного горного давления и нагрузки на крепь.

При выемке верхнего слоя протяжённость зоны временного опорного давления находится в пределах 50...80 м впереди очистного забоя и 60...120 м позади его. Максимальная величина опорного горного давления наблюдается на расстоянии 5...15 м от кромки угольного массива. При этом максимальный коэффициент концентрации напряжений колеблется в пределах 1,5...2,5. Ширина зоны пониженных напряжений изменяется в пределах от 2 до 5 м [1]. При обработке нижних слоёв мощных пластов эти параметры в 1,3...1,5 раза меньше.

Угол падения пласта оказывает существенное влияние на смещения пород в выработках и характер формирования зоны сдвижения пород при очистной выемке угля. С увеличением угла падения нагрузка на крепь распределяется неравномерно и наблюдается асимметричность зоны сдвижения пород. Этим предопределяется потеря устойчивости краевых зон угольного пласта и кровли, сползание и опрокидывание крепи.

При применении механизированных комплексов длина очистного забоя, как правило, определяется паспортной длиной механизированной крепи в поставке и составляет 120...200 м.

При применении комбайновой выемки угля в комплексе с индивидуальной гидравлической крепью длину лавы при угле падения до 18°. Рекомендуется принимать 120...140 м, а при угле падения свыше 18° – 100...120 м.

Нарушенность горного массива вызывает аномальные проявления горного давления, оказывает значительные трудности в технологии обработки пластов, особенно с применением механизированных комплексов, где возникает проблема перехода геологических нарушений и удержания призабойного пространства от массового обрушения пород. Интенсивность нарушения пласта предопределяет размеры выемочных блоков по простиранию (падению) пласта и целесообразности применения механизированных комплексов. При расстоянии между разрывными нарушениями более 500 м экономически целесообразно обработку блоков производить с применением механизированных крепей; при расстояниях менее 500 м обработку блоков рациональнее производить узкозахватными комбайнами в комплексе с индивидуальной гидравлической крепью.

Пласты рассматриваемых месторождений характеризуются наличием слабых неустойчивых пород непосредственной кровли и почвы, которые в процессе эксплуатации подвергаются интенсивным деформациям, что обуславливает наличие большого количества вывалообразований в призабойном пространстве и опрокидывание секций крепи, вдавливание стоек и секций крепи в почву пласта. Согласно «Временным указаниям ...» [2] кровли пластов относятся к трудноуправляемым.

Выемка верхнего слоя по условиям удароопасности должна производиться на мощность не более 2...2,5 м, а выемка нижних слоёв – на максимально возможную мощность в зависимости от применяемой технологии и вида крепи.

Целесообразность оставления межслоевых предохранительных пачек угля при выемке верхнего и последующих слоёв обуславливается устойчивостью кровель.

Устойчивость кровли верхнего слоя оценивается коэффициентом устойчивости  $\mu$ , который вычисляется по формуле [3]

$$\mu = K \cdot h_{\text{ср}} \cdot \sigma_{\text{сж}}, \quad (1)$$

где  $K$  – эмпирический коэффициент,  $1/(m \cdot \text{МПа})$ ;

$h_{\text{ср}}$  – средняя мощность слоёв в пределах одной литологической разности, м;  
 $\sigma_{\text{сж}}$  – средневзвешенный предел прочности породы слоёв при одноосном сжатии, МПа.

Коэффициент устойчивости пород кровли для рассматриваемых месторождений находится в пределах от 4 до 12, а на отдельных участках менее 4.

Повышение устойчивости кровли в рабочем пространстве лав рекомендуется производить одним или комбинацией способов, приведенных на рисунке.



**Рекомендуемые мероприятия по повышению устойчивости кровли:** 1 – защитная пачка угля; 2 – опережающее химическое анкерование; 3 – нагнетание вяжущих составов; 4 – частичная затяжка кровли; 5 – сплошная затяжка кровли

Повышение устойчивости пород непосредственной кровли при выемке верхнего слоя мощного пласта можно осуществлять способом физико-химического упрочнения, который определяется объёмом упрочняемых пород, геологическими и гидрогеологическими условиями, характеризующими тот или иной участок шахтного поля.

Мощность упрочняемого слоя  $h$  (м) определяется по формуле

$$H = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{0,6 \cdot R \cdot G \cdot H_{\text{нк}} \cdot L}{\sigma_{\text{сж}}}}, \quad (2)$$

где  $B$  – ширина упрочняемой полосы пород, м;

$R$  – радиус распространения упрочняющего состава, м; принимается равным 1,5...2,5 м;

$g$  – объёмная масса пород, т/м<sup>3</sup>;

$h_{\text{нк}}$  – мощность неустойчивой непосредственной кровли, м;

$L$  – пролёт обрушения, м;

$\sigma_{\text{сж}}$  – предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа.

Нагнетание растворов в массив производится через шпуры, пробуренные из призабойного пространства перпендикулярно линии очистного забоя. Длина шпуров  $L_{ш}$  (м) принимается равной 3...5 м и определяется из выражения

$$L_{ш} = L_c \cdot n - R + 0,5, \quad (3)$$

где  $L_c$  – суточное подвигание линии очистного забоя, м;  
 $n$  – количество суток, на время которых подготавливается фронт работы;  
 $R$  – радиус распространения укрепляющего состава вглубь массива, м;  
 0,5 – превышение величины подвигания очистного забоя, м.

Параметры нагнетания определяются расчётным путём с обязательным последующим уточнением по фактическим результатам испытаний в шахтных условиях, т. к. они зависят от свойств применяемого укрепляющего состава, физико-механической характеристики массива и других показателей.

Количество раствора, необходимого для укрепления породы  $Q$  (м<sup>3</sup>), определяется из выражения

$$Q = V(n - W)m, \quad (4)$$

где  $V$  – объём укрепляемой породы, м<sup>3</sup>;  
 $n$  – пористость породы, %;  
 $W$  – влажность пород, %;  
 $m$  – коэффициент заполнения пор раствором; (принимается равным 0,5).

Параметры химического анкерования при упрочнении неустойчивых пород в лавах определяются для шахт региона опытным путём.

Рациональная длина анкерных стержней из геометрии рабочего пространства составляет 1,8...2,0 м. Породы кровли в местах опасных по вывалам упрочняются за каждым циклом металлическими анкерами. Шаг установки анкеров в зависимости от характера нарушения массива составляет 0,7...1,3 м. В местах отжима угля забой упрочняется деревянными анкерами, устанавливаемыми перпендикулярно к плоскости отслоения в один или два ряда в зависимости от характера отслоения. Шаг установки анкеров в этом случае принимается равным 0,5...1,0 м.

Независимо от типа применяемых ампул (стеклянные, полиэтиленовые и т. д.) при заполнении ими шпуров должно быть строго соблюдено соотношение вяжущего и затвердителя [3].

При выемке верхнего слоя с залеганием в непосредственной кровле сухих тонкослоистых пород, обводнённых песчаников (пльвунов) или наличии капежа из пород кровли повышение устойчивости кровли рекомендуется оставлять предохранительную угольную пачку, мощность которой, как правило, составляет 0,4...0,6 м.

Для образования устойчивой кровли из обрушенных пород в отработанное пространство необходимо подавать глинистую пульпу или вяжущие растворы. Оптимальный расход глинистой пульпы консистенции Т : Ж = 1 : 3 составляет 0,04...0,06 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> обрабатываемой площади.

Площадь устойчивых обнажений пород  $S$  (м<sup>2</sup>) определяется по формуле [4]

$$S = 4,349 W^{0,007} V^{0,118} T^{0,257} Q^{0,202}, \quad (5)$$

где  $W$  – влажность пород, %;  
 $V$  – скорость подвигания очистного забоя, м/мес.;

$T$  – разрыв во времени между отработки смежных слоёв, м;

$Q$  – объём глинистой пульпы, поданной в обрушенное пространство, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

Изложенные в статье рекомендации по выбору и определению конструктивных параметров технологических схем широко внедрены на шахтах угольных Среднеазиатского региона, их также можно использовать при разработке мощных угольных пластов других месторождений с аналогичными горно-геологическими условиями.

### Список литературы

1. Бесцеликовая отработка мощных пологих и наклонных пластов / В. Н. Корнилков, А. М. Вандышев, В. В. Таскаев и др. М.: Недра, 1978. 171 с.

2. Временные указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до 35°. Л.: ВНИМИ, 1982. 136 с.

3. Временная инструкция по укреплению горных пород химическими растворами. М. ИГД им. А. А. Скочинского, 1974, 33 с.

4. Афанасьев Е.П., Сологуб В. П., Чернов И. Е. Лабораторные исследования увлажнения обрушенных пород // Известия ВУЗов. Горный журнал, 1976, № 8.

УДК 622.632

## РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АРОЧНЫХ КРЕПЕЙ С УПРАВЛЯЮЩИМИ СИЛОВЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

КОРНИЛКОВ М. В., ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье приводится анализ в условиях, когда применение крепей из специальных профилей в качестве самостоятельных конструкций экономически нецелесообразно или необходимо значительно уменьшить расход металла для возведения крепи.

**Ключевые слова:** специальный профиль, конструкция, крепь, анкер, технология.

## DEVELOPMENT OF RATIONAL STRUCTURES OF AROMAL FORMS WITH CONTROLLING POWER-BASED INFLUENCE

KORNILKOV M. V., POTAPOV V. Ya., POTAPOV V. V.  
Ural State Mining University

**Abstract.** The article gives an analysis in conditions when the use of special profile frames as independent structures is economically impractical or it is necessary to significantly reduce the consumption of metal for the erection of the support.

**Keywords:** special profile, framework, lining, anchor, technology.

В условиях, когда применение крепей из специальных профилей в качестве самостоятельных конструкций экономически нецелесообразно или необходимо значительно уменьшить расход металла для возведения крепи, во многих случаях применяют комбинированные крепи. К комбинированным относятся конструкции, сочетающие в себе два или более видов крепи, каждый из которых может применяться как самостоя-

тельный вид. Одним из основных видов комбинированной крепи является сочетание металлической рамной крепи с анкерной крепью (рамно-анкерная крепь). При установке рамной крепи в комбинации с анкерами возможны две схемы их взаимодействия: 1 - анкерная крепь не связана с рамной крепью; 2 - анкерная крепь связана с рамной крепью в единую систему посредством механических связей.

Комбинированные крепи, установленные по первой схеме, обеспечивают улучшение условий поддержания выработок за счет упрочнения приконтурного массива горных пород [1]. Известны многочисленные примеры удачного применения арочной крепи в сочетании с анкерной, возводимой по первой схеме их взаимодействия [3-4 и др.]. В работе [5] приведены сведения о применении рамной крепи и податливых анкеров устанавливаемых в промежутке между рамами крепи, что является необходимым в породах со значительными смещениями контура.

В комбинированных крепях, в которых анкера соединены с рамами механическими связями, улучшение условий поддержания происходит как за счет упрочнения приконтурного массива пород, так и за счет увеличения несущей способности рамы, усиленной анкерами (управляющее силовое воздействие). Причем основным достоинством крепей такого типа является вовлечение рамной крепи и анкеров в совместную работу, за счет чего происходит перераспределение внутренних усилий в несущей конструкции (раме).

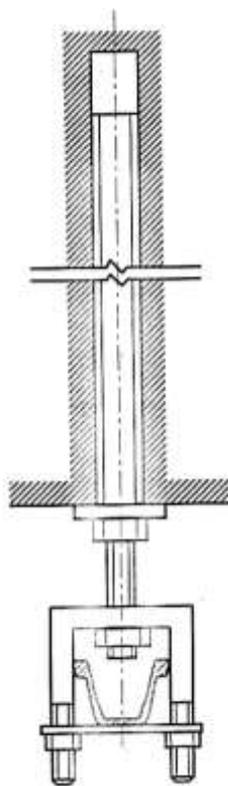


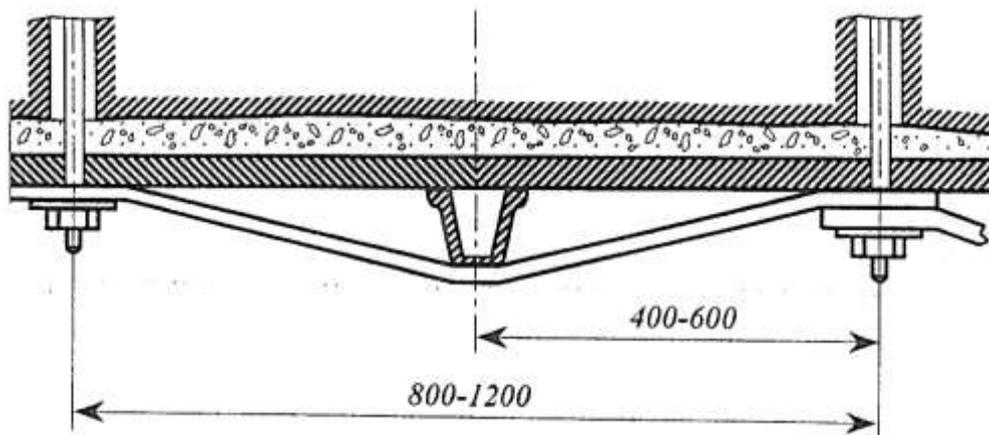
Рис. 1. Соединительный узел рамно-анкерной крепи конструкции КарПИ

Одним из первых опытов применения комбинированной крепи, включающей в себя рамную и анкерную крепи с механической связью между ними, является конструкция, в которой для соединения рамы и анкера в верхняке крепи сверлились отверстия, в которые заводились концы анкеров и затягивались гайками [1]. Распространения данная конструкция крепи не получила из-за значительного ослабления верхняка отверстиями.

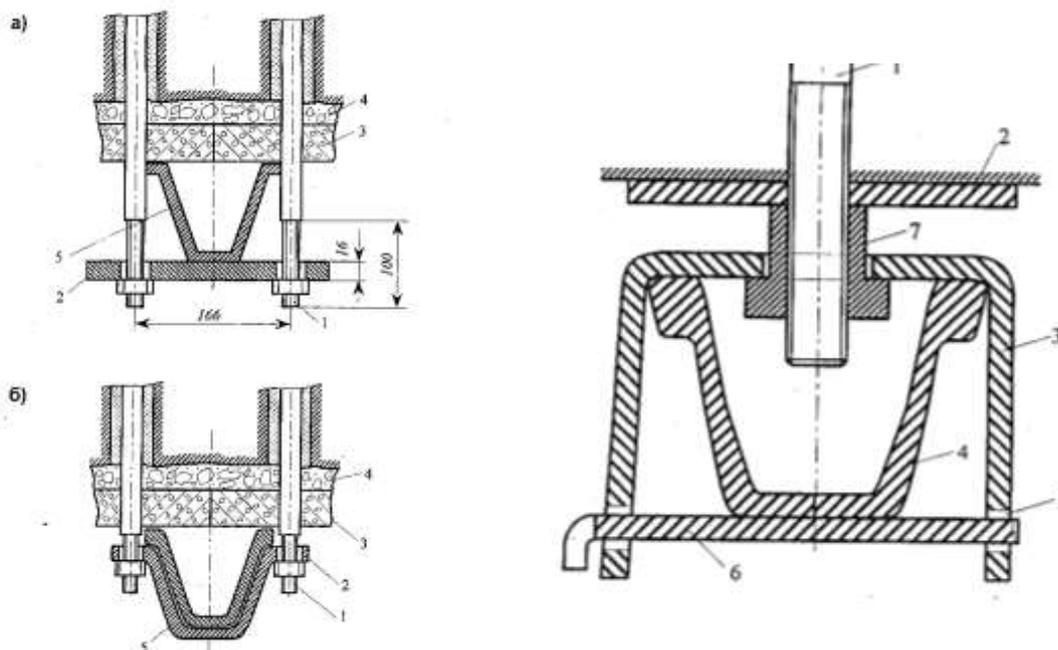
На шахтах “Карагандинская” и “Стахановская” применялась комбинированная крепь из трехзвенной арочной крепи и металлических анкеров распорного типа, которые соединялись в раме посредством специальных хомутов-связок (рамно-анкерная крепь конструкции КарПИ) [1]. Усиление арочной крепи анкерами позволило значительно увеличить несущую способность крепи. Путем изменения количества анкеров и углов их установки можно получить различную степень повышения несущей способности крепи. Так, при установке четырех анкеров несущая способность рамы увеличивается в 2,5-3,5 раза, при установке двух анкеров - в 1,75-2,25 раза [1]. В то же время рассматриваемая конструкция крепи имеет ряд недостатков. В частности, данную крепь можно устанавливать в строго определенной последовательности: сначала анкерную крепь с хомутами-связками, затем рамную крепь, после чего соединять их в единую грузонесущую систему (рис. 1).

Данная технология возведения крепи в значительной степени снижает безопасность производства работ по возведению крепи при проведении вырабо-

ток в неустойчивых породах. Кроме того, такая конструкция практически исключает вариант усиления рамной крепи на участках, удаленных от забоя выработки.



**Рис. 2. Соединительный узел анкер-металлической крепи АМК конструкции института КузНИИшахтострой**



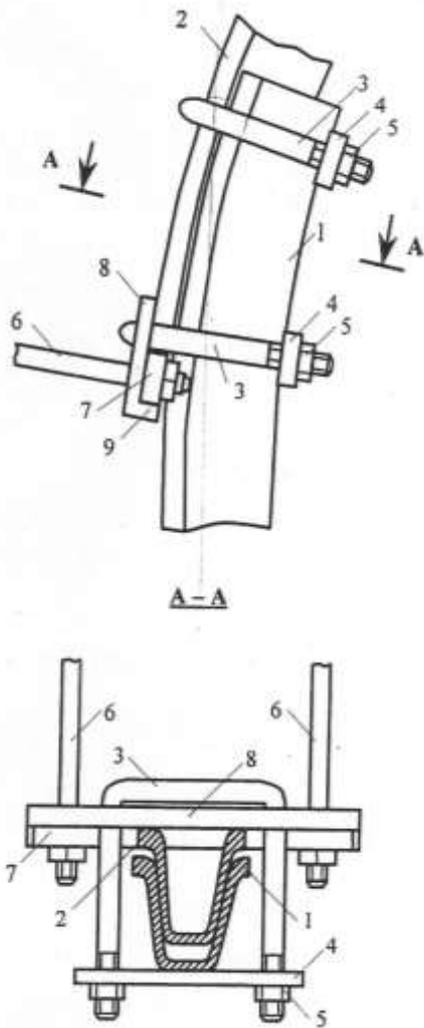
**Рис. 3. Соединительный узел рамно-анкерной крепи:**

1- резьбовой конец анкера; 2 - соединительная планка (прямая или фасонная); 3- железобетонная за-тяжка; 4 - забутовка; 6 - рама из спецпрофиля

**Рис. 4. Соединительный узел рамно-анкерной крепи (а.с. 622982):**

1- анкер; 2 - опорная плитка; 3 - скоба; 4 - рама из спецпрофиля; 5 - прорезь; 6 - клин; 7 - втулка

Институтом КузНИИшахтострой разработана и внедрена в производство комбинированная анкерметаллическая крепь АМК, состоящая из рам металлической арочной



**Рис. 6. Соединительный узел рамно-анкерной крепи (а.с. 1208255):**

- 1 - двойной анкер; 2- верхняк;
- 3 - скоба; 4 - планка; 5- гайка;
- 6 - анкер; 7- анкерные шайбы;
- 8 - дополнительная планка с четырьмя отверстиями; 9 - ребро планки

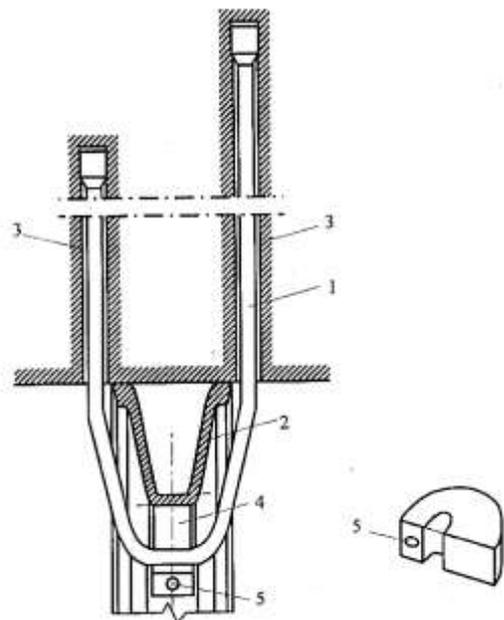
стью дифференцированной (выборочной) установки усиливающих анкеров на отдельных рамах крепи.

Имеются и другие варианты соединения рамы металлической крепи с анкерами. Наиболее интересные из них, с нашей точки зрения, приведены на рис. 4 [1], рис. 5 [7], рис. 6 [10]. Однако большинство предлагаемых конструкций

крепи, в промежутке между которыми устанавливаются металлические анкеры распорного типа или железобетонные анкеры. С помощью специальных межрамных стяжек или подхватов анкеры и рамная крепь соединяются в единую грузонесущую систему [1]. Анкеры комбинированной крепи в данной конструкции устанавливаются в середине пролета между крепежными рамами. В качестве недостатка крепи АМК, в которой анкеры соединяются с рамой крепи с помощью металлических подхватов (рис. 2), можно отметить недостаточную жесткость соединительного узла, в связи с чем в ряде случаев не достигается взаимодействия между рамой и анкерами.

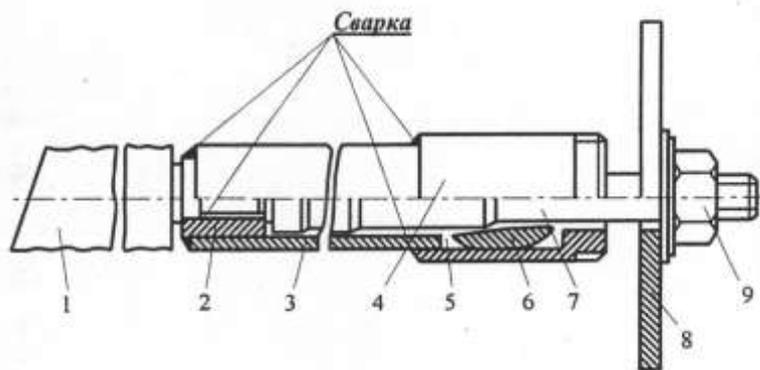
Достаточно простая и технологичная в установке конструкция соединительного узла рамно-анкерной крепи, состоящая из двух анкеров, устанавливаемых с обеих сторон рамы из СВП и соединяемых между собой прямой или фасонной накладкой, применялась автором диссертации [6] и другими исследователями [1] (рис. 3).

Преимуществом данной конструкции является простота, надежность и достаточная жесткость по сравнению с узлом крепи АМК. Недостаток соединительного узла - необходимость установки двух анкеров на точку закрепления - компенсируется дополнительным упрочнением массива пород и возможно-



**Рис. 5. Соединительный узел рамно-анкерной крепи (а.с. 581294):**

- 1- двойной анкер; 2 - верхняк из спецпрофиля; 3 - шпур; 4 - эксцентриковый кулачок; 5 - отверстие



**Рис. 7. Конструкция податливого анкера:**

1 - рельефный хвостовик; 2 - втулка; 3 - стакан; 4 - корпус; 5 - цилиндрическая полость; 6 - фильера; 7 - стержень; 8 - опорная плита; 9 - гайка

[8,9,11, 12 и др.] конструктивно сложны, нетехнологичны в установке или не позволяют достигнуть поставленной задачи направленного усиления рамной крепи.

Абсолютное большинство авто-ров при конструировании рамно-анкерных крепей рассматривает анкеры как связи, взаи-

модействующие в рамной крепи только в одном направлении - при деформировании рамы внутрь выработки. Однако при определенных горно-геологических и горнотехнических условиях в связи с непостоянством и случайным распределением нагрузок по периметру рама крепи при эксплуатации в одних и тех же сечениях может испытывать как положительные, так и отрицательные изгибающие моменты. Поэтому, учитывая имеющиеся зазоры между рамой крепи и породой, по мнению автора статьи [1] следует обеспечить возможность работы радиальных связей в обе стороны посредством соответствующей конструкции соединительного узла рамно-анкерной крепи, расклинки рамы в местах установки анкерных связей и заполнения пустот набрызгбетоном. О возможности применения анкерных связей, работающих как на растяжение, так и на сжатие говорится также в [1].

По нашему мнению, создание конструкций соединительных узлов рамно-анкерной крепи двухстороннего действия (т.е. работающих и на растяжение, и на сжатие) в большинстве случаев, особенно применительно к протяженным выработкам угольных шахт, нецелесообразно из-за повышенной сложности изготовления и возведения таких конструкций. В то же время нельзя оставить без внимания тот факт, что на начальной стадии работы крепи при неполном взаимодействии между породным массивом и рамой крепи (некачественное выполнение забутовки или полное ее отсутствие) по наблюдениям автора работы возможны случаи смещения массива и анкеров комбинированной крепи без деформирования рамы. Очевидно, что в таких случаях является целесообразным дополнительная расклинка рамы в местах установки анкеров, т.е. применение двухсторонних связей.

Все рассмотренные выше конструкции рамно-анкерных крепей, и, в частности, их соединительные узлы, являются жесткими, т.е. не допускают одновременного деформирования рам крепи, которые в абсолютном большинстве случаев являются податливыми, и соединенных с ними посредством механических связей анкеров. Для обеспечения эффективной совместной работы несущей рамы и анкеров необходимо применение или податливых анкеров [14,15 и др.], или податливых конструкций соединительных узлов с силовыми и деформационными характеристиками, соответствующими конкретной конструкции рамной податливой крепи.

Многочисленные конструкции податливых анкеров, представленные в патентной литературе, в настоящее время имеют ограниченное применение в практике креп-

ления и поддержания горных выработок из-за их конструктивной сложности и связанной с этим повышенной трудоемкости изготовления и установки. Один из вариантов рамно-анкерных крепей с податливыми анкерами применялся в подготовительных выработках на угольных шахтах Донбасса (рис. 7) [14,16].

Анкер представляет собой рельефный хвостовик 1, закрепляющийся в шпуре с помощью химических склеивающих материалов. На хвостовик накручивается втулка 2, жестко соединенная с торцом стакана 3 со стороны забоя шпура. К другой торцевой части стакана прикреплен корпус 4, в середине которого расположена цилиндрическая полость 5. Внутри полости свободно размещена фильера 6 с наружной поверхностью, выполненной в виде выпуклой фигуры вращения. Внутри стакана и корпуса находится стержень 7. Длина стакана должна соответствовать необходимой величине податливости крепи, а длина хвостовика - общей длине анкера без учета длины стакана и корпуса. Анкер работает следующим образом. По мере расслоения приконтурных слоев горных пород усиливается нагрузка на опорную плиту 8, которая через гайку 9 передается на стержень 7. Когда величина нагрузки на стержень превысит значение сопротивления его первой ступени в волочильном глазке фильеры, анкер начинает работать в податливом режиме. Авторами - разработчиками данной конструкции рекомендуется применять податливые анкеры при величине смещений контура выработки более 300 мм (в этих условиях наблюдались разрывы жестких анкеров), дается обоснование зон, в которых необходимо устанавливать жесткие и податливые анкеры. По их мнению, жесткие анкеры устанавливаются там, где зона разрушения больше длины анкера, в то время как замки податливых анкеров, работающих по методу подшивки, должны закрепляться в недеформированном массиве. Конструктивная податливость изготавливаемых анкеров составляла 480 мм при постоянной несущей способности 120-125 кН.

#### Список литературы

1. Корнилков М.В. Управление напряженно-деформированным состоянием рамных крепей: дис.... д-ра техн. наук. - Свердловск, 1999. - 253 с.
2. Крепь горных выработок глубоких рудников / Г.Г.Мирзаев, А.Г.Протосеня, Ю.Н.Огородников и др. - М.: Недра, 1984. - 252с.
3. Опыт применения податливых анкеров в сочетании с арочной крепью / К.Ф.Сапицкий, Н.Н.Касьян, А.П.Клюев и др. // Уголь Украины. - 1991. - №2. - С.5-6.
4. Разработать и внедрить способы поддержания пластовых выработок и участков квершлаггов при отработке глубоких горизонтов на шахтах имени Ленинского комсомола и 6/18: Отчет о НИР / Свердлов. горн. ин-т им.В.В.Вахрушева (СГИ); Руководитель А.М.Вандышев. - Свердловск, 1990. - 36 с.
5. Щукин А.С., Байкенжин М.А., Николаенко Н.Н. Экспериментальные исследования несущей способности комбинированной крепи // Изв.вузов. Горный журнал. 1985. - №4. - С.29-30.
6. Краев Ю.К., Корнилков М.В. Оперативный способ увеличения несущей способности крепи, взаимодействующей со слабыми горными породами // Строительство шахт, рудников и подземных сооружений: Межвуз. науч.-темат. сборник. - Свердловск, 1988. - С.39-43.
7. А.с. 581294 СССР МКИ<sup>2</sup> Е 21 D 21/00. Вальштейн Г.И., Асташин К.И., Аллилуев В.Н. Крепь горных выработок. - 2324078/22-03; Заявлено 09.02.76; Опубл. 25.11.77; Бюл.43.

8.. А.с.1149019 СССР, МКИ<sup>4</sup> Е 21 D 11/14. Симанович А.М., Кононенко В.К., Зиньковский С.В. Рамная крепь из спецпрофиля. - 3667397/ 22-03; Заявлено 29.11.83; Оpubл. 7.04.85; Бюл. №13.

9.. А.с.1158759 СССР, МКИ<sup>4</sup> Е 21 D 11/14. Комбинированная крепь горных выработок / В.Н.Рева, Л.К.Нейман, О.И.Мельников и др. - 3596767/ 22-03; Заявлено 26.07.83; Оpubл. 30.05.85; Бюл. №20.

10.. А.с.1208255 СССР МКИ<sup>4</sup> Е 21 D 11/14. Бессонов Ю.Н., Френкель А.А. Крепь подготовительных выработок. - 3772305/ 22-03; Заявлено 20.07.84; Оpubл. 30.01.86; Бюл. №4.

11. А.с. 1216356 СССР МКИ<sup>4</sup> Е 21 D 11/14. Симанович Г.А., Симанович А.М. Крепь сопряжения выемочных штреков. - 3683786/22-03; Заявлено 02.01.84; Оpubл. 07.03.86; Бюл.9.

12.. А.с. 1716148 СССР, МКИ<sup>5</sup> Е 21 D 11/14. Рамно-анкерная крепь / М.В.Корнилков, И.П.Зеленин, Ю.К.Краев и др. - №4658131/03. - Заявлено 2.03.89; Оpubл. 29.02.92; Бюл. №8.

13.. А.с. 912945. СССР, МКИ<sup>3</sup> Е 21D 11/14. Опорная рамно-анкерная крепь / М.П.Зборщик, А.Ф.Морозов. - № 2850684/22-03; Заявлено 13.12.79; Оpubл.15.03.82; Бюл. № 10.

14. Касьян Н.Н., Ключев А.П., Сивохин В.И. Системная установка анкерно-рамной крепи в подготовительных выработках // Изв.вузов Горный журнал. - 1991. - №3. - С.50-54.

15. Опыт применения податливых анкеров в сочетании с арочной крепью / К.Ф.Сапицкий, Н.Н.Касьян, А.П.Ключев и др. // Уголь Украины. - 1991. - №2. - С.5-6.

16. Patent 1072893 UK. Е 21 D 23/00. Wilhelm Kassic. Apparatus for Shoring up Mining Galleries. Publ. June 21, 1967.

**УДК 622.807.13**

## **УДАРНО-ВОЗДУШНЫЕ ВОЛНЫ ПРИ ВЗРЫВАХ СУЛЬФИДНОЙ ПЫЛИ**

ЕРМОЛАЕВ А. И.<sup>1</sup>, ТЕТЕРЕВ Н. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Рассмотрено образование ударно-воздушных волн (УВВ) в подземных выработках при ведении взрывных работ в колчеданных рудах.

Показано, что при детонации зарядов ВВ в горной выработке происходит формирование двух УВВ. Первая основная образуется от взрыва зарядов ВВ, вторая от взрыва сульфидной пыли. На основе нелинейной акустики определены параметры результирующей УВВ.

Рассмотрен пример возможного взрыва сульфидной пыли в тупиковом забое. Получено выражение для расчета перепада давления на фронте УВ с учетом взрыва пыли, что необходимо учитывать при определении границ опасных зон при взрывных работах.

**Ключевые слова:** горные выработки, взрыв сульфидной пыли, детонация заряда, ударно-воздушная волна.

## **SHOCK AIR WAVE WHEN THE EXPLOSIONS SULPHIDE DUST**

ERMOLAEV A. I., TETEREV N. A.

Ural State Mining University

**Abstract.** The formation of shock-air waves (UWV) in underground mines during blasting operations in pyrite ores is considered. The first substantive is formed from the explosion of the explosive charge, the second from the explosion of a sulphidic dust. The parameters of the resulting UWV are determined on the basis of nonlinear acoustics.

An expression for calculating the pressure drop at the front of the UW in view of the explosion of dust is obtained, which must be taken into account when determining the boundaries of hazardous areas during blasting.

**Keywords:** mountain development, sulphide dust explosions, detonation of the charge, shock-air wave.

Взрывы сульфидной пыли, имеющие место на рудниках, разрабатывающих пиритосодержащие колчеданные руды, существенно повышают опасность ведения горных работ, приводят к рудничным пожарам и гибели шахтеров [1].

Одним из главных поражающих факторов, сопутствующих взрывам пыли, являются ударно-воздушные волны. Взрыв сульфидной пыли, вызванный взрывными работами, представляет весьма сложный процесс. При этом происходят следующие явления: детонация зарядов взрывчатых веществ (ВВ), образование и воспламенение пылевоздушной среды, распространение пламени по аэровзвеси, формирование УВВ.

Анализ литературных источников [1] показал, что исследований УВВ, образующихся при взрывах сульфидной пыли, проводилось недостаточно. Отсутствие данных о параметрах УВВ не позволяет объективно оценить степень их опасности. Отсюда при определении границ опасных зон при производстве взрывных работ не учитывается возможный поражающий эффект от вторичных взрывов сульфидной пыли.

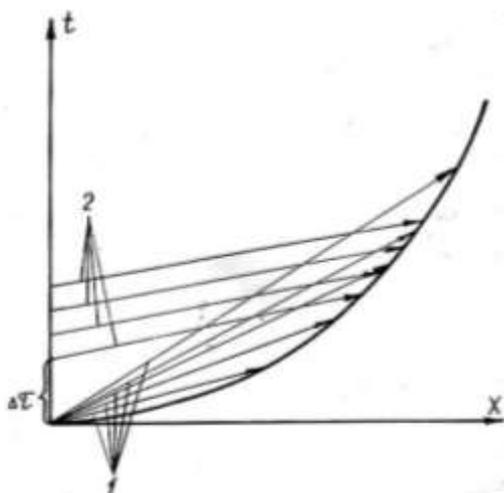
На основе анализа статистических материалов по взрывам сульфидной пыли на подземных рудниках, можно полагать, что процесс взрыва пыли протекает по следующей схеме.

При детонации заряда ВВ в горной выработке наряду с процессом разрушения массива происходит формирование основной УВВ (далее 1-я УВВ). Пыль, полученная при дроблении массива, и пыль, сметенная со стенок выработки, образуют пылевое облако взрывоопасной концентрации. В результате воспламенения пылевоздушной смеси высокотемпературными продуктами детонации возникает фронт горения.

Поршневое действие, оказываемое движущимся фронтом горения, создает 2-ю УВВ.

Взаимодействие 1-й и 2-й УВВ приводит к образованию результирующей УВВ, имеющей большие параметры, чем 1-я УВВ.

Определим параметры результирующей УВВ на основе соотношений нелинейной акустики. С этой целью воспользуемся результатами работ [2,3,4,5]. Рассмотрим одномерный случай, который типичен для распространения УВВ в горных выработках. Рудничную атмосферу считаем идеальным газом с постоянной адиабаты  $\gamma$ . Параметры первой УВВ обозначим индексом 1, второй УВВ – индексом 2. Процесс взаимодействия 1-й и 2-й УВВ представлен на  $(t, x)$  диа-



**Схема взаимодействия 1-й и 2-й УВВ:**  
1 –  $C_+$  - характеристики 1-й УВВ; 2–  $C_+$  - характеристики 2-й УВВ

грамме (рисунок). 2-я УВВ возникает через некоторое время  $\Delta t$  после 1-й УВВ. Полагаем, что  $\Delta t$  достаточно мало по сравнению с характерными временными задачами, т.е. моментами, когда необходимо установить величину параметров результирующей УВВ. Это предположение обосновано исследованиями [6], в которых определялось время индукции аэровзвеси сульфидной пыли и зависимости времени индукции от давления.

Итак,  $C_+$  – характеристики для 1-й ударной волны имеют вид:

$$x = (v_1 + C_1)t + f_1(v_1), \quad (1)$$

для 2-й ударной волны

$$x = (v_2 + C_2)t + f_2(v_2), \quad (2)$$

где  $v$  – массовая скорость,  $C$  – скорость звука,  $f(v)$  – функция, характеризующая форму волны.

Обозначим  $v_{10}$ ,  $v_{20}$  значения массовых скоростей на фронтах УВВ в начальный момент времени.

Продифференцируем (1) и (2) по  $v_1$ ,  $v_2$  соответственно, вдоль линии фронта результирующей волны  $X=X \cdot (t(v))$  с учетом инварианта (рудничную атмосферу считаем идеальным газом с постоянной адиабаты  $\gamma$ ).

$$v_i = -\frac{2}{\gamma-1} \cdot C_i = -\frac{2}{\gamma-1} \cdot C_0 \quad i = 1,2 \quad (3)$$

$$\frac{dX}{dt} \cdot \frac{dt}{dv_1} = \left( C_0 + \frac{\gamma+1}{2} v_1 \right) \frac{dt}{dv_1} + \frac{\gamma+1}{2} t f_1'(v_1), \quad (4)$$

$$\frac{dX}{dt} \cdot \frac{dt}{dv_2} = \left( C_0 + \frac{\gamma+1}{2} v_2 \right) \frac{dt}{dv_2} + \frac{\gamma+1}{2} t f_2'(v_2). \quad (5)$$

Фронт этой волны в рассматриваемом приближении движется со скоростью:

$$\frac{dX}{dt} = C_0 + \frac{\gamma+1}{4} (v_1 + v_2). \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4) и (5), получим:

$$\left( C_0 + \frac{\gamma+1}{4} (v_1 + v_2) \right) \frac{dt}{dv_1} = \left( C_0 + \frac{\gamma+1}{2} v_1 \right) \frac{dt}{dv_1} + \frac{\gamma+1}{2} t f_1'(v_1), \quad (7)$$

$$\left( C_0 + \frac{\gamma+1}{4} (v_1 + v_2) \right) \frac{dt}{dv_2} = \left( C_0 + \frac{\gamma+1}{2} v_2 \right) \frac{dt}{dv_2} + \frac{\gamma+1}{2} t f_2'(v_2), \quad (8)$$

или

$$(v_1 - v_2) \frac{dt}{dv_1} + 2t + \frac{4}{\gamma+1} f_1'(v_1) = 0, \quad (9)$$

$$(v_2 - v_1) \frac{dt}{dv_2} + 2t + \frac{4}{\gamma+1} f_2'(v_2) = 0. \quad (10)$$

Запишем полученную систему в дифференциалах:

$$(v_1 - v_2)dt + 2tdv_1 + \frac{4}{\gamma+1} f_1'(v_1)dv_1 = 0, \quad (11)$$

$$(v_1 - v_2)dt + 2tdv_1 + \frac{4}{\gamma+1} f_1'(v_1)dv_1 = 0. \quad (12)$$

Умножим (11) на  $v_1$  (12) на  $v_2$ , затем вычтем из (12) (11):

$$dtv_2^2 + \frac{4}{\gamma+1} v_2 f_2'(v_2)dv_2 = dtv_1^2 + \frac{4}{\gamma+1} v_1 f_1'(v_1)dv_1. \quad (13)$$

Интегрирование в интервале времени от 0 до  $t$  дает:

$$tv_2^2 - \frac{4}{\gamma+1} \int_{v_2}^{v_{20}} v_2 f_2'(v_2)dv_2 = tv_1^2 + \frac{4}{\gamma+1} \int_0^{v_1} v_1 f_1'(v_1)dv_1. \quad (14)$$

Учитывая, что при догоне  $v_1$  есть значение на фронте 1-й волны:

$$v_1^2 t = \frac{4}{\gamma+1} \int_{v_1}^{v_{10}} v_1 f_1'(v_1) d v_1 \quad (15)$$

Получим

$$t v_2^2 = \frac{4}{\gamma+1} \int_{v_2}^{v_{20}} v_2 f_2'(v_2) d v_2 + \frac{4}{\gamma+1} \int_0^{v_{10}} v_1 f_1'(v_1) d v_1 \quad (16)$$

Полагая, что 1-я волна имеет треугольный профиль, имеем:

$$f_1(v_1) = \lambda_1 \left( \frac{v_1}{v_{10}} - 1 \right), \quad (17)$$

где  $\lambda_1$  – длина 1-й волны в момент начала догона. Следовательно,

$$f_1'(v_1) = \lambda_1 \cdot \frac{1}{v_{10}}, \quad (18)$$

Это позволяет провести интегрирование в уравнениях (15) и (16):

$$v_{1\phi}^2 \left( t + \frac{4}{\gamma+1} \cdot \frac{\lambda_1}{2 v_{10}} \right) = \frac{4}{\gamma+1} \cdot \frac{v_{10} \cdot \lambda_1}{2}, \quad (19)$$

$$v_{2\phi}^2 t = \frac{4}{\gamma+1} \cdot \frac{v_{10} \cdot \lambda_1}{2} + \frac{4}{\gamma+1} \int_{v_{2\phi}}^{v_{20}} v_2 f_2'(v_2) d v_2, \quad (20)$$

Здесь  $v_{1\phi}$  и  $v_{2\phi}$  обозначают величины на фронтах 1-й и 2-й УВВ к моменту времени  $t$ . Отношение амплитуд  $v_{2\phi}$  и  $v_{1\phi}$  есть степень увеличения амплитуды суммарной волны в результате взаимодействия. Если представить, что 2-я волна также имеет треугольный профиль, то выражение (16) можно проинтегрировать и после некоторого упрощения, с учетом (19), получить:

$$\frac{v_{2\phi}}{v_{1\phi}} = \sqrt{\frac{\frac{v_{10} \cdot \lambda_1 + v_{20} \cdot \lambda_2}{2}}{\frac{v_{10} \cdot \lambda_1}{2}}} \cdot \sqrt{\frac{t + \frac{4}{\gamma+1} \cdot \frac{\lambda_1}{2 v_{10}}}{t + \frac{4}{\gamma+1} \cdot \frac{\lambda_2}{2 v_{20}}}} \quad (21)$$

где  $\lambda_2$  – длина 2-й УВВ к моменту времени  $t$ . На достаточно больших расстояниях (или при достаточно больших  $t$ ) из (21) получим асимптотическую формулу:

$$\frac{v_{2\phi}}{v_{1\phi}} = \sqrt{1 + \frac{I_2}{I_1}}, \quad (22)$$

где  $I_1, I_2$  – импульсы 1-й и 2-й УВВ.

Рассмотрим пример, в котором на основе эмпирических зависимостей для 1-й УВВ [7,8] и ряда упрощенных предположений проведены расчеты амплитуды результирующей УВВ по формуле (22).

Пример 1. Взрыв пыли в тупиковом забое.

В забое горизонтальной тупиковой выработки сечением  $S$  взорван заряд аммонита №6 массой  $q$  кг, вызвавший взрыв сульфидной пыли. При этом пламя распространилось на расстояние  $L$  м по длине выработки.

Полагаем, что пламя движется по облаку с постоянной скоростью. Условие сохранения массы на фронте горения дает:

$$\rho_1 D = \rho_2 (D - U), \quad (23)$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – плотность среды перед и за фронтом горения;

$D$  – скорость фронта горения относительно среды перед ним;

$$U = v_2 - v_1, \quad (24)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – массовые скорости перед и за фронтом горения.

Из граничного условия (скорость среды обращается в нуль у груди забоя) следует:

$$U = -v_1, \quad (25)$$

На основании экспериментальных исследований [9] имеем:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\mu_1 T_2}{\mu_2 T_1} = a \geq 2, \quad (26)$$

где  $\mu_1, \mu_2$  и  $T_1, T_2$  – молекулярные массы и температуры до и после фронта горения.

Тогда из (23) получим:

$$v_1 = (a - 1)D, \quad (27)$$

Время сгорания  $\tau$  пылевого облака длиной  $L$ :

$$\tau = \frac{L}{D+v_1} = \frac{L}{aD}, \quad (28)$$

Перепад давления во фронте 2-й УВВ равен:

$$\Delta p = \rho_0 C_0 v_1, \quad (29)$$

где  $\rho_0, C_0$  – плотность и скорость звука в воздухе при нормальных условиях.

Импульс этой волны:

$$I_2 = \rho_0 C_0 v_1 \tau = \frac{a-1}{a} \cdot \rho_0 C_0 L, \quad (30)$$

или

$$I_2 \sim \rho_0 C_0 L, \quad (31)$$

Амплитуду результирующей УВВ определяем по формуле (22).

При этом затухание импульса  $I_2$  с расстоянием учитываем аналогично формуле  $I = 250qn/Se^{\beta x/2d}$  из работы [10] введением множителя:

$$\exp(-\beta x/2d), \quad (32)$$

где  $q$  – заряд;  $n$  – коэффициент перехода энергии ВВ в ударную волну;  $S$  – поперечное сечение выработки;  $\beta$  – коэффициент затухания;  $x$  – расстояние от места взрыва;  $d$  – приведенный диаметр выработки.

При вычислении величины  $\Delta p$  на расстоянии  $x < x_k$ , соответствующем частичному сгоранию облака, вместо  $L$  в (22) следует подставить

$$\frac{(D+v_1)x}{C_0}, \quad (33)$$

Упомянутое расстояние  $x_k$  можно оценить как:

$$x_k = \frac{LC_0}{D+v_1}, \quad (34)$$

Поэтому при распространении волны до т.  $X_k$  зависимости  $\Delta p_1$  и  $I_1$  можно представить по формулам из работы [9]. Тогда амплитуда результирующей УВВ  $\Delta p$  составит:

$$\Delta p = \left(29 \frac{qn}{xS} + 7,6 \frac{qn}{xS}\right) \cdot \sqrt{1 + \frac{\rho_0(D+v_1)xS}{2450qn}} e^{-\frac{\beta x}{d}} \cdot 10^5, \quad (35)$$

На расстоянии  $x \geq x_k$

$$\Delta p = \left(29 \frac{qn}{xS} + 7,6 \sqrt{\frac{qn}{xS}}\right) \cdot \sqrt{1 + \frac{\rho_0 C_0 L S}{2450qn}} e^{-\frac{\beta x}{d}} \cdot 10^5, \quad (36)$$

Таким образом, используя формулы (35) и (36) можно получить значение перепада давления на фронте ударной волны при взрыве сульфидной пыли в тупиковом забое.

### Список литературы

1. Ермолаев А.И., Тетерев Н.А. Анализ исследований в области пылевых взрывов и их предупреждение на подземных рудниках. //Изв. Вузов. Горный журнал.-2015.- №8.-с.75-80.

2. Губкин К.Е. Нелинейная геометрическая акустика и ее приложения. – В кн.: Некоторые проблемы математики и механики (к 60-летию акад. М.А. Лаврентьева).
3. Губкин К.Е. Распространение взрывных волн. – В кн.: Механика в СССР за 50 лет. М.: «Наука», 1970, т.2, с.269-311.
4. Губкин К.Е. Распространение разрывов в звуковых волнах. – Прикладная механика и математика. 1958, вып.4, т.22, с.561-564.
5. Цикулин М.А. О догоне одного треугольного профиля давления другим в асимптотике ударных волн. – Журнал прикладной механики и технической физики, 1960, №2, с.132-134.
6. Филиппов В.И. Исследование взрывоопасности полиминеральной сульфидной пыли и предупреждение ее взрывов. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Свердловск, СГИ, 1976, 155 с.
7. Назаренко В.Н. Исследование ударных воздушных волн и способов их ослабления при подземных взрывных работах. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Кривой Рог, 1977, 24 с.
8. Савенко С.К. Гурин А.А., Малый П.С. Ударные воздушные волны в подземных выработках. – М.: «Недра», 1973, - 152 с.
9. Чернявский Э.И. Исследование взрывов сульфидной пыли при проведении выработок и изыскание способов их предупреждения. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Свердловск, Унипромедь, 1966, 134 с.
10. Гурин А.А. Управление ударными воздушными волнами при взрывных работах. – М., «Недра», 1978. – 80 с.

УДК 622.234.42.001.573

## МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СПОСОБОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

ОСИПОВА И. А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

*Аннотация.* Предложен подход к изучению представления информации в процессе проектирования и эксплуатации месторождения способом скважинного подземного выщелачивания

*Ключевые слова:* моделирование, скважинное подземное выщелачивание.

## MODEL OF INFORMATION REPRESENTATION IN THE DESIGN PROCESS AND EXPLOITATION OF THE IN SITU LEACHING

OSIPOVA I. A.

Ural State Mining University

*Abstract.* An approach to the study of information presentation in the process of field design and operation is proposed by subsurface leaching.

*Keywords:* modeling, subsurface leaching.

При проектировании и эксплуатации месторождения способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) приходится сталкиваться с высокой неопределённостью имеющихся знаний и данных, которые используются при решении задач временного и пространственно-временного прогнозов.

Системный подход требует интеграции данных из различных источников в иерархию непротиворечивых информационных моделей, построенных для определенных пространственных и временных масштабов. При этом для каждого масштаба вводятся свои типы упорядоченности информации, и тогда удается четко обосновать теоретические и эмпирические компоненты создаваемых моделей.

Выбор технологии СПВ требует интеграции знаний, содержащихся в различных предметных областях. Он должен производиться с учетом как минимум пяти аспектов: геолого-экономического (величина запасов полезного компонента и его минимальное промышленное содержание; природного (характеристики запасов, морфология проницаемых зон); технологического, требующего рассмотрения процессов фильтрации жидкости в проницаемой среде, например, в пласте, дренируемом эксплуатационными скважинами; экологического, позволяющего оценить влияние выбираемой технологии на окружающую среду; геофизического, обеспечивающего идентификацию параметров геологической среды. При этом каждая версия формального решения представляет собой гипотезу, которая порождается в результате совместной обработки всех имеющихся знаний и данных.

При моделировании технологического аспекта следует исходить из того, что пласт и скважина образуют единую гидродинамическую систему. Изменение дебитов отдельных скважин приводит к перераспределению давлений и потоков внутри залежи в целом. Притоки воды в продуктивный слой определяют уменьшение концентрации реагентов и снижение извлечения полезного компонента в целевой продукт.

При моделировании экологического аспекта необходимо выявить основные направления и пути миграции, а также закономерности распределения и аккумуляции загрязнений, связанных, например, с фильтрационными и сорбционными свойствами грунтов, и на основе этого получить оценку допустимости дополнительных техногенных нагрузок на территорию.

Геофизический аспект связан с переводом характеристик геофизических полей в свойства исследуемой пространственной области, например, в проницаемость.

В результате совместной обработки различных видов информации требуется обеспечить устойчивость функционирования предприятия путем минимизации риска, обусловленного ошибочной оценкой запасов и выбором нерациональных параметров вскрытия месторождения.

Потери, обусловленные неполнотой информации о месторождении и затратами на геолого-разведочные работы, будем рассчитывать по формуле<sup>1</sup>:

$$P = M\{L\} + R \cdot S, \quad (1)$$

где  $M\{L\}$  - математическое ожидание экономических потерь, обусловленное неполнотой информации о месторождении;

R - объем геолого-разведочных работ в натуральных единицах;

S - затраты на проведение единицы геолого-разведочных работ на месторождении.

---

<sup>1</sup> А. А. Герт. Экономико-математические модели поисков, разведки и освоения месторождений минерального сырья. М.: Недра, 1987. 119 с.

Решение задачи минимизации потерь, описываемых выражением (1), выполним при следующих допущениях.

1. Полагаем, что уточнение информации по результатам разведки не меняет вид закона распределения удельных затрат на добычу сырья в месторождении, а приводит только к уточнению параметров распределения. Полагаем, что распределение удельных затрат  $P_{уд}$  на добычу сырья на разведанном участке подчиняется нормальному закону с параметрами  $\mu_\sigma \sigma_\sigma^2$ , а на неразведанном участке месторождения распределение удельных затрат  $P_{уд}$  на добычу сырья также подчиняется нормальному закону с параметрами  $\mu_i \sigma_i^2$ .

2. Известны оптимальные объемы добычи и значения удельных затрат ресурсов для нескольких месторождений. Каждому значению  $P_{уд}$  ставится в соответствие оптимальный план и значение функционала, характеризующего качество оптимального плана. Реализация неоптимального плана приводит к возникновению потерь. При непрерывном изменении параметра  $P_{уд}$  в некотором диапазоне существуют критические точки, в которых происходит смена оптимального плана.

3. Точность оценок экономических показателей зависит от числа разведочных пересечений и, следовательно, от затрат на разведочные работы.

В соответствии с теорией статистических решений средний ущерб, называемый риском, рассчитывается по формуле:

$$\rho(P, d) = \int_{\Omega} L(\omega, d) dP(\omega), \quad (2)$$

где  $\Omega$  - множество всех состояний неизвестного параметра  $W$ ,

$D$  - пространство всех решений  $d$ ;

$L(\omega, d)$  - экономические потери, возникающие, если будет принято решение  $d \in D$  и неизвестный параметр примет значение  $\omega \in \Omega$ ;

$P$  - функция распределения параметра  $W$ .

С позиции минимизации удельных затрат на добычу сырья процесс СПВ характеризуется следующими особенностями.

1 Производительность по целевому продукту, содержащемуся в откачном растворе, растет при уменьшении расстояний между закачными и откачными скважинами. При этом возрастают затраты на бурение скважин.

2 Расходы реагентов пропорционально увеличиваются с ростом коэффициента фильтрации.

3 Извлечение полезного компонента в целевой продукт связано с содержанием полезного компонента в добычном блоке нелинейной зависимостью, определяемой кинетикой растворения полезного компонента.

Из этих особенностей следуют зависимости удельных затрат от горно-геологических параметров и параметров горно-подготовительных работ.

Таким образом, системный подход требует интеграции данных из различных источников в иерархию непротиворечивых информационных моделей, построенных для определенных пространственных и временных масштабов. При этом для каждого масштаба вводятся свои типы упорядоченности информации, где удается четко обосновать теоретические и эмпирические компоненты создаваемых моделей.

## К ВОПРОСУ ИСПЫТАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КРЕПЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

БУДНИК Д. Р.  
ОАО «УРАЛМЕХАНОБР»

**Аннотация.** Приведен обзор рекомендуемых и применяемых методик испытаний различных видов и типов крепей подземных горных выработок. Сформированы рекомендации по испытаниям крепей с учетом современных применяемых технологий проходки и крепления горных выработок.

**Ключевые слова:** крепь, крепление горных выработок, методика испытаний крепи.

## ON THE ISSUE OF TESTING VARIOUS TYPES OF MINE SUPPORTS

BUDNIK D. R.  
JSC "Uralmekhanobr"

**Abstract.** The review of recommended and applied methods of tests to various types of mine support is represented. Recommendations for testing mine support based on modern applied technology drilling and support of mine workings.

**Keywords:** mine support, design of mine support, test methods of mine support.

Наметившееся в последнее десятилетие активное совершенствование и развитие уже применяемых типов креплений подземных горных выработок и широкое внедрение новых способов предъявляет иные требования к приемке в эксплуатацию и периодическим испытаниям этих крепей.

Особенность данного вопроса заключается в том, что методики испытаний крепей и их периодичность не сведены в какой-либо единый нормативный документ, а содержатся в различных инструкциях и ведомственных правилах [1] – [6]. В ряде случаев рекомендации данных документов не отвечают современным требованиям по испытаниям и контролю за применяющимися видами креплений, а новые виды не учитывают совсем.

Формирование отвечающей требованиям времени методики испытаний различных видов крепей и проведение регулярного контроля является одним из важных вопросов безопасного ведения горных работ. Такая методика была разработана в 2017 году специалистами отдела горной науки ОАО «Уралмеханобр» с учетом новых видов креплений для различных горно-геологических и горнотехнических условий.

Данная методика может применяться на следующих испытаниях крепей горных выработок:

- вводимых в эксплуатацию;
- для периодических (контрольных) испытаний на соответствие расчетным параметрам;
- для опытно-промышленных испытаний новых видов крепей, изменений их конструкций, параметров или элементов (компонентов составов).

Приемка в эксплуатацию и испытания различных видов крепей производятся, как правило, в два этапа – визуальный и инструментальный.

Визуальный контроль предполагает общую оценку условий установки крепи и качество ее возведения, при котором проверяется целый ряд технических параметров

элементов крепления, которые прописываются в паспорте крепления и управления кровлей.

Инструментальный контроль предполагает непосредственно испытания возведенной крепи на соответствие расчетным характеристикам.

**Анкерная крепь.**

Приемка анкерной крепи в эксплуатацию производят в два этапа:

1-й этап – визуальный осмотр, при котором проверяется:

- схема расположения анкеров в ряду;
- полнота перетяжки кровли и боков выработки (при наличии);
- соответствие шага крепления выработки паспортному;
- качество закрепляющего состава.

2-й этап – инструментальный контроль, включающий в себя определение:

- несущей способности анкеров;
- величину затяжки гаек анкеров (при наличии).

Кроме определения данных обязательных показателей при необходимости возможно дополнительно определение следующих параметров:

- фактической несущей способности анкеров;
- фактической нагрузки на крепь со стороны массива;
- затяжки и величины смятия демпфирующих податливых элементов;
- смещений слоев кровли и конвергенции выработки.

После принятия анкерной крепи в эксплуатацию производят периодические проверочные испытания (табл. 1).

**Таблица 1 – Контрольные временные интервалы при проведении испытаний анкерной крепи**

| Вид испытания   | Периодичность выполнения работ  |              |                     |
|---|---|--------------|---------------------|
|   | визуальный осмотр   | затяжка гаек | несущая способность |
| Контрольно-приемочные испытания (приемка крепи в эксплуатацию):   |   |              |                     |
| <i>железобетонные анкера</i>                                      | позапно при наборе прочности:<br>24 часа; 7 суток; 28 суток (при необходимости) |              |                     |
| <i>сталеполимерные анкера</i>                                     | при полном наборе прочности:<br>0,5 часа  |              |                     |
| <i>сталеминеральные анкера</i>                                    | позапно при наборе прочности:<br>2 часа; 24 часа; 28 суток (при необходимости)  |              |                     |
| <i>фрикционные анкера</i>   | после крепления участка выработки   |              |                     |
| Контрольные испытания (периодические – в действующих выработках): |   |              |                     |
| выработки вне высоконапряженных зонах                             | каждый раз перед инструментальным контролем                                     | ---          | 1 раз/6 мес.        |
| выработки в высоконапряженных зонах                               | 1 раз/нед. и каждый раз перед инструментальным контролем                        | ---          | 1 раз/мес.          |

**Набрызгбетонная крепь.**

Приемку набрызгбетонной крепи в эксплуатацию производят в два этапа:

1-й этап – визуальный осмотр, при котором проверяется:

- покрытие не должно иметь разрывов, трещин, раковин и других нарушений;

- при простукивании набрызгбетон не должен издавать глухой или дребезжащий звук – признак некачественного сцепления покрытия с поверхностью выработки.

2-й этап – инструментальный контроль, включающий в себя:

- определение толщины набрызгбетонного покрытия;
- определение предела прочности на сжатие;
- определение предела прочности на растяжение при изгибе.

Кроме определения данных обязательных показателей при необходимости возможно дополнительно определение следующих параметров:

- величина отскока набрызгбетонной крепи;
- прочность сцепления с поверхностью выработок.

После принятия набрызгбетонной крепи в эксплуатацию производят периодические проверочные испытания (табл. 2).

**Таблица 2 – Контрольные временные интервалы при проведении испытаний набрызгбетонной крепи**

| Место испытания   | Периодичность выполнения работ      |                                     |                    |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
|   | визуальный осмотр                   | толщина крепи                       | предел прочности   |
| Контрольно-приемочные испытания (приемка крепи в эксплуатацию):   |                                     |                                     |                    |
| проводимые выработки  | один раз при приемке в эксплуатацию | один раз при приемке в эксплуатацию | один раз/полгода * |
| Контрольные испытания (периодические – в действующих выработках): |                                     |                                     |                    |
| выработки вне высоконапряженных зонах                             | 1 раз/ мес.                         | ---                                 | ---                |
| выработки в высоконапряженных зонах                               | 1 раз/2 нед.                        | ---                                 | ---                |

\* При изменении гранулометрического и химического составов крупного заполнителя и песка; при вводе/выводе из состава смеси добавок или армирующих элементов (фибр); для каждой новой партии цемента испытания производить дополнительно вне зависимости от начально определенного контрольного интервала.

***Комбинированная (анкер-набрызгбетонная крепь с армокаркасом).***

Перечень проверяемых и контролируемых параметров определяется типом применяемых крепей в составе комбинированной, а также дополнительно:

- надежность закрепления сетки (армокаркаса) на анкерах и ее достаточный контакт с поверхностью выработки;
- толщина защитного слоя набрызгбетона металлической сетки (армокаркаса).

***Арочная податливая крепь***

Приемку в эксплуатацию производят в один визуально-инструментальный этап, при котором проверяется:

- перпендикулярность установки рам крепи к оси выработки;
- шаг установки рам крепи;
- соответствие проектной величины нахлестки в местах соединения элементов рамы;
- затяжка гаек на хомутах замков в соответствии с паспортным моментом затяжки;
- качество расклинивания рамы клиньями;
- качество и полнота затяжки в соответствии с паспортом крепления;
- качество и полнота забутовки крепного пространства между контуром горной выработки и арочным ограждением в соответствии с паспортом крепления.

Кроме контроля указанных обязательных показателей при необходимости возможно дополнительно определение несущей способности и податливости замка крепи в зависимости от приложенной нагрузки.

После принятия арочной податливой крепи в эксплуатацию производят периодические проверочные испытания (табл. 3).

**Таблица 3 – Контрольные временные интервалы и объем проведения испытаний арочной податливой крепи**

| Вид испытания  | Периодичность выполнения работ                                |   |                     |                                  |   |                           |
|--|---|---|---------------------|----------------------------------|---|---------------------------|
|  | шаг и перпендикулярность рам                                  | нахлестка элементов рам   | затяжка гаек замков | расклинивание рамы               | затяжка рам                                 | забутовка                 |
| Контрольно-приемочные испытания (приемка крепи в эксплуатацию):          | один раз; после полного закрепления данного участка выработки |   |                     |                                  |   |                           |
| Объем испытаний, ед.   | 100% рам крепи  |   | 100% гаек           | 100% точек расклинивания         | 100% контура выработки                      | каждый межрамный интервал |
| Контрольные испытания (в действующих выработках):                        |   |   |                     |                                  |   |                           |
| выработки с умеренными деформациями кровли                               | –   | начальный этап (1,5 мес.) – 2 раз/нед.;<br>контрольный этап – 1 раз/2 нед.  |                     |                                  |   | –                         |
| Объем испытаний, ед.   | –   | не менее 50% рам  | не менее 50% гаек   | не менее 70% точек расклинивания | визуальный осмотр<br>100% контура выработки | –                         |
| выработки с интенсивно прогрессирующими деформациями кровли и сопряжения | –   | начальный этап – 1 раз/сут.;<br>контрольный этап (после установления стабильного горного давления) – 1 раз/1 нед. |                     |                                  |   | –                         |
| Объем испытаний, ед.   | –   | не менее 50% рам  | не менее 50% гаек   | не менее 70% точек расклинивания | визуальный осмотр<br>100% контура выработки | –                         |

### ***Деревянная крепь***

Приемку в эксплуатацию производят в один визуально-инструментальный этап, при котором проверяется:

- перпендикулярность установки рам крепи к оси выработки;
- шаг установки рам крепи;
- отсутствие в замках зазоров;
- качество расклинивания рамы клиньями;
- качество и полнота затяжки в соответствии с паспортом крепления;
- качество и полнота забутовки закрепного пространства между контуром горной выработки и ограждением в соответствии с паспортом крепления;

- величина осадки крепи при ее работе в податливом режиме.

После принятия деревянной рамной крепи в эксплуатацию производят периодические проверочные испытания (табл. 4).

**Таблица 4 – Контрольные временные интервалы и объем проведения испытаний деревянной рамной крепи**

| Вид испытания   | Периодичность выполнения работ                                |                 |                                  |  |                           |  |                          |
|---|---|-----------------|----------------------------------|--|---------------------------|--|--------------------------|
|   | шаг и перпендикулярность рам                                  | зазоры в замках | расклинивание рамы               | затяжка рам                              | забутовка                 | осадка крепи   | антикоррозийный контроль |
| Контрольно-приемочные испытания (приемка крепи в эксплуатацию): | один раз; после полного закрепления данного участка выработки |                 |                                  |  |                           | ---  | ---                      |
| Объем испытаний, ед.  | 100% рам крепи  |                 | 100% точек расклинивания         | 100% контура выработки                   | каждый межрамный интервал | ---  | ---                      |
| Контрольные испытания (в действующих выработках):               | ---   | 1 раз/2 нед.    |                                  |  |                           | начальный этап (1 ÷ 3 мес.) – 2 раз/мес.;<br>контрольный этап – 1 раз/мес. | 1 раз/6 мес.             |
| Объем испытаний, ед.  | ---   | 100% рам крепи  | не менее 70% точек расклинивания | визуальный осмотр 100% контура выработки |                           | не менее 10% рам крепи   | не менее 50% рам крепи   |

**Монолитная бетонная (железобетонная) крепь.**

Приемку монолитной бетонной крепи в эксплуатацию производят в два этапа:

1-й этап – визуальный осмотр, при котором проверяется:

- покрытие не должно иметь разрывов, трещин, раковин и других нарушений;
- покрытие должно быть однородным и без скопления щебня;
- крепь должна иметь заполненные швы между отдельными участками уложенного бетона, обеспечивающие единство конструкций.

2-й этап – инструментальный контроль, включающий в себя:

- определение плотности контакта крепи с породами;
- определение предела прочности бетона на сжатие.

После принятия монолитной бетонной крепи в эксплуатацию производят периодические проверочные испытания (табл. 5).

**Таблица 5 – Контрольные временные интервалы и объем проведения испытаний монолитной бетонной (железобетонной) крепи**

| Вид испытания | Периодичность выполнения работ |                                     |                     |                          |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------|
|               | визуальный осмотр              | плотность контакта крепи с массивом | прочность на сжатие | фактический класс бетона |
|               |                                |                                     |                     |                          |

|   |  |  |  |   |
|---|--|--|--|---|
| Контрольно-приемочные испытания (приемка крепи в эксплуатацию): | один раз;<br>после полного закрепления данного участка выработки |  | заготовка образцов для испытаний один раз во время закрепления данного участка выработки             | ---   |
| Объем испытаний, ед.  | 100% контура выработки   | 1 шпур в своде через каждые 5 ÷ 10 м длины выработки | не менее трех образцов на каждые 40 м <sup>3</sup> укладываемого бетона или на каждые 30 м выработки | ---   |
| Контрольные испытания (в действующих выработках):               | визуальный осмотр на деформации крепи<br>1 раз/мес.              | ---  | ---  | 1 раз/5 (15) лет*   |
| Объем испытаний, ед.  | 100% контура выработки   | ---  | ---  | один контролируемый участок на 4 м <sup>2</sup> поверхности крепи выработки |

\* Контроль монолитной бетонной (железобетонной) крепи в выработках с обводненными породами кровли или при влажности воздуха в них свыше 85% производить по истечении 5 лет эксплуатации или 15 лет в выработках с низкими водопритоками и влажностью воздуха меньше 85%.

### Список литературы

1. Единая технологическая инструкция по применению набрызгбетонной, штанговой и комбинированной крепей в капитальных, подготовительных и очистных выработках рудником цветной металлургии. – М.: МЦМ СССР, 1978.
2. ВСН 126-90. Крепление выработок набрызгбетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ. – М.: Минтрансстрой СССР, 1991.
3. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России. – ВНИМИ, С.-П., 2000.
4. Приказ Ростехнадзора «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности от 17.12.2013 № 610 «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014 № 31354).
5. ВСН 50-87. Возведение крепи из анкеров и набрызгбетона подземных гидротехнических сооружений в сложных горно-геологических условиях. Ведомственные строительные нормы. – М.: Госстрой СССР, 1987.
6. Технологические правила применения набрызгбетона при ремонте и реконструкции инженерных сооружений. – М.: Транспорт, 1978.

УДК 622.235

## СПОСОБ МАССОВОЙ ОТБОЙКИ СКАЛЬНЫХ РУД

СМИРНОВ А. А., БАРАНОВСКИЙ К. В., РОЖКОВ А. А.  
Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В статье описан способ массовой отбойки скальных руд восходящими веерами скважинных зарядов ВВ. Особенность способа заключается в том, что плоскость веера разделяется на дугообразные зоны. Ширина данных зон пропорционально уменьшается от забоя скважин к их устью. Заряды ВВ в скважинах чередуются с воздушными промежутками, причем длина зарядов и длина воздушных промежутков принимается равной ширине соответствующей дугообразной зоны. Заряды и воздушные промежутки в соседних скважинах веера располагаются в шахматном порядке. Рассредоточение зарядов в скважине достигается формированием глиняных пробок на расстоянии от ранее заряженной порции ВВ, обеспечивающем образование воздушного промежутка.

**Ключевые слова:** массовая отбойка, равномерное дробление, рассредоточенный заряд, веер скважин, глиняная пробка, воздушный промежуток, удельный расход ВВ.

## METHOD OF MASSIVE BREAKING OF ROCK ORE

SMIRNOV A. A., BARANOVSKIY K. V.

ROZHKOV A. A.

Institute of mining UB of the RAS

**Abstract.** The article describes a method for mass breaking of rock ores with ascending fans of borehole charges of an explosive. The peculiarity of the method lies in the fact that the plane of the fan is divided into arc-shaped zones. The width of these zones is proportionally reduced from the slope of the borehole to their mouth. Explosive charges in the borehole alternate with air gaps, the length of the charges and the length of the air gaps being assumed to be equal to the width of the corresponding arcuate zone. Charges and air gaps in the neighboring borehole of the fan are staggered. Dispersal of charges in the well is achieved by the formation of clay plugs at a distance from the previously charged portion of the explosive, which provides the formation of an air gap.

**Keywords:** mass breaking, equability fragmentation, dispersed charge, fan of boreholes, clay cork, air gap, specific consumption of explosive.

При подземной разработке рудных месторождений большой и средней мощности основным способом отделения горной массы от массива и ее дезинтеграции, являются буровзрывные работы (БВР), а именно – скважинная отбойка зарядами сплошной конструкции. Взаимное расположение скважин в разрушаемом массиве бывает веерным, параллельным, сближенным, пучковым и комбинированным. Наиболее широко применяется веерное расположение скважин. Такое расположение имеет ряд преимуществ и недостатков. Положительное влияние на эффективность очистных работ оказывает снижение удельных затрат на подготовительно-нарезные работы (ПНР) и операции, связанные с бурением. В то же время, для веерной отбойки характерно худшее качество дробления по сравнению с параллельными скважинными зарядами, связанное с удельным расходом взрывчатых веществ (ВВ) [1]. Таким образом, совершенствование технологии ведения БВР веерами скважинных зарядов – является актуальной научно-технической задачей.

Характерной особенностью рассматриваемого способа является крайне неравномерное распределение ВВ по плоскости веера, причем для обеспечения полноты отрыва отбиваемого слоя от массива необходимые для этого параметры расположения скважин и расход ВВ рассчитываются для концов (забоев) скважин. Следовательно, в остальной части веера по причине сближения скважин в плоскости их расположения от забоев к устьям – удельный расход ВВ оказывается заведомо завышенным [2].

Снижение удельного расхода ВВ возможно путем изменения геометрических параметров расположения скважин в веере и массиве (увеличение расстояния между концами скважин, увеличение ЛНС и т.д.). Однако такой способ может негативно сказаться на качестве взрыва, вплоть до «прострела», когда слой породы не отделяется от

массива [3]. Кроме того, не снимается проблема завышенной концентрации ВВ в сужающейся части плоскости веера. Поэтому в настоящее время основным способом управления удельным расходом ВВ в восходящих веерах являются различные схемы недозаряда скважин [4]. Вместе с тем, сплошные скважинные заряды, несмотря на наибольшее распространение в практике ведения взрывных работ, наименее эффективны с точки зрения механики дробления [5]. Решением может служить рассредоточение зарядов в скважинах.

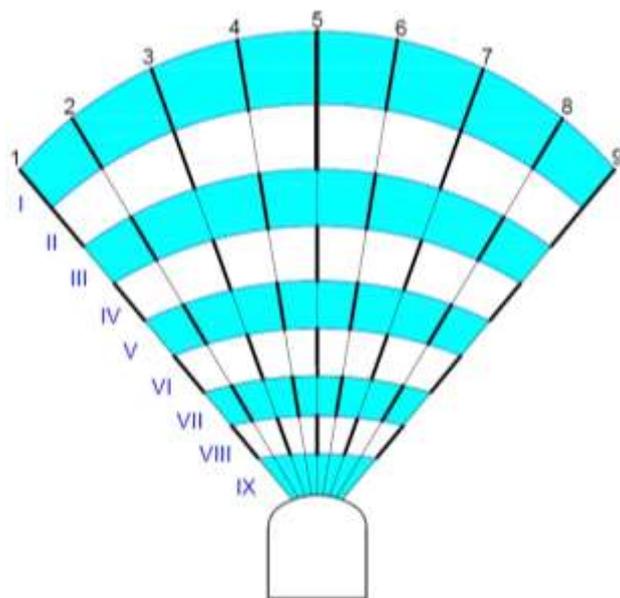
Известно, что рассредоточение заряда позволяет снизить начальное давление взрыва на единицу поверхности стенок скважины, удлиняя время воздействия взрыва на разрушаемую породу, уменьшает бризантное действие взрыва, вызывающее переизмельчение материала в ближней зоне, и способствует более равномерному дроблению породы [6].

Формирование рассредоточенных зарядов производится самыми различными способами [3, 7-9], имеющими как достоинства, так и недостатки, главный из которых в том, что предназначены они преимущественно для открытых горных работ. В подземных условиях возможная область их применения ограничивается зарядкой нисходящих вертикальных скважин увеличенного диаметра. При расположении скважин в виде восходящего веера данные способы неприменимы либо сложно осуществимы. Таким образом, возникла необходимость в разработке конструкции рассредоточенного заряда, отвечающей горнотехническим условиям. При этом важно отметить, что рациональной конструкцией является заряд, разделенный именно воздушным промежутком, а не забоечным или каким-либо другим инертным материалом [10].

Из всего вышесказанного сделан вывод, что повышение качества дробления при веерном расположении восходящих скважин можно добиться путем разработки конструкции зарядов с воздушными промежутками без инертного заполнителя, формирование которых в условиях подземных рудников не потребует существенных дополнительных трудозатрат и специальных средств.

В результате был разработан способ отбойки скальных руд [11], заключающийся в следующем: плоскость веера разделяется на дугообразные зоны, ширина которых уменьшается от забоя скважин к их устью, заряды ВВ в скважинах чередуются с воздушными промежутками, причем длина зарядов и длина воздушных промежутков принимается равной ширине соответствующей зоны, а заряды и воздушные промежутки в смежных скважинах веера располагаются в шахматном порядке.

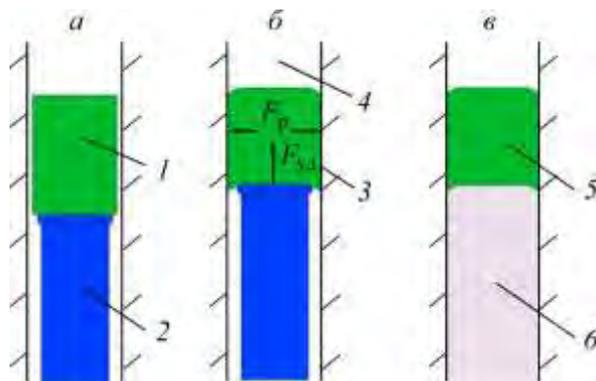
Сущность способа заключается в том, что необходимые для полноты отрыва слоя от массива и получения требуемого качества дробления руды параметры расположения скважин и удельный расход ВВ рассчитываются для зоны концов скважин в веере, а по мере сгущения скважин в веере за счет воздушных промежутков расход ВВ снижается, оставаясь примерно одинаковым для каждой выделенной зоны веера. При этом осуществляется равномерное распределение ВВ по плоскости веера, что обеспечивает равномерность действия взрыва на все участки отбиваемого слоя и качественное дробление руды. Принципиальная схема расположения зарядов в веере показана на рисунке 1.



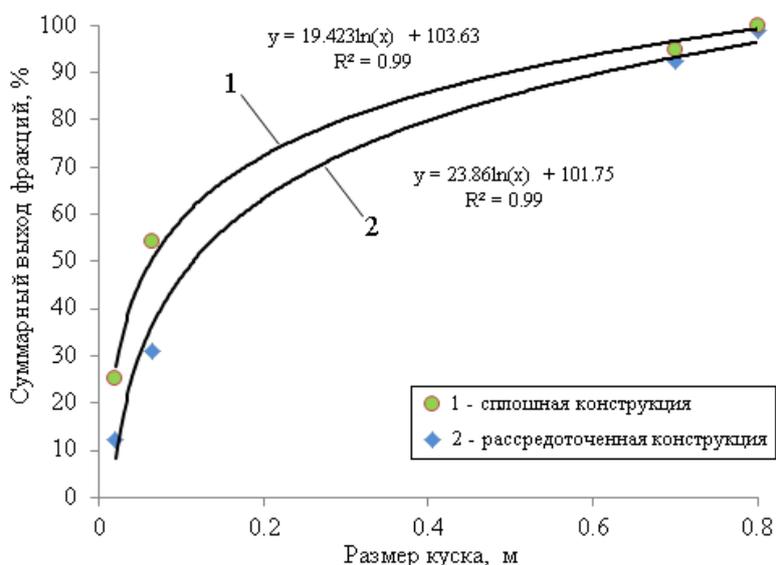
**Рис. 1. Принципиальная схема заряжения веера скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками без инертного заполнителя**

При проектировании массового взрыва веер скважин разделяется на дугообразные зоны I-VIII, ширина которых уменьшается от конца скважин к их устью. Концы четных скважин при помощи зарядчика заряжаются на длину, равную ширине зоны I (включая длину патрона-боевика), концы нечетных скважин заряжаются на длину, равную сумме ширины зон I и II. Боевики располагаются в конце скважин и инициируются ниткой детонирующего шнура (ДШ). В четных скважинах в пределах зоны II формируются воздушные промежутки. В нечетных скважинах воздушные промежутки формируются в пределах зоны III. По этому же принципу заряжается и оставшаяся часть скважин, за исключением козырька IX над буровой выработкой для сохранения последней. Боевики размещаются в каждом заряде. Причем около устьев скважин, где длина зарядов небольшая, заряд может состоять только из патронов ВВ, аналогичных боевикам.

Формирование заряда в скважине при механизированном заряжении выполнялось следующим образом: в забое скважины размещался патрон-боевик из аммонита БЖВ с присоединенным детонирующим шнуром. Пневмозарядчиком подавался первый заряд гранулированного ВВ необходимой длины. Зарядный шланг извлекался из скважины. Этим же шлангом в скважину вводилась влажная глиняная пробка длиной 10-20 см на заданное расстояние, обеспечивающее образование воздушного промежутка (рис. 2а). Контроль расстояний между зарядом ВВ и пробкой осуществлялся по маркированному зарядному шлангу. Легкими ударами шланга пробка расклинивалась и запрессовывалась в скважине (рис. 2б). Далее проводилось заряжение следующей порции ВВ (рис. 2в). Опыт заряжения показал, что запрессованная таким образом глиняная пробка выдерживает напор подающейся под давлением порции ВВ и надежно обеспечивает заданный воздушный промежуток. В процессе заряжения отдельные заряды граммонита уплотняются и надежно удерживаются в скважине, не просыпаясь в нижерасположенный воздушный промежуток и в устье скважины. В целом данный способ заряжения отличается простотой (трудоемкость сравнима с формированием сплошного заряда) и не требует дополнительных специальных средств [12].



**Рис. 2. Процесс формирования воздушного промежутка в скважине:**  
 1 – влажная глиняная пробка; 2 – зарядный шланг; 3 – деформируемая глиняная пробка; 4 – формируемый воздушный промежуток; 5 – расклиненная глиняная пробка; 6 – заряд гранулированного ВВ;  $F_{уд}$ ,  $F_{р}$  – силы удара и распора, соответственно



**Рис. 3. Сравнение качества взорванной горной массы при разных конструкциях зарядов в веерах скважин с одинаковыми параметрами расположения в массиве**

Способ был испытан при массовой отбойке веерами скважин диаметром 65 мм на Кыштымском подземном руднике ( $f=12$ ,  $\gamma=2,65$  т/м<sup>3</sup>), при этом удельный расход ВВ был снижен с 1,4 до 0,9 кг/м<sup>3</sup> при улучшенном качестве дробления руды [13-17]. В качестве ВВ применялся граммонит 21 ТМЗ, зарядка производилась зарядчиком ЗМК-1А, в качестве боевиков использовались патроны аммонита 6ЖВ с ДШЭ-9. Практически затраты времени на установку одной пробки составляли порядка 3-4 мин. Оценка эффективности способа производилась по критерию максимального выхода кондиционного куска руды. В конкретном случае это кусок +65-700 мм на первой стадии грохочения горной массы, и +20-65 мм на второй (рис. 3).

Как видно из графика, при сниженном на 35,7 % удельном расходе ВВ выход кондиционного куска суммарно повысился на 10,7 %, однако уже при первом грохочении повышение составило 33,7 %. Таким образом, по результатам практического опробования способа отбойки можно сделать следующие выводы:

1. Разработанный способ отбойки позволяет значительно снизить удельный расход ВВ и обеспечить достаточно равномерное его распределение по плоскости веера.

2. За счет рассредоточения зарядов воздушными промежутками без инертного заполнителя достигается лучшее качество дробления, с общим преобладанием кондиционного куска средней крупности и значительным снижением доли более мелких и переизмельченных фракций руды.

3. Способ не требует значительного роста трудозатрат и дополнительных специальных средств.

*Исследования выполнены при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН (Проект 18-5-5-10).*

### Список литературы

1. Кутузов Б.Н., Белин В.А. Проектирование и организация взрывных работ. М.: Горная книга, 2012. 416 с.

2. Ломоносов Г.Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений. – 2-е изд. – М.: Горная книга, 2013. 517 с.

3. Кутузов Б.Н., Безматерных В.А., Берсенев Г.П. Анализ дробящего действия зарядов ВВ с пористым промежутком // Изв. вузов. Горный журнал. 1988. № 1. С. 53-58.

4. Ерофеев И.Е. Повышение эффективности буровзрывных работ на рудниках. М.: Недра, 1988. 271 с.

5. Жариков И.Ф. Энергосберегающие технологии ведения взрывных работ на разрезах // Взрывное дело. 1998. № 91/48. С. 191-195.

6. Шевкун Е.Б. Лещинский А.В. Рассредоточение скважинных зарядов пенополистиролом // ГИАБ. 2006. № 5. С. 116-123.

7. Лещинский А.В., Шевкун Е.Б. Рассредоточение скважинных зарядов. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2009. 154 с.

8. Марченко Л.Н., Кудряшев В.С. Методические указания по применению скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками на открытых горных разработках // Сб. Взрывное дело № 51/8. М., Недра, 1963. С.199-206.

9. Гришин А.Н., Матренин В.А., Мучник С.В. Способ формирования рассредоточенных скважинных зарядов // Горный журнал. 2007. № 4. С. 55-57.

10. Марченко Л.Н. Исследование процессов образования и развития трещин в твердых средах в зависимости от конструкции заряда // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 102-113.

11. Патент РФ № 2645048. Способ массовой отбойки скальных руд / Смирнов А.А., Соколов И.В., Барановский К.В., Рожков А.А., Качалов И.В. // Бюл. № 5, опубл. 15.02.18. 4 с. (по заявке 2017105990 от 21.02.2017).

12. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Никитин И.В., Рожков А.А. Результаты экспериментальных исследований подземной добычи высокоценного кварца в условиях Кыштымского рудника // ФТПРПИ. 2018. № 1. С. 97-106.

13. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Рожков А.А. Физическое моделирование взрывной отбойки высокоценного кварца // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. № 1. С. 4-9. DOI: 10.18503/1995-2732-2017-15-1-4-9

14. Рожков А.А. Определение параметров ресурсосберегающей отбойки кварца плоской системой зарядов // Проблемы недропользования. 2017. №3. С. 13-18. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.013.

15. Соколов И.В., Смирнов А.А., Рожков А.А. Обоснование оптимальных параметров буровзрывных работ при отбойке кварца // ГИАБ. 2016. № 7. С. 337-350.

16. Соколов И.В., Смирнов А.А., Рожков А.А. Отбойка кварца рассредоточенными скважинными зарядами при подземной добыче // ГИАБ. 2017. № 10. С. 178-185. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-10-0-178-185.

17. Соколов И.В., Смирнов А.А., Рожков А.А. Повышение эффективности добычи кварца применением плоской системы рассредоточенных зарядов // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 1. С. 56-65. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-1-56-65.

УДК 622.272

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВСКРЫТИЯ НИЖНИХ ГОРИЗОНТОВ ВЕТРЕНСКОГО ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА АВТОТРАНСПОРТНЫМ УКЛОНОМ

НИКИТИН И. В.

Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** Учитывая постепенное выбывание производственных мощностей, а также наличие значительного ресурсного потенциала Ветренского рудного поля, дальнейшее развитие подземного рудника возможно за счет вовлечения в эксплуатацию запасов ниже рабочего горизонта. Сконструированы возможные варианты вскрытия данных запасов и проведена их сравнительная оценка.

**Ключевые слова:** вскрытие, эксплуатационные запасы, автотранспортный уклон, дисконтированные затраты.

## EFFICIENCY OF THE OPENING OF THE LOWER HORIZONS OF THE VETRENSKIY UNDERGROUND MINE BY TRANSPORT RAMP

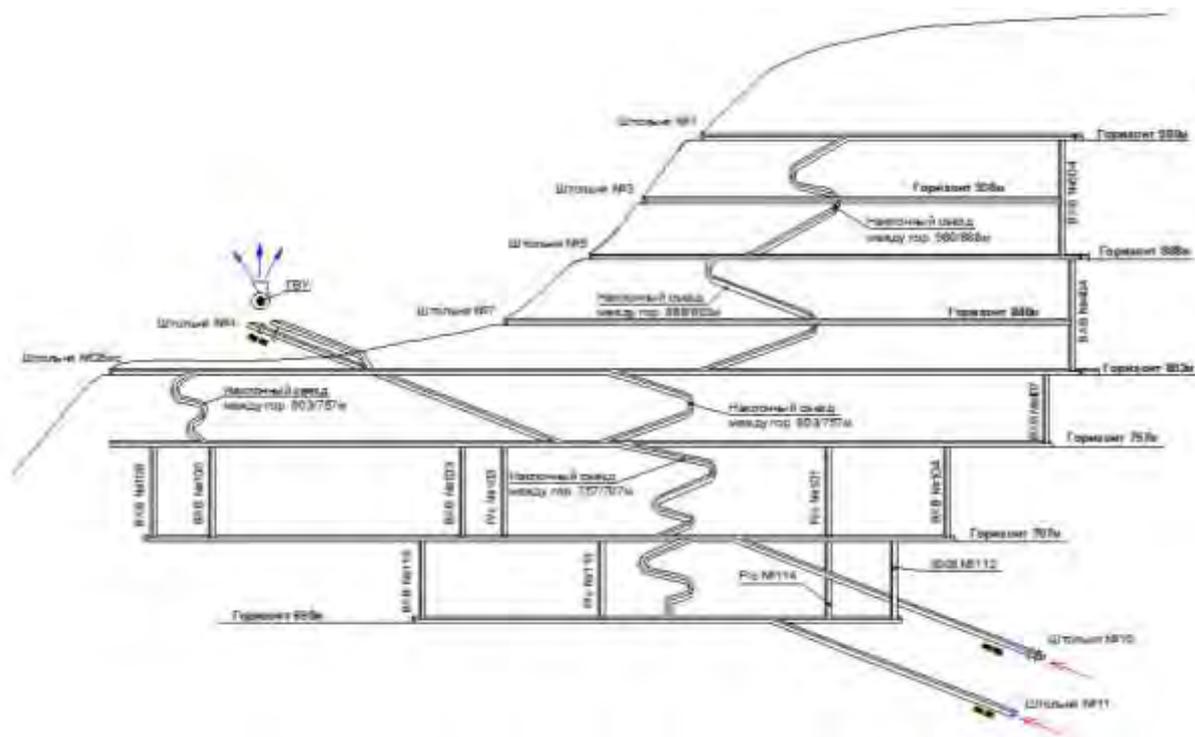
NIKITIN I. V.

Institute of mining UB of the RAS

**Abstract.** Taking into account the gradual elimination of production capacities, as well as the significant resource potential of the Vetrenskiy ore field, the further development of the underground mine is possible due to the involvement of reserves below the working horizon. The possible variants of the opening of these reserves were constructed and their comparative evaluation was carried out.

**Keywords:** opening, operational reserves, transport ramp, discounted costs.

Ветренское золоторудное месторождение расположено на территории Тенькинского района Магаданской области в 360 км от г. Магадан и в 5 км от пос. Усть-Омчуг. Месторождение находится в зоне развития многолетней мерзлоты. Рудные тела имеют сложную форму и представлены серией сближенных жил и жильных образований. Мощность рудных тел изменяется 0,7 до 7,4 м, угол падения от 30° до 80°. Руды крепкие, вмещающие породы различны – от устойчивых до малоустойчивых. Плотность руд и вмещающих пород составляет 2,65 т/м<sup>3</sup>. Рельеф района среднегорный, сильно расчлененный, характеризующийся наличием крутых склонов и врезанных долин ручьев. Абсолютные отметки поверхности достигают 1100 м [1].



**Рис. 1. Схема вскрытия Ветренского месторождения**

Добычу и обогащение золотосодержащих руд Ветренского месторождения ведет рудник «Ветренский» – действующее горнодобывающее предприятие с развитой производственной и социальной инфраструктурой, состоящей из подземного рудника, золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ), вахтового поселка, вспомогательных зданий и сооружений.

Месторождение вскрыто капитальными штольнями: №1 (гор. 980м), №3 (гор. 936м), №5 (гор. 888м), №7 (гор. 835м), №2 и №2бис (гор. 803м), №4 и №4бис (гор. 757м), №10 (гор. 707м), №11 (гор. 665м). Высота этажа составила 50 м (рис. 1).

В настоящее время горные работы ведутся на горизонтах штолен № 4, № 10 и № 11, между которыми пройдены наклонные съезды, вентиляционные восстающие и рудоспуски. Основным концентрационным горизонтом для перепуска добытой руды с вышележащих горизонтов является штольня № 11. Подземный транспорт руды до места разгрузки на промплощадке штольни осуществляется подземными автосамосвалами Paus UNI 50-2 грузоподъемностью 10 т. На поверхности руда грузится погрузчиком Komatsu WA-420 в автосамосвал БелАЗ-7548 грузоподъемностью 42 т и доставляется на рудный склад ЗИФ.

Вентиляция рудника осуществляется всасывающим способом по фланговой схеме с использованием главной вентиляторной установки, размещенной на промплощадке штольни № 4. Необходима реконструкция вентиляторной установки с заменой устаревшего вентилятора ВОД-18 на современные высокоэффективные вентиляторы, обеспечивающие необходимые характеристики при небольших массе, габаритах и энергопотреблении [2].

Объем и технология отработки вскрытых запасов месторождения позволяют обеспечить производственную деятельность предприятия в течение ближайших двух лет. Учитывая постепенное выбывание производственных мощностей, а также наличие значительного ресурсного потенциала Ветренского рудного поля, дальнейшее развитие подземного рудника возможно за счет вовлечения в эксплуатацию запасов ниже

рабочего горизонта 665 м. В связи с этим одной из первоочередных задач, стоящих перед проектировщиками и исследователями, является разработка и выбор эффективного способа вскрытия запасов нижних горизонтов и рациональной схемы транспорта руды до ЗИФ [3].

Балансовые запасы прослеживаются до глубины 628 м. Однако ниже данной отметки имеются достаточно большие прогнозные запасы, требующие значительного объема геологоразведочных работ. Вследствие этого нижний вскрываемый горизонт целесообразно заложить на отметке 615 м (исходя из принятой на руднике высоты этажа 50 м). Выработки данного горизонта будут использоваться как для отработки утвержденных запасов, так и для эксплуатационной разведки прогнозных запасов.

Рассмотрены два варианта вскрытия запасов гор. 615 м:

*Вариант 1* предусматривает проходку транспортного уклона под углом  $8^\circ$  из действующей штольни №11 на гор. 615 м, наклонного съезда 665/615 м под углом  $8^\circ$  для заезда на рабочие подэтажи, доставочного штрека на гор. 615 м и фланговых вентиляционно-ходовых восстающих (ВХВ) (рис. 2).

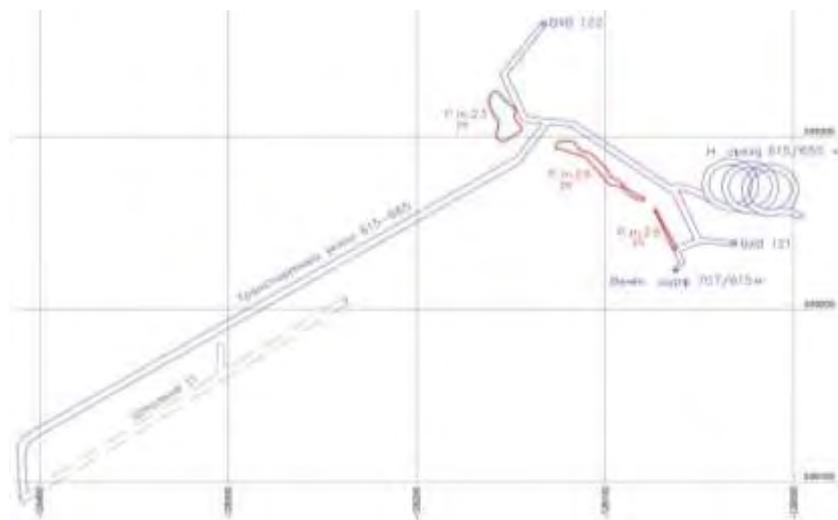
При отработке нижнего этажа добытая руда транспортируется автосамосвалами Paus UNI 50-2 по транспортному уклону на гор. 665 м и далее по штольне №11 выдается на поверхность, где перегружается в автосамосвал БелАЗ-7548 и доставляется на рудный склад ЗИФ.

Объем горнокапитальных работ по варианту 1 составляет  $11180 \text{ м}^3$ , срок строительства горизонта – 1 год. Длина транспортирования по горным выработкам – 580 м, по поверхности – 1000 м (табл. 1).

*Вариант 2* предусматривает строительство новой штольни №12, устье которой располагается вблизи ЗИФ, наклонного съезда 665/615 м под углом  $8^\circ$  для заезда на рабочие подэтажи, доставочного штрека на гор. 615 м, фланговых ВХВ и двух капитальных рудоспусков. Для оформления площадки у штольни №12 необходима подрезка склона и засыпка распадка с устройством выезда на площадку ЗИФ (рис. 3).

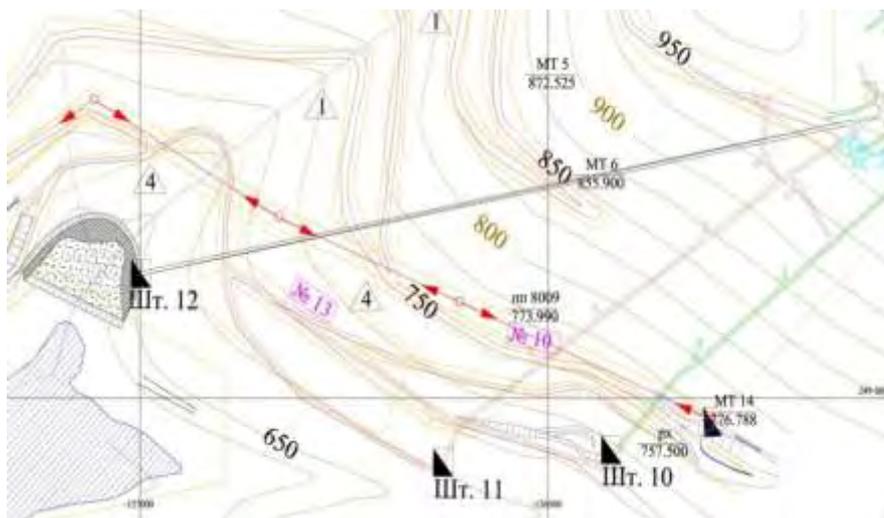
При отработке нижнего этажа добытая руда транспортируется автосамосвалами Paus UNI 50-2 по штольне №12 непосредственно на рудный склад ЗИФ. Данный вариант позволяет исключить поверхностный транспорт руды и процесс ее перегрузки.

Объем горнокапитальных работ по варианту 2 составляет  $17680 \text{ м}^3$ , срок строительства горизонта – 1,7 лет. Длина транспортирования по горным выработкам – 910 м (табл. 1).



**Рис. 2. Вскрытие гор. 615м по варианту 1, предусматривающему проходку автоуклона из действующей штольни № 11**

Во всех вариантах проходка горизонтальных и наклонных выработок производится буровзрывным способом с использованием комплекса самоходного оборудования [4]: буровая установка Simba S7D и погрузо-доставочная машина Atlas Copco ST 2D. Крепление выработок в устойчивых породах – сталеполимерными анкерами, в зонах тектонических нарушений – металлической крепью из спецпрофиля СВП-22. Восстающие и рудоспуски проходятся при помощи комплекса КПП-4А.



**Рис. 3. Вскрытие гор. 615м по варианту 2, предусматривающему строительство новой штольни № 12 вблизи ЗИФ**

Сравнение вариантов выполнено по критерию минимума дисконтированных затрат, получаемых путем суммирования разновременных капитальных затрат на вскрытие горизонта и эксплуатационных затрат на транспорт руды до ЗИФ [5-7]. Целевую функцию ДЗ можно представить следующим образом:

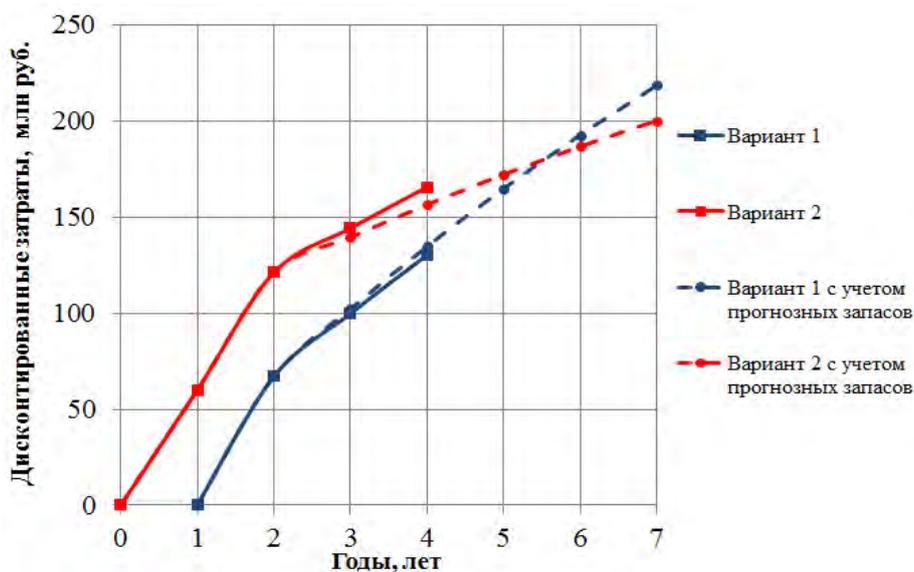
$$ДЗ = \sum_{t=0}^T (K_{гкр\ t} + \mathcal{E}_{пов\ t} + \mathcal{E}_{вшт\ t}) \frac{1}{(1 + E)^t} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $T$  – общая продолжительность строительства и эксплуатации горизонта, лет;

$K_{гкр\ t}$  – капитальные затраты на проведение горно-капитальных выработок в  $t$ -м году строительства горизонта, руб/год;

$\mathcal{E}_{пов\ t}$ ,  $\mathcal{E}_{вшт\ t}$  – эксплуатационные затраты на поверхностный и внутришахтный транспорт руды в  $t$ -м году эксплуатации горизонта, соответственно, руб/год;

$E$  – норма дисконта, доли ед.



**Рис. 4. График дисконтированных затрат по вариантам вскрытия**

Расчет основных технико-экономических показателей по сравниваемым вариантам вскрытия приведен в табл. 1, результаты расчетов – на рис. 4. Дополнительно рассмотрены и просчитаны два подварианта: первый – учитывает отработку только утвержденных балансовых запасов, второй – общих запасов с учетом прогнозных. Единичные расценки на строительство горно-капитальных выработок, поверхностный и внутришахтный транспорт приняты по данным рудника. Для дисконтирования затрат приняты: норма дисконта – 8%; годовой объем добычи по этажу – 100 тыс. т.

**Таблица 1 – Техничко-экономические показатели по вариантам вскрытия**

| Показатель  | Ед. изм.             | Вариант 1    | Вариант 2     |
|---|----------------------|--------------|---------------|
| Длина транспортного уклона  | м                    | 380          | -             |
| Длина штольни №12   | м                    | -            | 910           |
| Длина наклонного съезда   | м                    | 380          | 380           |
| Длина доставочного штрека   | м                    | 160          | 160           |
| Сечение горизонтальных выработок                                    | м <sup>2</sup>       | 11,5         |               |
| Общая длина ВХВ   | м                    | 100          | 100           |
| Сечение ВХВ   | м <sup>2</sup>       | 6,0          |               |
| Общая длина рудоспусков   | м                    | -            | 100           |
| Сечение рудоспуска  | м <sup>2</sup>       | 4,0          |               |
| <b>Объем горно-капитальных работ</b>                                | <b>м<sup>3</sup></b> | <b>11180</b> | <b>17680</b>  |
| Скорость проходки выработок   | м/мес.               | 80           |               |
| <b>Срок строительства горизонта</b>                                 | <b>лет</b>           | <b>1,0</b>   | <b>1,7</b>    |
| Стоимость проходки 1 м <sup>3</sup> выработки                       | руб/м <sup>3</sup>   | 7000         |               |
| Затраты на проходку выработок                                       | тыс. руб.            | 78260        | 123760        |
| Затраты на оформление рабочей площадки и устройство портала штольни | тыс. руб.            | 0            | 7600          |
| <b>Суммарные капитальные затраты</b>                                | <b>тыс. руб.</b>     | <b>78260</b> | <b>131360</b> |
| Эксплуатационные запасы / общие запасы с учетом прогнозных          | тыс. т               | 200 / 500    |               |

|  |                  |                        |                        |
|--|------------------|------------------------|------------------------|
| Расстояние транспортирования по подземным горным выработкам        | м                | 580                    | 910                    |
| Расстояние транспортирования от промплощадки штольни до ЗИФ        | м                | 1000                   | 0                      |
| Стоимость подземного транспорта                                    | руб/т·км         | 320                    |                        |
| Стоимость поверхностного транспорта, включая ее перегрузку         | руб/т·км         | 204                    |                        |
| Затраты на подземный транспорт руды                                | тыс. руб.        | 37120 / 92800          | 58240 / 145600         |
| Затраты на поверхностный транспорт руды                            | тыс. руб.        | 40800 / 102000         | 0                      |
| <b>Суммарные эксплуатационные затраты на транспорт руды до ЗИФ</b> | <b>тыс. руб.</b> | <b>82560 / 206400</b>  | <b>58240 / 145600</b>  |
| Срок отработки запасов   | лет              | 2 / 5                  |                        |
| <b>Суммарные дисконтированные затраты</b>                          | <b>тыс. руб.</b> | <b>130350 / 218670</b> | <b>165700 / 200320</b> |

Сравнительный анализ рассмотренных вариантов показал:

- при освоении только балансовых запасов *вариант 1* является более эффективным по сравнению с *вариантом 2*, поскольку имеет меньшие объем дисконтированных затрат (на 21%) и срок строительства (на 40%);

- срок строительства по *варианту 2*, включая время на подготовку рабочей площадки у устья штольни №12 и устройство портала, составляет около двух лет. Балансовые запасы этажа 665/615м будут отработаны за два года. В этом случае строительство штольни № 12 не имеет смысла. При условии заметного прироста запасов рудника по результатам эксплуатационной разведки целесообразность *варианта 2* резко возрастает.

На основании конструирования и технико-экономического сравнения вариантов вскрытия утвержденных запасов ниже гор. 665м для дальнейшего проектирования рекомендован вариант 1, предусматривающий строительство транспортного уклона из штольни № 11.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания № 007-002293-18-00 (тема № 0405-2018-0015).*

#### Список литературы

1. Секисов Г.В., Нигай Е.В., Соболев А.А. Перспективность освоения малых и весьма малых золоторудных месторождений в Восточно-Российском регионе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №12. – С. 66-74.
2. Корнилков С.В., Соколов И.В., Славиковская Ю.О., Никитин И.В. Обоснование технико-экономической целесообразности возобновления эксплуатации Квайсинского свинцово-цинкового месторождения на основе геоинформационного моделирования // Изв. вузов. Горный журнал. – 2014. – №3. – С. 9-17.
3. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В., Рожков А.А. Изыскание подземной геотехнологии при переходе к освоению глубокозалегающих запасов наклонного медноколчеданного месторождения // Известия УГГУ. – 2016. – №2 (42). – С. 47-53.
4. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В. Направления развития и опыт применения подземной геотехнологии с использованием самоходной техники на уральских рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №4. – С. 66-74.

5. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. Моделирование и оптимизация способа и схемы вскрытия подкарьерных запасов крутопадающих рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №6. – С. 190-196.

6. Никитин И.В. Методика и алгоритм расчета для экономико-математического моделирования вариантов вскрытия подкарьерных запасов // Проблемы недропользования: материалы VI Всерос. молодежной науч.-практ. конф., 8-10 февраля 2012 г. / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – С. 151-157.

7. Никитин И.В. Вскрытие и технология отработки крутопадающего жильного месторождения в условиях гористой местности // Проблемы недропользования. – 2014. – №1. – С. 108-113. DOI:10.18454/2313-1586.2014.01.108.

УДК 622.274.4

## СХЕМА ДОСТАВКИ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ С ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ПЕРЕПУСКОМ РУДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

СОКОЛОВ И. В., АНТИПИН Ю. Г., СОЛОМЕИН Ю. М.  
ФГБУН Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В результате пересмотра кондиций Ветренского золоторудного месторождения в эксплуатацию были вовлечены запасы нижних и отработанных ранее верхних этажей. С целью поддержания производственной мощности подземного рудника на уровне 200 тыс. т руды в год разработаны схемы доставки и транспортирования горной массы от забоя до поверхности с двухступенчатой системой рудоспусков. Установлен рациональный порядок отработки запасов нижней и верхней части месторождения. Установлены составы комплексов самоходного оборудования, обеспечивающие годовой объем проходки горно-капитальных и подготовительно-нарезных выработок, добычи и транспортирования руды с достаточным резервом времени.

**Ключевые слова:** золоторудное месторождение, вскрытие, комбинированная система транспортирования, самоходное оборудование.

## SCHEME OF DELIVERY AND TRANSPORTATION WITH TWO-STEP ORE BY-PASS AT THE DEVELOPMENT OF A GOLD DEPOSIT

SOKOLOV I. V., ANTIPIN Yu. G., SOLOMEIN Yu. M.  
Institute of mining UB of the RAS

**Abstract.** As a result of the revision of the conditions of the Vetrenskoye gold deposit, it is actual to involve the exploitation of the reserves of the lower and worked out upper floors. In order to maintain the production capacity of the underground mine at the level of 200 thousand tons of ore a year a schemes for delivering and transporting rock mass from the face to the surface with a two-stage system of ore outlets has been developed. Established a rational procedure for mining reserves of the lower and upper parts of the field. The compositions of mobile equipment complexes have been established, which ensure the annual volume of penetration of mining and capital and preparatory-cut workings, extraction and transportation of ore with sufficient time reserve.

**Keywords:** gold deposit, opening, combined transportation system, mobile equipment.

Подземный рудник «Ветренский», находящийся в 380 км от г. Магадана, разрабатывает золотоносное месторождение в условиях нагорного рельефа земной поверхности и зоны вечной мерзлоты, исключаящей приток подземных вод в горные выработки. Эксплуатация месторождения подземным способом ведется с 2003 года.

В 2010 году для месторождения были изменены постоянные разведочные кондиции, в результате чего запасы ряда рудных тел переведены из забалансовых в балансовые. При этом около половины запасов рудника оказалось расположенной в верхней, ранее отработанной части месторождения (выше гор. 803м), а остальные – в нижней части, в том числе ниже рабочего горизонта 665м. Значительная разбросанность рудных тел и большое количество добычных блоков с небольшими запасами руды предопределили изменение схемы транспортирования.

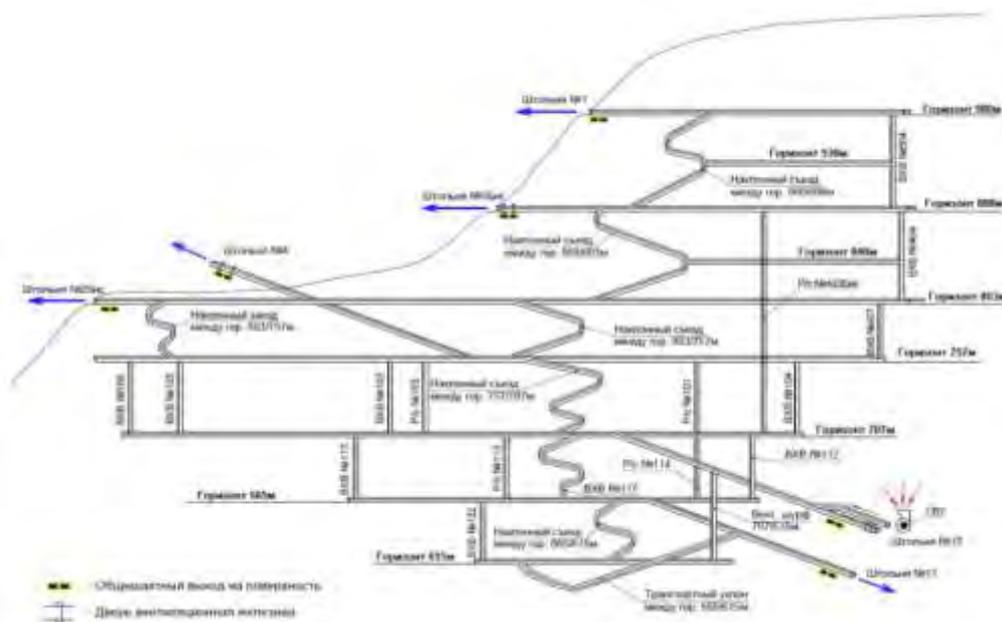
Применяемое на руднике самоходное оборудование – погрузочно-доставочная машина (ПДМ) типа ST 2D грузоподъемностью 4 т с емкостью ковша 1,9 м<sup>3</sup> и автосамосвалы (А/с) PAUS UNI-50-2 грузоподъемностью 10 т с емкостью кузова 6 м<sup>3</sup>.

Основным концентрационным горизонтом для транспортирования добытой руды на поверхность является горизонт 665 м. По горизонту 665м через штольню № 11 руда автосамосвалами вывозится на рудный склад, расположенный на рабочей площадке штольни №11.

Принципиальная схема вскрытия и подготовки рудника «Ветренский» представлена на рис. 1.

Особенностью разработки месторождения является большой объем горнопроходческих работ (ГПР), особенно с учетом выработок эксплуатационной разведки.

Исходя из опыта отработки подобных рудных тел [1-3] и необходимости вовлечения в эксплуатацию новых участков месторождения (этажей 665/615м, 980/888м и 888/840м), определена производственная мощность рудника по горным возможностям [4, 5] – 200 тыс. т руды в год.



**Рис. 1. Принципиальная схема вскрытия и подготовки рудника «Ветренский»**

Годовые объемы выдаваемой рудником горной массы представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Годовые объемы горнопроходческих и очистных работ в период освоения новых участков месторождения**

| Показатель     | Ед. изм. | Значение |
|----------------|----------|----------|
| 1. Добыча руды | т        | 200000   |
| в том числе:   |          |          |

| Показатель                         | Ед. изм.       | Значение |
|------------------------------------|----------------|----------|
| - очистные работы                  | т              | 180299   |
| - подготовительно-нарезные работы  | т              | 19701    |
| 2. Подготовительно-нарезные работы | м <sup>3</sup> | 24184    |
| в том числе:                       |                |          |
| - по руде                          | м <sup>3</sup> | 7434     |
| - по породе                        | м <sup>3</sup> | 16750    |
| 3. Горно-капитальные работы        | м <sup>3</sup> | 33067    |
| 4. Геологоразведочные работы       | м <sup>3</sup> | 8202     |
| 5. Всего породы                    | м <sup>3</sup> | 58019    |
| 6. Всего горной массы              | м <sup>3</sup> | 133491   |

Взяв за основу имеющийся опыт [6] было проведено сравнение двух сформированных вариантов транспортирования руды при отработке запасов двух верхних этажей – гор. 980/888м и 888/803м. 1 вариант предусматривает следующую комбинированную систему транспорта на основе комплекса СО схему транспортирования руды: А/с с погрузкой ПДМ от перегрузочной камеры (ПК) до рудоспуска №403бис → доставка ПДМ от рудоспуска №403бис до ПК на гор. 707м → транспортирование А/с от ПК до рудоспуска №114 по гор. 707м → транспортирование А/с от рудоспуска №114 по штольне №11 на поверхность до рудного склада. При 2 варианте транспортирование руды осуществляется автосамосвалом непосредственно от ПК на поверхность. Основные показатели по этим вариантам приведены в таблице 2.

Сравнение показало, что 1 вариант значительно (в 2,2 раза) эффективнее варианта 2. Применение рудоспусков сокращает как длину транспортирования, так и необходимое количество рабочих единиц самоходной техники.

На рис. 2 приведена принципиальная схема транспортирования горной массы подземного рудника.

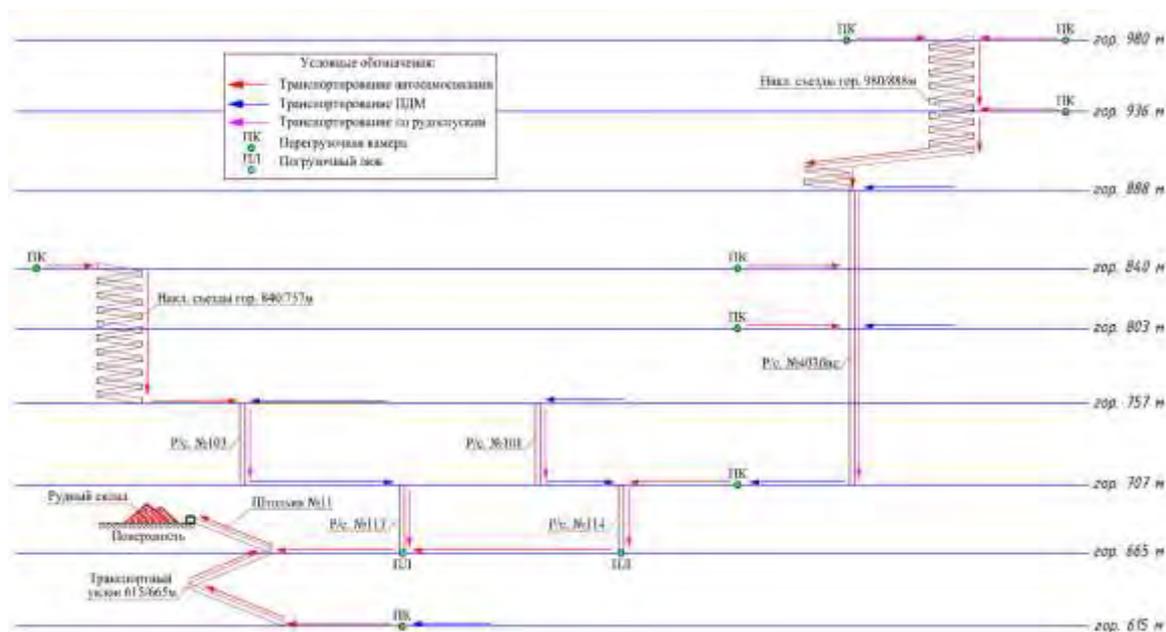
**Таблица 2 – Сравнительные показатели вариантов транспортирования руды**

| Показатели  | Ед. изм.             | 1 вариант        | 2 вариант  |
|---|----------------------|------------------|------------|
| 1. Объем ГПР проходки выработок:<br>- рудоспуск (113 м)<br>- наклонный съезд (95 м) | м <sup>3</sup>       | 620<br>-         | -<br>1093  |
| 2. Условная себестоимость проходки ГПР  | руб./ м <sup>3</sup> | 2000             | 1000       |
| 3. Эксплуатационные затраты на проходки ГПР   | млн. руб.            | 1,24             | 1,093      |
| 2. Длина транспортирования руды:<br>- А/с;<br>- ПДМ                                 | м                    | 1050<br>100      | 3074<br>-  |
| 3. Проектная производительность рудника:  | т/год                | 200000           |            |
| 4. Расчетная производительность комплекса СО:<br>- А/с [по 10, 11]<br>- ПДМ [по 9]  | т/год                | 222876<br>207328 | 75336<br>- |
| 5. Необходимое количество рабочих единиц СО:<br>- А/с;                              | шт.                  | 1                | 3          |

|   |           |      |        |
|---|-----------|------|--------|
| - ПДМ   |           | 1    | -      |
| 6. Условная себестоимость транспортирования руды:     |           |      |        |
| - А/с   | руб./т·км | 100  | 100    |
| - ПДМ   | руб./т·км | 200  | -      |
| - погрузка из люка                                    | руб./т    | 10   | -      |
| 7. Эксплуатационные затраты на транспортирование руды | млн. руб. | 27,0 | 61,48  |
| 8. Суммарные затраты по варианту                      | млн. руб. | 28,4 | 62,573 |

С учетом пространственного положения рудных тел, ступенчатой схемы транспортирования, особенностей организации грузопотоков и годового объема выдаваемой горной массы, для разных участков рудника разработаны семь схем доставки и транспортирования руды и породы из забоя (добычного и проходческого) на поверхность:

1. Доставка горной массы по гор. 803м ПДМ из забоя до ПК на расстояние 100-150м → транспортирование А/с горной массы с погрузкой ПДМ от ПК по наклонному съезду 803/757м и гор. 757м до рудоспуска №103 на расстояние 450м → доставка ПДМ от рудоспуска № 103 до рудоспуска №113 по гор. 707м на расстояние 100м → транспортирование перепускаемой горной массы А/с от рудоспуска № 113 по штольне №11 на поверхность до рудного (или временного породного) склада на расстояние 950м.



**Рис. 2. Принципиальная схема транспортирования горной массы подземного рудника**

2. Доставка горной массы по гор. 757м ПДМ из забоя к рудоспуску № 103 (или № 101) на расстояние 100-150м → доставка ПДМ перепускаемой горной массы от рудоспуска № 103 (или №101) до рудоспуска № 113 (или № 114) по гор.707м на расстояние 100м → транспортирование А/с от рудоспуска №113 (или №114) по штольне №11 на поверхность до рудного (или временного породного) склада на расстоянии 950 м.

3. Доставка горной массы по гор. 707м ПДМ из забоя к рудоспуску №113 (или №114) на расстояние 100-150м → транспортирование перепускаемой горной массы А/с от рудоспуска №113 (или №114) по штольне №11 на поверхность до рудного (или временного породного) склада на расстоянии 950м.

4. Доставка горной массы по гор. 665м ПДМ из забоя до ПК на расстояние 50-100м → транспортирование А/с горной массы с погрузкой ПДМ от ПК по штольне №11 на поверхность до рудного (или временного породного) склада на расстояние 950м.

5. Доставка горной массы по гор. 640м ПДМ из забоя на расстояние 50-100м к рудоспуску №121 → транспортирование А/с с погрузкой ПДМ от рудоспуску №121 по транспортному уклону гор.615/665м и по штольне №11 на поверхность до рудного (или временного породного) склада на расстояние 750м.

6. Доставка горной массы по гор. 980м, 960м, 936м, 916м и 902м ПДМ из забоя до ПК на расстояние 50-100м → транспортирование А/с с погрузкой ПДМ от ПК по наклонному съезду гор. 980/888м до рудоспуска №403бис (гор. 888м) на расстояние 450м (среднее) → доставка ПДМ от рудоспуска №403бис до ПК по гор. 707м на расстояние 100м → транспортирование А/с с погрузкой ПДМ от ПК до рудоспуска №114 по гор. 707м на расстояние 300м → транспортирование А/с от рудоспуска №114 по штольне №11 на поверхность до рудного (или временного породного) склада на расстояние 850м.

7. Доставка горной массы по гор. 860м, 840м, 817м и 803м ПДМ из забоя до рудоспуска №403бис на расстояние 150м (среднее) → доставка ПДМ до ПК по гор. 707м на расстояние 100м → транспортирование А/с с погрузкой ПДМ от ПК по гор. 707м до рудоспуска №114 на расстояние 300м → транспортирование А/с от рудоспуска №114 по штольне №11 на поверхность до рудного (или временного породного) склада на расстояние 850м.

Сменная производительность ПДМ на проходке и очистной выемке определена по [7] исходя из расстояния и схемы доставки с учетом 11-ти часовой смены: от забоя до перегрузочной камеры (ПК) – 100м; от забоя до рудоспуска– 150-200м; от рудоспуска до рудоспуска – 100м. Сменная и годовая производительности ПДМ приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Сменная и годовая производительность ПДМ в зависимости от расстояния и схемы доставки**

| Производительность ПДМ | Доставка до ПК |        | Доставка до р/с |        | Доставка от р/с до р/с |
|------------------------|----------------|--------|-----------------|--------|------------------------|
|                        | 100м           | 150м   | 200м            | 200м   | 100м                   |
| Сменная, т/смену       | 304            | 267    | 223             | 223    | 351                    |
| Годовая, т/год         | 207328         | 182094 | 152086          | 152086 | 239382                 |

Сменная и годовая производительность подземного А/с PAUS UNI-50-2 определена по методике [8, 9], исходя из фактического расстояния транспортирования и способа погрузки для следующих схем: от ПК до рудоспуска – 300-450м; от ПК (с погрузкой ПДМ) на поверхность – 750 и 950м; от рудоспуска (с погрузкой из люков) на поверхность – 850 и 950м. Сменная и годовая производительность А/с в зависимости от расстояния транспортирования и способа погрузки приведены в табл. 4.

На основе годовой производительности ПДМ и А/с и максимального годового объема проходческих и очистных работ установлено необходимое суммарное количество рабочих единиц для обеспечения объема добычи 200 тыс. т руды в год – пять ПДМ и три А/с.

**Таблица 4 – Сменная и годовая производительность А/с в зависимости от расстояния транспортирования и способа погрузки**

| Производительность<br>А/с | Погрузка с помощью ПДМ   |        |                           |        | Погрузка через люк              |        |
|---------------------------|--------------------------|--------|---------------------------|--------|---------------------------------|--------|
|                           | от ПК до рудо-<br>спуска |        | от ПК на поверх-<br>ность |        | от рудоспуска на<br>поверхность |        |
|                           | 300м                     | 450м   | 750м                      | 950    | 850м                            | 950м   |
| Сменная, т/смену          | 684                      | 583    | 450                       | 390    | 544                             | 498    |
| Годовая, т/год            | 466488                   | 397606 | 306900                    | 266166 | 371008                          | 339636 |

Принятое количество рабочих единиц обеспечивает достаточный резерв по времени для выполнения технологических процессов на погрузке и доставке горной массы – 17% и транспортировании горной массы – 37%.

Таким образом, разработанная комбинированная система транспорта руды и породы на поверхность, рационально сочетающая схемы доставки и транспортирования горной массы самоходным оборудованием с двухступенчатой системой рудоспусков, обеспечивает:

- производственную мощность рудника за счет дифференцированного применения схем доставки и транспортирования горной массы в зависимости от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий;
- низкий уровень эксплуатационных затрат на транспортирование руды за счет применения двухступенчатой системы рудоспусков;
- повышение ее надежности за счет достаточного резерва времени на выполнение технологических процессов на доставке и транспортировании горной массы – 17% и 37% , соответственно.

*Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН (Проект 18-5-5-10)*

### Список литературы

1. Струков К.И. АО «ЮЖУРАЛЗОЛОТО ГРУППА КОМПАНИЙ» - 20 лет: развитие технологий освоения месторождений золотоносных руд на рудниках. / К.И. Струков, В.В. Федосеев, М.В. Рыльникова, Р.В. Бергер // Горная промышленность. – 2017. – № 3. – С. 12-15.
2. Каплунов Д.Р. Принципы проектирования и выбор технологий освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников / Д.Р. Каплунов, Д.Н. Радченко // Горный журнал. 2017. – № 11. – С. 52-59.
3. Рыльникова М.В. Методологические аспекты проектирования системы управления минерально-сырьевыми потоками в полном цикле комплексного освоения рудных месторождений. / М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко // Рациональное освоение недр. – 2016. – №3 – С. 36-41.
4. Нормы технологического проектирования рудников цветной металлургии с подземным способом разработки. ВНТП 37-86, Минцветмет СССР. - М., 1986.
5. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий металлургии с подземным способом разработки. ВНТП 13-2-93, Комитет РФ по металлургии. – СПб, 1993.
6. Волков Ю.В. Выбор комплексов самоходного технологического оборудования / Ю.В. Волков, И.В. Соколов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2005. – № 2. – С. 3-6.
7. Единые нормы выработки и времени на подземные очистные, горнопроходческие и нарезные горные работы. ЕНВиВ. Ч. 1. НИИ труда. – М.: 1984.
8. Общесоюзные нормы технологического проектирования подземного транспорта горнодобывающих предприятий. ОНТП 1-86. Минуглепром СССР. – М., 1986.

9. Справочник. Подземный транспорт шахт и рудников. Под общей ред. Г.Я. Пейсаховича, И.П. Ремизова. – М.: Недра, 1985. – 565 с.

УДК 622.274.4

## ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ УДАЛЕННЫХ МАЛОМОЩНЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

СОКОЛОВ И. В., БАРАНОВСКИЙ К. В., ГОБОВ Н. В.  
Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В статье изложен комплекс технических решений по вскрытию, подготовке и очистной выемке запасов вовлечённых в эксплуатацию после пересмотра кондиций действующего золоторудного месторождения. С целью поддержания производственной мощности подземного рудника и оптимизации показателей извлечения сконструированы варианты систем разработки для различных горно-геологических условий, позволяющие переходить с одной на другую за счет единой схемы подготовки. Рассчитаны нормативные потери и разубоживание по системам разработки. Принятые технические решения обеспечивают своевременный и эффективный доступ ко всем обрабатываемым запасам месторождения, оптимальное проветривание горных работ, рациональный транспорт руды и породы из проходческих и очистных забоев на поверхность.

**Ключевые слова:** золоторудное месторождение, балансовые запасы, система разработки, целик, потери, разубоживание

## TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE PROCESSING OF REMOTE SMALL-OLD ORE BODIES

SOKOLOV I. V., BARANOVSKIY K. V., GOBOV N. V.  
Institute of mining UB of the RAS

**Abstract.** The article describes a set of technical solutions for the opening, preparation and clean-up of stocks involved in operation after reviewing the conditions of the existing gold ore deposit. In order to maintain the production capacity of the underground mine and optimize extraction rates, variants of development systems for various mining and geological conditions have been designed, allowing one to shift from one to another through a single training scheme. The normative losses and dilution in development systems are calculated. The adopted technical solutions ensure timely and effective access to all the mined reserves of the deposit, optimal ventilation of mining operations, rational transportation of ore and rocks from the tunneling and cleaning faces to the surface.

**Keywords:** gold ore deposit, balance reserves, development system, pillar, losses, dilution.

После изменения постоянных разведочных кондиций на одном из золоторудных месторождении, запасы ряда рудных тел переведены из забалансовых в балансовые. Все вновь введенные в эксплуатацию рудные тела хаотично распределены по шахтному полю, в большинстве своем имеют небольшие запасы и находятся в пределах ранее отработанных горизонтов. Рудные тела залегают в зоне развития многолетней мерзлоты,

имеют сложную форму и представлены кварцевыми жилами, линзами, прожилками и жильными образованиями неправильной формы. Мощность рудных тел составляет 0,7 - 7,4 м, угол падения – 31 - 80°. Вмещающие породы малоустойчивые и устойчивые, руды крепкие – XIV-XV (по буримости).

Месторождение нагорного типа вскрыто семью штольнями, разделяющими шахтное поле на этажи, способ проветривания нагнетательный. На основном концентрационном горизонте работают автосамосвалы PAUS UNI 50-2, на поверхности автосамосвал БелАЗ-7548 транспортирующий руду на склад золотоизвлекательной фабрики.

Исходя из пространственного расположения вновь введенных в эксплуатацию рудных тел, разработана ступенчатая схема транспортирования горной массы и обоснована схема проветривания рудника. Для реализации принятых технических решений вскрытие ранее отработанной и действующей части месторождения решено дополнить необходимыми вентиляционно-ходовыми восстающими (ВХВ), рудоспусками, обходными выработками и наклонными съездами (рис. 1).

Разработанная схема вскрытия рудника объединяет все участки месторождения в одну единую систему, позволяет осуществить своевременный доступ ко всем запасам месторождения, эффективный транспорт и проветривание, обеспечивает безопасность ведения горных работ. Неиспользуемые, подработанные, а также не подлежащие восстановлению выработки служат для размещения пустой породы от проходческих работ.

Угол падения месторождения не большой и это позволяет в первую очередь отрабатывать более подготовленные к выемке запасы без подработки рудных тел на верхних горизонтах. Поэтому, в первую очередь будут отрабатываться запасы действующей (нижней) части месторождения при параллельном проведении вскрывающих выработок верхней части. Такой порядок отработки, обеспечивает быстрый ввод в эксплуатацию поставленных на баланс рудных тел без потери производственной мощности рудника.

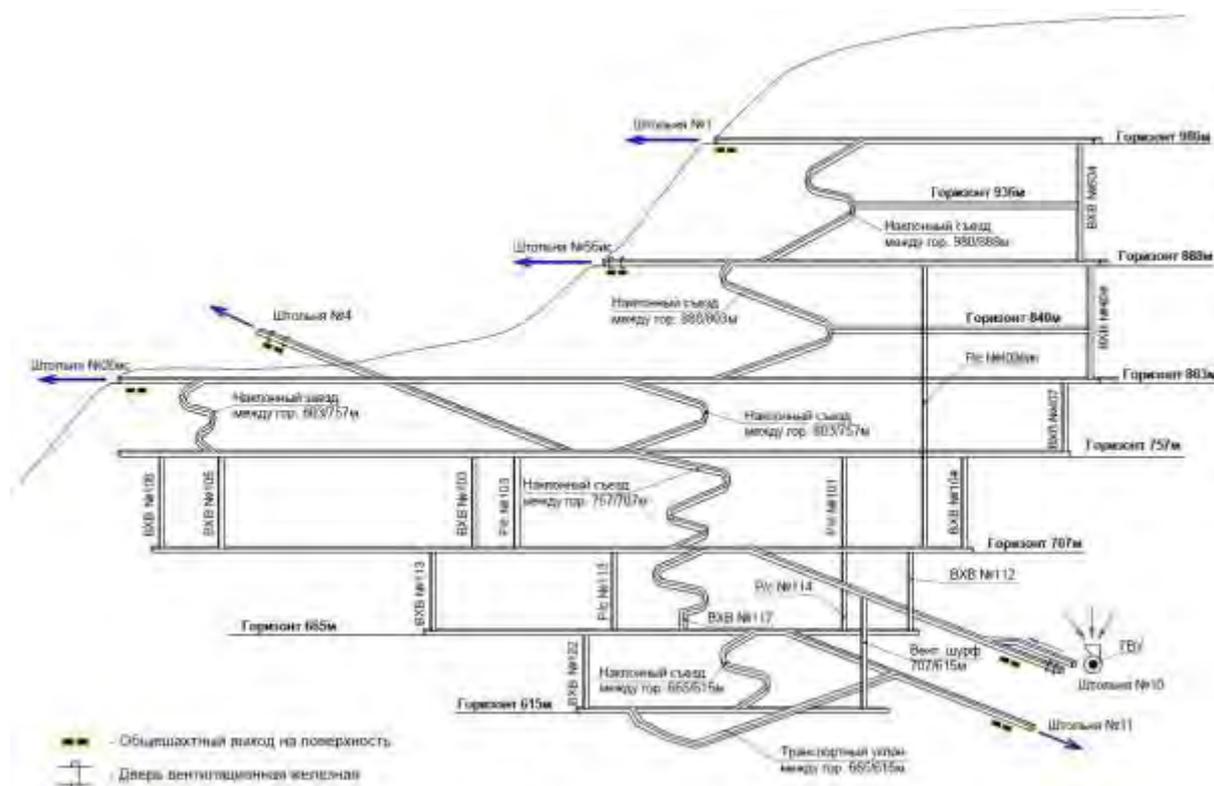


Рис. 1. Принципиальная схема вскрытия рудника

На горно-проходческих и очистных работах применяется современное малогабаритное высокопроизводительное самоходное оборудование фирмы «Atlas Copco» – буровые установки Boomer, буровые станки Simba и ПДМ Scooptram. Многолетний опыт применения подэтажных штреков (ПШ), подэтажного обрушения (ПО) и системы с магазинированием (СМ) руды, предопределил их дальнейшую реализацию и для маломощных рудных тел. Параметры систем определяются для каждого конкретного рудного тела, основным ограничением при отработке рудных тел системой ПШ является устойчивая площадь обнажения всяческого бока равная 1500-2000 м<sup>2</sup>. Для ПШ и ПО разработана единая схема подготовки добычных блоков, что позволяет в случае снижения устойчивости обнажений вмещающих пород оперативно и без лишних затрат переходить от одной системы к другой [1-4].

Для отработки рудных тел мощностью более 3 м с углом падения  $\alpha \geq 45^\circ$  при устойчивых рудах и вмещающих породах применяется система ПШ. При отработке рудных тел значительных размеров или граничащих с ранее отработанными запасами система имеет классический вид с ограничением блока междуэтажными (МЭЦ) и междуканнерными целиками (МКЦ). Для отработки локальных рудных тел, в рамках допустимых обнажений, образование целиков не требуется (рис. 2). Высота подэтажа – 10 - 14 м; длина камеры – 50м (средняя); высота камеры – 30м (средняя), равна высоте рудного тела; ширина – 4,1м (средняя), равна мощности рудного тела; толщина МКЦ и МЭЦ – 10-12м.

Отработка начинается с формирования отрезной щели в центре блока. Отбойку камерных запасов ведут секциями по два-четыре веера на открытое очистное пространство и с опережением верхних подэтажей по отношению к нижним. Это позволяет производить торцевой выпуск руды на подэтажах, но основная часть руды выпускается через траншейное днище из погрузочных заездов с помощью ПДМ. После выемки запасов камеры необходимо произвести погашение образовавшейся пустоты путем подрыва вмещающих пород, предпочтительно всяческого бока.

Для отработки рудных тел залегающих в неустойчивых вмещающих породах применяется система ПО. Технология очистной выемки заключается в отбойке руды вертикальными слоями с помощью вееров скважин диаметром 65мм на зажатую среду и последующем выпуском отбитого слоя руды через торец буро-доставочного штрека с помощью ПДМ. При выемке рудных тел с углом падения  $< 45^\circ$  применяется вариант системы ПО с уменьшенной до 5-6м высотой подэтажа. Буро-доставочный штрек при этом смещается в сторону лежачего бока для оформления подсечки. При отработке слепых рудных тел в верхнем подэтаже предусмотрен перебур скважин в породы всяческого бока для подрыва объема, обеспечивающего заполнение пустот после выпуска отбитой руды (рис. 3). Высота подэтажа – 5 - 12,5 м; длина добычного блока – 50м (средняя); высота добычного блока – определяется конструктивно; ширина – равна мощности рудного тела.

Для отработки тонких и маломощных ( $m < 3м$ ) крутопадающих ( $\alpha \geq 45^\circ$ ) рудных тел при устойчивых рудах и вмещающих породах применяется СМ [5, 6]. Очистная выемка блока осуществляется слоями высотой 2м снизу вверх с применением мелкошпуровой отбойки на открытое очистное пространство. По мере отбойки руды производят выпуск ее из магазина, в количестве определяемой величиной свободного прохода людей и размещения бурового оборудования. Особенностью применения СМ при отработке локальных рудных тел является отказ от рудных целиков у ВХВ. По мере отбойки запасов блока нижняя часть ВХВ погашается, доступ людей и свежей струи в очистное пространство осуществляется с вышележащего горизонта. Образовавшаяся после выемки запасов блока пустота должна быть погашена путем обрушения вмещающих

пород или заполнением пустыми породами. Высота этажей – 40 - 50м; длина добычного блока – 30м (средняя); высота добычного блока – 30м (средняя); ширина добычного блока – 1,8м, равна мощности рудного тела. Доля применения СМ не более 2 %.

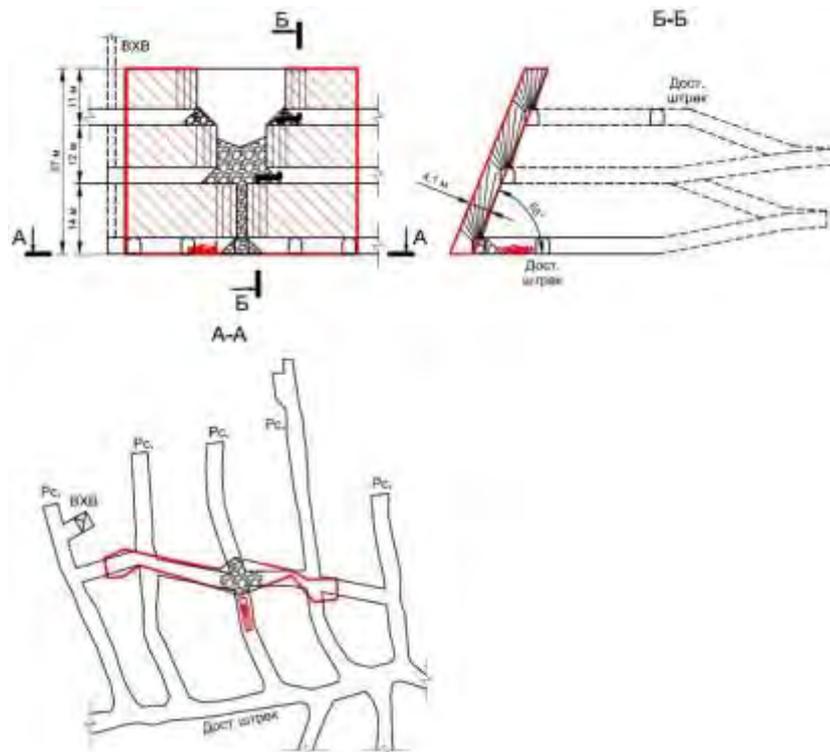


Рис. 2. Система разработки ПШ локальных рудных тел

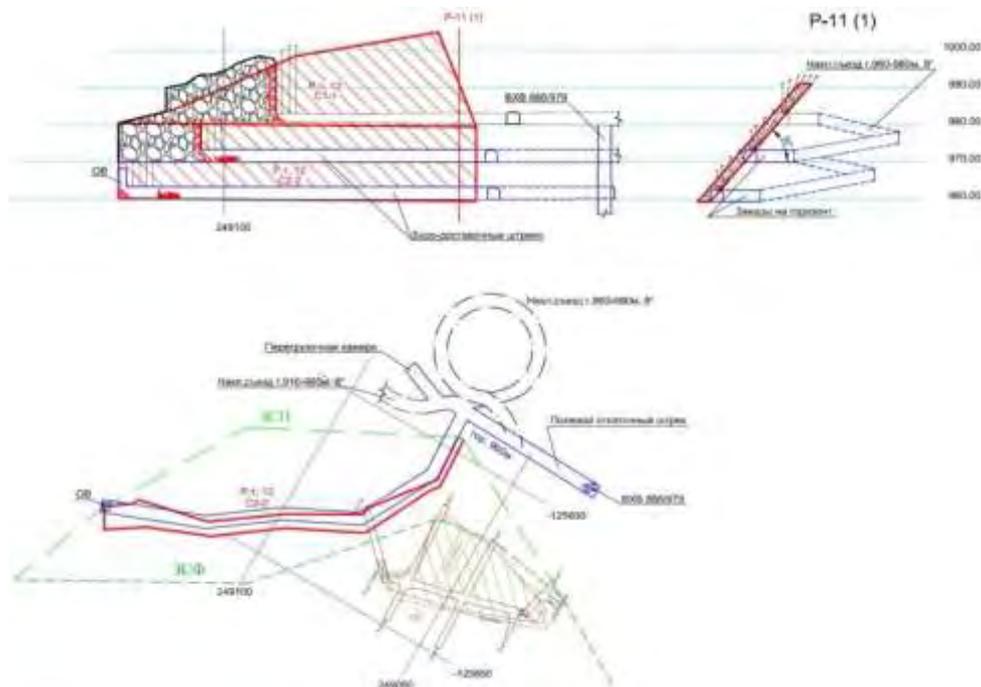
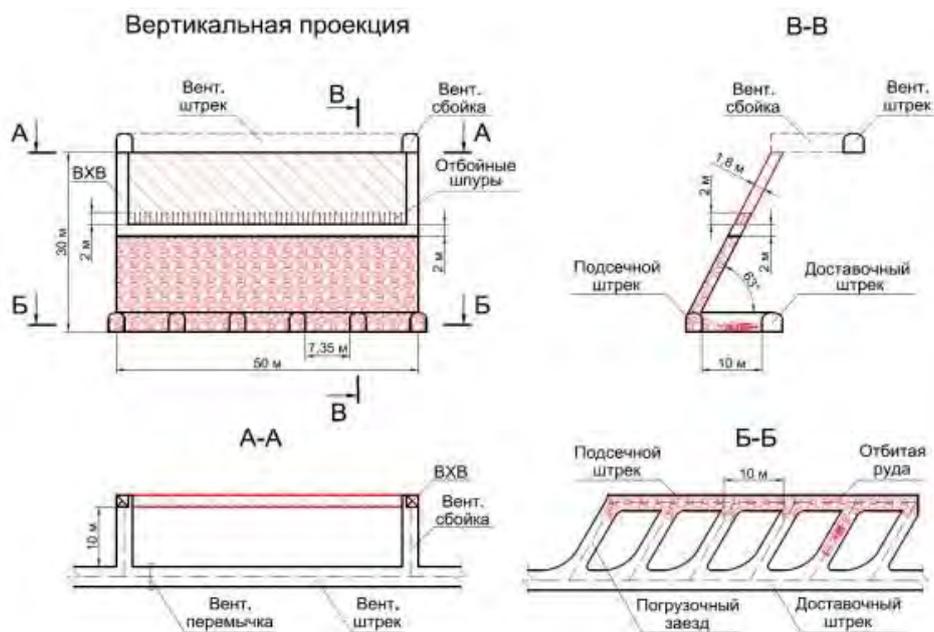


Рис. 3. Система разработки ПО слепых рудных тел



**Рис. 4. Система разработки с магазинированием руды**  
Показатели извлечения по каждой системе приведены в таблице.

#### Показатели извлечения по системам разработки

| Система разработки                         | Потери | Разубоживание |
|--|--------|---------------|
|  | %      | %             |
| Подэтажные штреки                          | 6,81   | 13,43         |
| Подэтажное обрушение                       | 11,78  | 42,13         |
| Система разработки с магазинированием руды | 9,95   | 32,69         |

#### Выводы

Принятые технические решения для отработки вновь введенных в эксплуатацию удаленных маломощных рудных тел обеспечивают своевременный и эффективный доступ ко всем обрабатываемым запасам месторождения, оптимальное проветривание горных работ, рациональный транспорт руды и породы из проходческих и очистных забоев на поверхность. Поддержание производственной мощности подземного рудника обеспечивается первоочередной отработкой более подготовленных к выемке запасов и применения зарекомендованных на руднике систем разработки с оптимальными конструкциями и параметрами.

*Исследования выполнены при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН (Проект 18-5-5-10).*

#### Список литературы

1. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В., Рожков А.А. Изыскание подземной геотехнологии при переходе к освоению глубокозалегающих запасов наклонного медноколчеданного месторождения // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – №2. – С. 47-53.
2. Технология разработки золоторудных месторождений / В.П. Неганов [и др.]; под ред. В.П. Неганова. – М.: Недра, 1995. – 336 с.

3. Глотов В.В. Технология разработки мелких жильных месторождений с изменчивой мощностью // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – Т.1. №12. – С. 70-74.

4. De Beer C.J. Mining an open pit over and through old sub-level caving operations at Kwagashoek East Open Pit, Thabazimbi Iron Ore Mine // International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering Situations. The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2014. P. 547–556.

5. Необутов Г.П., Петров Д.Н., Никулин Е.В. Оценка изменения тенденций развития технологии разработки жильных месторождений криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Т.4. №12. – С. 14-22.

6. Павлов А.М., Сосновская Е.Л. Обоснование параметров геотехнологий выемки целиков крутопадающих жильных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – №3. – С. 15-19.

УДК 62-83:621.69

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

ЭШМУРОДОВ З. О.<sup>1</sup>, ШЕРМУРОВОВА М. Ф.<sup>1</sup>, ХОЛБОВЕВ Г. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Навоийский государственный горный институт

<sup>2</sup>Навоийский горно-металлургический комбинат

**Аннотация.** В статье анализирован систем управления электроприводами действующего шахтные подъемные машины горнорудных комплексов показал что, одним из основных путей повышения энергоэффективности шахтных подъемных машин является целесообразность применение системой автоматизированного управления шахтной подъемной машиной построенной на базе современных программируемых логических контроллеров, и обеспечивающей высокий уровень безопасности и надежности работы подъемной установки.

**Ключевые слова:** электропривод, подъемно-транспортные машины, шахтные подъемные машины, система управления, частотный преобразователь, энергоэффективность, генераторные торможения, рекуперировать, электроэнергия, регулирования, программируемые логические контроллеры, подъемный сосуд.

## MODERNIZATION OF CONTROL SYSTEMS ELECTRIC DRIVES OF MINE LIFTING MACHINES

ESHMURODOV Z. O.<sup>1</sup>, SHERMURODOVA M. F.<sup>1</sup>, HOLBOEV G. O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Navoi State Mining Institute

<sup>2</sup>Navoi Mining and Metallurgical Combine

**Abstract.** The analysis of control systems of electric drives of operating mine hoisting machines of mining complexes has shown that one of the main ways to increase the energy efficiency of mine hoisting machines is the expediency of using the automated control system of a mine hoisting machine built on the basis of modern programmable logic controllers and ensuring a high level of safety and reliability of the lifting system.

**Keywords:** electric drive, hoisting and transport machines, mine hoisting machines, control system, frequency converter, energy efficiency, generator braking, recover, electric power, regulation, programmable logic controllers, lifting vessel.

Электрооборудование подъемно транспортных машин (ПТМ) работает в сложных условиях, связанных с запыленностью воздуха, вибрациями, в ряде случаев с высокой температурой и повышенной влажностью. Режим работы систем электропривода интенсивный повторно-кратковременный с частыми пусками, реверсами и торможениями. В настоящее время во многих шахтах горнорудных комплексов применяются системы электропривода, выполненные на базе асинхронного двигателя с фазным ротором (АД ФР).

Проведенный анализ действующего электрооборудования горнорудных комплексов показал довольно широкое применение асинхронных двигателей с фазным ротором (АДФР) для мощных (более 300 кВт) механизмов с тяжелыми условиями пуска (ЭП подъемно-транспортных механизмов, ЭП конвейеров и пр.). На сегодняшний день управление производственным процессом на основе данных электромеханических систем осуществляется путем введения в цепь ротора двигателя добавочных активных сопротивлений. Такой способ регулирования в наше время себя исчерпал в силу энергетической неэффективности.

Шахтные подъемные машины (ШПМ) являются одними из основных потребителей электроэнергии на шахте. Даже небольшое относительное снижение их энергопотребления дает значительную экономию энергоресурсов. Например, для шахтных подъемных установок (ШПУ) с приводом мощностью 2000 кВт снижение энергопотребления на 1 % дает абсолютную годовую экономию порядка 80-120 тыс. кВт·час [1].

Одним из основных путей повышения энергоэффективности снижение энергопотребления ШПМ является внедрение преобразователя частоты и системы управления электроприводом ШПМ, которые в совокупности позволяют рекуперировать электроэнергию в питающую сеть в режиме генераторного торможения.

В настоящее время существует ряд таких систем электропривода ШПМ, обеспечивающих рекуперацию электрической энергии в питающую сеть. При этом эффективность работы электропривода ШПМ в таком режиме определяется функциональными возможностями частотного преобразователя, алгоритмом его управления, системой управления скоростью сосудов ШПМ и точностью настройки регуляторов системы управления.

На сегодняшний день, идет процесс перехода от старых систем управления на более совершенные. Так как основными потребителями электроэнергии в промышленности являются электроприводы, то этот процесс приобретает актуальную научную задачу.

Регулируемые электроприводы переменного тока на базе преобразователей частоты оттеснили существующие системы управления почти во всех отраслях. Ведущие производители промышленного оборудования широко применяют такие системы в подъемно-транспортных механизмах [2].

Таким образом, задача разработки и исследования энергосберегающего электропривода ШПМ, работающего в режиме генераторного торможения с возможностью рекуперации электроэнергии, являются актуальной.

Анализ режимов работы электроприводов ШПМ показали, что в режиме рекуперативного торможения использование известных структур не обеспечивает энергоэффективность, так как потенциальная энергия спуска концевой нагрузки не передается в питающую сеть, а рассеивается в блоках тормозных сопротивлений.

Для электропривода шахтного подъема целесообразно применять двухзвенный преобразователь частоты со звеном рекуперации электроэнергии, позволяющий в режиме рекуперативного торможения при спуске грузов возвращать энергию торможения в питающую сеть. Преобразователи частоты, построенные таким образом, оказываются наиболее перспективными с точки зрения энергоэффективности и точности управления

С учетом особенностей эксплуатации при создании алгоритмов и систем управления электроприводом шахтных подъемных машин необходимо выполнить ряд требований: обеспечить плавный пуск и ограничить кратковременные ускорения, создать повышенный пусковой момент, обеспечить минимально возможное время пуска и остановки.

Для шахтных подъемных машин целесообразно применение системой автоматизированного управления шахтной подъемной машиной (САУШПМ) построенной на базе современных программируемых логических контроллеров (ПЛК), и обеспечивающей высокий уровень безопасности и надежности работы подъемной установки.

САУШПМ состоит из двух объединенных шинами связи каналов. Каждый из каналов представляет собой независимый ПЛК с подключёнными устройствами ввода-вывода сигналов, датчиками и органами управления. При выполнении программы управления ПЛК анализирует сигналы от датчиков и органов управления, и формирует сигналы управления оборудованием подъемной установки. Для реализации концепции двухканальности, контроль критических параметров работы подъемной установки осуществляется обоими каналами при помощи удвоенного набора датчиков. При этом сигналы, полученные от датчиков, а также управляющие сигналы, сформированные в первом и втором канале, подвергаются контролю эквивалентности. Таким образом, выполняется контроль исправности обоих каналов САУШПМ.

В САУШПМ применяются ПЛК разных моделей одного семейства. Это позволяет реализовать защиту от ошибочного выполнения управляющей программы, связанного с ошибками в системном программном обеспечении или с аппаратной неисправностью ПЛК. В этом случае возникает рассогласование управляющих сигналов, что подпрограмма контроля эквивалентности распознает как ошибку.

Особенностью предлагаемой системы технологической автоматизации является применение ПЛК Simatic S7-1500. Применение в ПЛК семейства Simatic S7-400, которые на сегодняшний день являются морально устаревшими в процессе эксплуатации ШПМ.

В состав САУШПМ входят следующие устройства:

- шкаф управления подъемом (ШУП) в котором размещены ПЛК канала А, ПЛК канала В, и регистратор параметров;
- щит вспомогательных приводов (ЩВ), в котором размещена пусковая и защитная аппаратура и источники бесперебойного питания;
- станция ввода-вывода (СВВ) для подключения датчиков и исполнительных механизмов, расположенных в машинном зале;
- пульт машиниста шахтного подъема (ПМ) с интегрированной в него видеотерминальной станцией (ВТС);
- инженерная станция (ИС);

Для получения текущих параметров подъемной установки к системе управления подключен комплект датчиков, включающий:

- установленные на валу подъемной машины импульсные датчики;
- установленные в стволе путевые датчики;
- установленные в обмотках двигателя и силовых трансформаторов, а также в опорах подшипников датчики температуры.

САУШПМ выполняет управление следующими системами подъемной машины:

- системой привода;
- системой управления тормозом;
- автоматизированной системой стволовой сигнализации и связи;
- комплектным распределительным устройством.

Кроме того, САУШПМ может обмениваться информацией с автоматизированной системой диспетчерского управления (АСОДУ).

Взаимодействие между устройствами САУШПМ, а также с внешними по отношению к ней устройствами, осуществляется как по локальным промышленным сетям Profinet и Profibus DP, так и по физическим линиям.

Управление устройствами и исполнительными механизмами (включение пускателей щитавспомприводов, управление механизмом расцепления барабанов и т.д.) а также передачу управляющих сигналов в привод, высоковольтное распредустройство и т.д. осуществляет канал А. Однако это происходит после прохождения контроля эквивалентности управляющих сигналов, которые формируются в канале А и канале В независимо друг от друга.

Важнейшим вопросом при разработке системы управления скорости сосудов ШПМ является выбор рациональной структурной схемы САУ. САУ ШПМ, как правило, строятся по двухконтурной или трехконтурной системе подчиненного регулирования, с внешним контуром регулирования скорости и внутренними контурами регулирования тока (момента), напряжения. В трехконтурных системах в случае появления погрешности по пути в период замедления ШПМ дополнительно подключают четвертый контур регулирования положения сосудов ШПМ [3].

Анализ САУ ШПМ проводят в следующей последовательности: выполняется оценка постоянных времени путем их разделения на группы с малыми и большими постоянными временами; находятся характеристические уравнения и выбираются типы регуляторов; выбираются контуры регулирования в связи с выдвигаемыми технологическими задачами. Выбор типа внутренних регуляторов системы управления (например регулятор тока) зависит от определенных требований. Если ставится задача компенсации постоянной времени (якоря двигателя или генератора), то применяется пропорционально – интегральный (ПИ) регулятор тока. Если требуется ограничение темпов нарастания тока (якорного или тока возбудителя генератора), то должен быть применен пропорционально – интегрально – дифференциальный (ПИД) регулятор тока.

При выборе структурной схемы САУ контуров регулирования нужно учитывать следующие технологические требования [4]: требование обеспечения программирования движения – определяет необходимость применения либо задатчика интенсивности с изменяющимися темпами нарастания напряжения на выходе при подаче путевых импульсов, либо устройства программирования скорости по пути; требование выполнения оптимальной диаграммы движения, уменьшение динамических ошибок регулирования – определяет необходимость осуществления в САУ компенсации больших постоянных времени; требование обеспечения высокой статической точности регулирования скорости – определяет необходимость применения двухкратноинтегрирующих систем.

САУШПМ позволяет гибко конфигурировать тахограммы движения под конкретные условия вола с учетом количества горизонтов, ограничения скорости прохождения промежуточных горизонтов и т.д. Для каждого режима работы («Груз», «Люди», «Ревизия» «Негабарит» «Перестановка» и др. ) может быть сформирована отдельная тахограмма движения.

САУШПМ определяет текущее положение подъемных сосудов посчитывая количество импульсов, полученное от инкрементальных энкодеров, механически связанных с валом подъемной машины. Для минимизации погрешности, вызванной растяжением канатов, а также с целью исключения накопления погрешности в процессе работы, значения счетчика положения корректируются каждый цикл подъема при срабатывании магнитного выключателя синхронизации, установленного в стволе и срабатывающего каждый раз, когда мимо него проезжает подъемный сосуд.

По результатам проведенного анализа современных электроприводов ШПМ сделаны следующие выводы: электропривода целесообразно построить на базе тиристорными преобразователями частоты (ПЧ) Siemens SINAMICSS150. ПЧ имеют модульную конструкцию, позволяющую гибко конфигурировать преобразователь. Предлагаемые ПЧ состоят из активных модулей питания, обеспечивающих передачу энергии в промежуточный контур (звено постоянного тока) и рекуперацию энергии при работе двигателя в генераторном режиме, и модулей двигателя, обеспечивающих четырехквadrантное векторное управление двигателем. Активные модули питания обеспечивает регулируемое постоянное напряжение, которое остаётся неизменным при изменении напряжения питающей сети в пределах разрешенных допусков, кроме того активные сетевые модули потребляют из сети почти синусоидальный ток и практически не оказывают негативных влияний на питающую сеть.

Таким образом, система автоматизированного управления шахтной подъемной машиной (САУШПМ) является комплексным энергосберегающим устройством, который может быть использован в составе системы электропривода ШПМ.

### Список литературы

1. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И. Я. Браславский и другие. – М.: Академия, 2004. – 256 с.
2. SINAMICS-LOW Voltage Engineering Manual. Ver. 6.4. pp. 528. November 2015. [Электронный документ]. Режим доступа: <http://w3app.siemens.com/mcims/infocentr/dokumenttencentr/Id/InfocntrLanguagePacks/sinamics-projektierungshandbuch-IV/sinamics-engineering-manual-1v-en.pdf>. - 10.03.2016.
3. Пугачёв, Е. В. Обзор рынка частотно – регулируемых электроприводов со звеном рекуперации электроэнергии в питающую сеть / Е. В. Пугачёв, П. Р. Нусратов, В. С. Иванов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. – Новокузнецк: Изд. СибГИУ, 2014. – №1. – С. 188-193.
4. Применение электроприводов постоянного и переменного тока в шахтной подъемной установке. [Электронный документ]. Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2005/eltf/ostroukhov/library/7.rtf>. – 2.04.2016.

УДК 622.242

## ЗАКЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ НА СТРОЯЩЕМСЯ «ЮБИЛЕЙНОМ» ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ

МАНИН А. А., ЕГОРОВ М. А., ПОЛУЛЯХ А. И.  
ОАО «Уралмеханобр»

**Аннотация.** Предлагаемая статья содержит основные требования к приготовлению закладочных смесей, технологические схемы и параметры их приготовления, рекомендации по оборудованию при отработке подземным способом запасов руды месторождения «Юбилейное». Для условий Юбилейного месторождения проведены исследования составов закладочных смесей с использованием песков и пород фракции 0-5 мм, 0-10 мм. Проведён анализ и сравнение полученных результатов.

**Ключевые слова:** закладочные работы, граншлаки, пески.

BACKFILL WORKS ON THE BUILDING YUBILEYNOYE UNDERGROUND MINE

**Abstract.** The proposed article contains the basic requirements for the preparation of filling mixes, technological schemes and parameters for their preparation, recommendations on equipment for underground mining of ore reserves of the «Yubileynoye» field. For the conditions of the «Yubileynoye» field, studies were made of the compositions of filling mixtures using sands and rocks of fraction 0-5 mm, 0-10 mm. The analysis and comparison of the obtained results is carried out.

**Keywords:** backfill works, granslags, sands.

При отработке Юбилейного месторождения подземным способом предусматривается отработать запасы Четвертой, Пятой и Шестой залежей, а также доработать запасы Первой и Второй залежей, оставшихся за контуром карьера.

Для отработки рудных залежей Юбилейного месторождения принята система разработки с камерной выемкой и закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Промышленные запасы руды, подлежащей подземной отработке по IV и V залежи Юбилейного месторождения, составляют 12,025 млн. т, годовая производительности 600 тыс. т. Была поставлена задача рассмотрения варианта приготовления закладочной смеси, требующего меньших капитальных вложений - без помола материалов (т.е. без установки мельницы).

Принятые технические решения (использование в качестве заполнителя скальных и полускальных вскрышных пород фракций 0-10 и 0-5 мм и исключение из технологической линии мельницы) не гарантировали получения связных пластичных смесей. При недостатке в заполнителе мелких и дисперсных фракций смеси получались несвязными, расслаивающимися. Транспортирование таких смесей по трубопроводу возможно только сжатым воздухом. Было принято решение проверить составы с использованием добавки песков в качестве мелкого заполнителя.

При подборе составов твердеющей закладки руководствовались основными требованиями, предъявляемыми к реологическим свойствам закладочных смесей:

- смесь должна быть связной, то есть не расслаивающейся при движении по трубопроводу и укладке в выработанное пространство, и создавать однородный закладочный массив;

- угол растекания закладочной смеси должен составлять  $5 \pm 2$  град.

Связность смеси и её растекаемость зависят от нескольких факторов, к которым относятся: водоудерживающая способность компонентов смеси, их гранулометрический состав, содержание тонких фракций ( $-0,074$  мм), количество воды в составе смеси. Эти показатели зависят от конкретных свойств материалов, главным образом заполнителя.

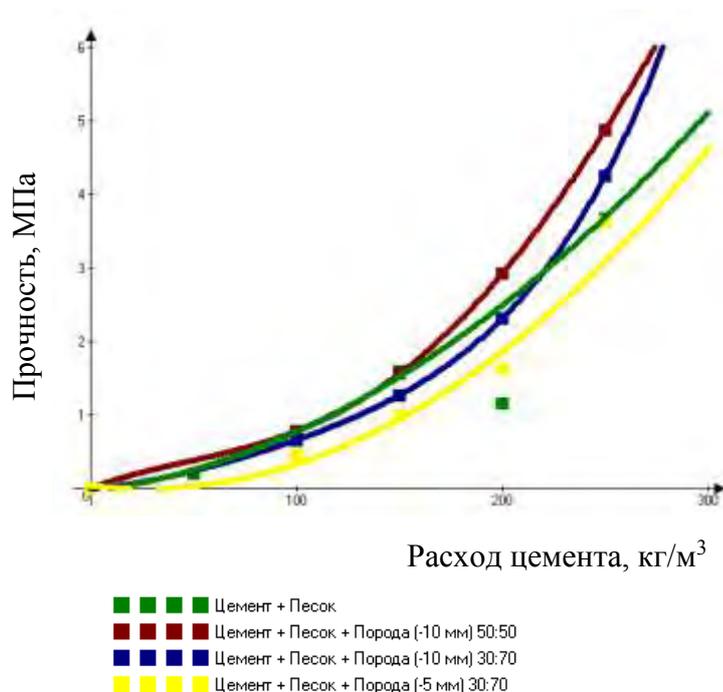
У приготовленных смесей определяли плотность и растекаемость. Растекаемость смеси определяли по следующей методике. На ровную поверхность устанавливается полый металлический цилиндр (диаметр 55 мм, высота 100 мм), в который вровень с краями помещается закладочная смесь. Затем цилиндр снимается в вертикальном направлении, смесь растекается по поверхности в виде круга. Производится измерение его диаметра и высоты в центре, затем вычисляется угол растекания.

Проведены испытания на прочность подобранных составов закладочных смесей в возрасте твердения 90 суток. По результатам испытаний построены зависимости прочности закладочной смеси в 90 суток при различном количестве цемента и различном заполнителе (рис. 1).

По результатам проведенных исследований средний расход цемента на достижение прочностей 1,0; 3,0; 5,0 МПа в возрасте 90 суток приведен в табл. 1.

**Таблица 1 – Расход цемента (кг/м<sup>3</sup>) для требуемой прочности на различных заполнителях в возрасте 90 суток**

| Заполнитель                          | На прочность 1,0 МПа | На прочность 3,0 МПа | На прочность 5,0 МПа |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Песок                                | 120                  | 220                  | 295                  |
| Порода (фр. - 10 мм) и песок (50:50) | 120                  | 205                  | 255                  |
| Порода (фр. - 10 мм) и песок (70:30) | 130                  | 220                  | 265                  |
| Порода (фр. - 5 мм) и песок (70:30)  | 155                  | 245                  | 310                  |



**Рис. 1. Зависимость прочности закладочной смеси в 90 суток при различном количестве цемента и различном заполнителе**

годно будет образовываться примерно 150 тыс. м<sup>3</sup> выработанного пространства, подлежащего заполнению твердеющими смесями.

Часовая потребность в закладке (Π) составит:

$$\Pi = \frac{Q}{t} = \frac{160000}{350 \cdot 0,85 \cdot 15} = 35 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где Q – годовая производительность закладочного комплекса, м<sup>3</sup>;

t – время работы закладочного комплекса в году, ч.

Закладочные работы на подземном руднике ООО «Башкирская медь» велись в напряжённом режиме. Использование при приготовлении закладочных смесей бетоносмесительной установки Cobra (циклического действия) (рис. 2) и жёстких закладоч-

На начальном этапе ведения закладочных работ руководством ООО «Башмедь» было принято решение о проведении опытно-промышленных испытаний закладочной смеси следующего состава: цемент ШПЦ 400 – 270 кг/м<sup>3</sup>; щебень фракции 0-5 мм – 1100 кг/м<sup>3</sup>; вода 600 л на нормативную прочность 5 МПа.

Для обеспечения потребности закладочной смеси на переходный период использовалась имеющаяся на промплощадке строящегося рудника бетоносмесительная установка БСУ1000 и смонтированная установка Cobra С40.

При отработке 4 и 5 рудного тела объем добычи составит 600 тыс. т в год. При средней плотности руды 4 т/м<sup>3</sup> еже-

ных смесей, периодические закупорки трубопровода, а также отсутствие накопительной ёмкости перед подачей смеси в скважину не позволяло организовать ритмичную и непрерывную подачу закладочных смесей в шахту.

**БСУ М-1000**



**Cobra C40**



**Рис. 2. Бетоносмесительные установки**

Применяемый состав закладочной смеси характеризовался наличием в нём лишней воды, но, в то же время лишняя вода улучшала транспортабельность смеси по трубам. Негативным проявлением наличия лишней воды является то, что при укладке смеси в выработанное пространство усадка смеси за счёт водоотделения достигала 23 %. Таким образом, улучшая транспортировку смеси и снижая риск закупорки трубопровода, в конечном итоге, увеличивался расход материалов для заполнения выработанного пространства.

Излишнее количество воды отрицательно действует на структуру и время упрочнения массива. Избыток воды повышает пористость искусственного массива, снижает его прочностные свойства и увеличивает его компрессию при давлении сверху.

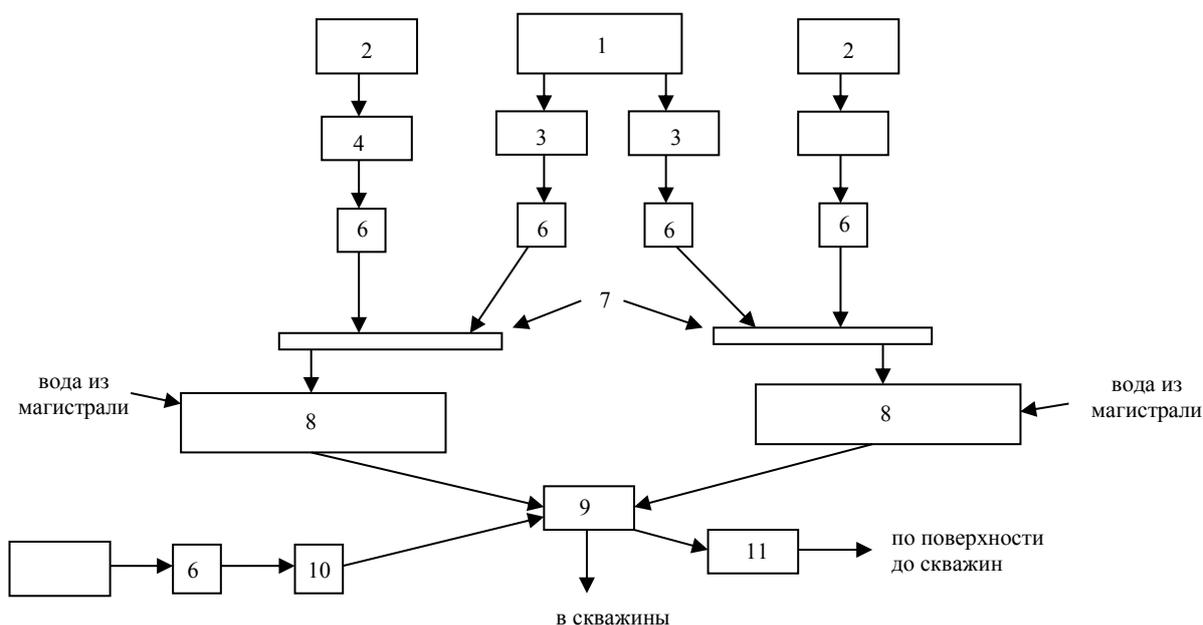
В связи с использованием бетоносмесительной установки циклического действия нарушаются основные требования к приготовлению и транспортированию закладочных смесей, с вытекающими трудностями и проблемами.

Для улучшения реологических свойств смеси требуется добавка тонкодисперсного материала - песков, хвостов обогащения либо низкомарочного цемента или тонкомолотого шлака.

В результате исследований установлено, что использование отвальных песков в качестве дополнительного заполнителя в составах закладочных смесей позволяет получить связные, нерасслаивающиеся смеси, пригодные для транспортирования самотёком (угол распыла 5-7 %).

Проектом предусмотрена отработка системами с твердеющей закладкой VI рудного тела, а также IV и V рудных тел, при этом общий объём добычи с них составит 3,6 млн. т в год. При средней плотности руды 4,44 т/м<sup>3</sup> ежегодно будет образовываться примерно 810 тыс. м<sup>3</sup> выработанного пространства, подлежащего заполнению твердеющими смесями.

При отработке IV и V рудных тел в 2018 году будет построен новый закладочный комплекс мельничного типа с часовой производительностью 170 м<sup>3</sup>/ч (рис. 3).



- 1 – площадка для заполнителя;
- 2 – площадка для доменного граншлака;
- 3 – расходные бункера заполнителя;
- 4 – расходные бункера доменного граншлака;
- 5 – расходный бункер цемента;
- 6 – дозаторы;
- 7 – ленточные конвейеры;
- 8 – мельницы;
- 9 – смеситель;
- 10 – скруббер;
- 11 – насос.

**Рис. 3. Технологическая схема приготовления закладочных смесей**

По результатам проведенных исследований средний расход цемента на достижение прочностей 1,0; 2,0; 3,0 и 4,0 МПа в возрасте 90 суток приведен в табл. 2.

**Таблица 2 – Расход цемента (кг/м<sup>3</sup>) для требуемой прочности на различных шлаках в возрасте 90 суток**

| Заполнитель                    | На прочность 1,0 МПа | На прочность 2,0 МПа | На прочность 3,0 МПа | На прочность 4,0 МПа |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Шлак Уральская сталь т. п. 45% | 25                   | 120                  | 160                  | 195                  |
| Шлак ММК т. п. 45%             | 20                   | 100                  | 150                  | 180                  |
| Шлак ММК т. п. 35%             | 30                   | 110                  | 165                  | 205                  |

### Список литературы

1. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме: «Разработка составов закладочных смесей с использованием отвальных песков при отработке 4 и 5-ой залежи Юбилейного месторождения». – Екатеринбург, ОАО «Уралмеханобр», 2014.

2. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме: «Подбор составов закладочных смесей и научное сопровождение закладочных работ на подземном руднике ООО «Башкирская медь». - Екатеринбург, ОАО «Уралмеханобр», 2016.

УДК 622.34

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, РАЗРАБОТАННЫХ ОТДЕЛОМ ГОРНОЙ НАУКИ ОАО «УРАЛМЕХАНОБР» НА РУДНИКАХ УГМК И АЛРОСА**

ТАНКОВ М. С.  
ОАО «Уралмеханобр»

*Аннотация.* В статье приведены два примера успешной реализации предложенных технологических решений на подземных рудниках.

*Ключевые слова:* геотехнология, камерная система разработки, прибортовые запасы, целик, кимберлит, “шахматный” порядок.

## **EXPERIENCE IN THE IMPLEMENTATION OF NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS, DEVELOPED BY THE DIVISION OF MINING SCIENCE, JSC "URALMEKHA NOBR" IN THE UNDERGROUND MINES OF UMMC AND ALROSA**

TANKOV M. S.  
JSC "Uralmekhanobr"

*Abstract.* The article presents two examples of successful implementation of the proposed technological solutions in underground mines.

*Keywords:* geotechnology, stoping mining method, ore on the side of the quarry, pillar, kimberlite, “chess” order.

Ухудшение горно-геологических и горнотехнических условий выемки запасов месторождений требует постоянного внедрения новых решений в области геотехнологии, позволяющих безопасно и эффективно обрабатывать как отдельные участки, так и целые месторождения.

Коллективом отдела горной науки института ОАО «Уралмеханобр» за последние годы наработан большой опыт внедрения нестандартных и передовых решений в области подземной геотехнологии. В данной статье представлены два примера успешной реализации предложенных решений, основанных на предварительных расчетах внедряемых элементов, комплексном подходе к проектированию участков внедрения, и научном сопровождении реализуемых проектов.

**Месторождение «Молодёжное» (ОАО «Учалинский ГОК», УГМК).**

В настоящее время на многих горнодобывающих предприятиях России и ближнего зарубежья сложилась ситуация, когда по окончании открытых работ, в прикарьерном пространстве остаются прибортовые запасы руды, и запасы, расположенные под дном карьера, отработка которых может производиться только из подземных горных

выработок. Для отработки прибортовых и придонных запасов необходимо разрабатывать специальную технологию выемки руды, которая во многих случаях отличается от технологий, принятой на рудниках.

Месторождение «Молодёжное» (ОАО «Учалинский ГОК», УГМК) на первой стадии отрабатывались карьером. На сегодня выемка оставшихся запасов месторождения ведётся подземным способом с применением самоходного оборудования. Основной системой при выемке запасов месторождения является камерная система разработки с твердеющей закладкой.

В соответствии с проектом, для изоляции подземных горных работ от карьера, в его восточном борту был оставлен разделительный рудный целик. Вертикальная мощность его придонной части была порядка 10 метров; горизонтальная мощность прибортового участка целика изменялась от 40 метров в основании до полной выклинки у борта карьера. Общая протяженность участка с юга на север вдоль восточного борта карьера составляла около 135 м.

Согласно основного проекта на доработку запасов Молодежного месторождения, выемка запасов разделительного рудного целика, расположенного в дне и борту карьера предполагалась на конечной стадии отработки месторождения подземным способом с применением системы поэтажного обрушения с обязательной предварительной пригрузкой обрабатываемых запасов породной вскрышей.

В условиях значительного сокращения рудных площадей, для обеспечения плановой годовой производительности по добыче руды на месторождении, возникла необходимость в решении вопроса по отработке запасов разделительного рудного целика на более ранней стадии. Отделом горной науки института ОАО «Уралмеханобр» была предложена технология выемки запасов, основанная на предварительном создании вдоль рудной части борта карьера комбинированного целика, который позволил бы отработать прибортовые запасы вариантом камерной системы разработки с закладкой.

Отработку разделительного рудного целика было решено производить в две стадии:

- первая стадия – отработка придонных запасов целика;
- вторая стадия – отработка прибортовых запасов целика.

#### **Первая стадия**

Перед началом работ по отработке придонного разделительного целика была произведена отгрузка породной насыпи со дна карьера (высота пригрузки в среднем составляла 20 м).

Выемка непосредственно придонных запасов осуществлялась единой камерой (см. рис. 1). Проведённая оценка устойчивости борта показала, что он находится в предельном состоянии. По расчётам, отработка запасов в дне карьера будет сопровождаться снижением устойчивости борта до  $K.З.У = 1,0 \div 1,1$ . Поэтому для ограничения влияния временного фактора на устойчивость борта отработка запасов в дне карьера и последующая пригрузка была произведена в течение 6 месяцев. Обратная пригрузка борта обеспечивает его устойчивость согласно нормативным значениям  $K.З.У: 1.2 \div 1.3$ .

После полной отработки придонного целика была произведена закладка отработанного участка твердеющей смесью.



**Рис. 1. Отработка придонных запасов**

### **Вторая стадия**

Перед началом отработки прибортовых запасов, вдоль рудной части борта карьера возводился комбинированный искусственный целик, состоящий из твердеющей закладки, расположенной непосредственно вдоль борта, и породной скальной отсыпки, играющей роль опалубки (см. рис. 2).

Формирование этого целика заключалось в следующем: сначала западный борт обрабатываемого участка пригружается породной насыпью высотой в среднем около 5 метров, затем сформировавшаяся между породой и восточным бортом «чаша» шириной 15-20 метров заполняется твердеющей закладкой. Формирование целика осуществляется в восходящем порядке «ступенями» высотой по 5 метров.

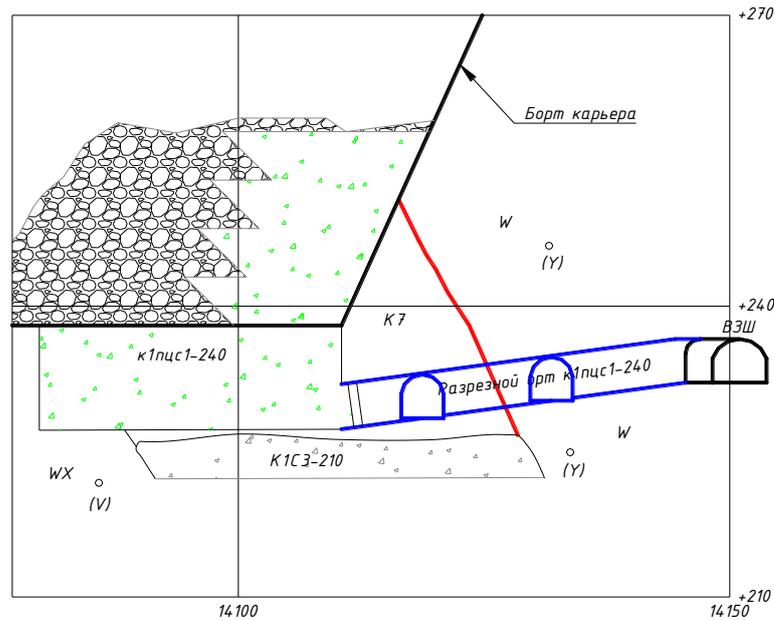
Применение такого комбинированного целика позволяет значительно сократить объёмы закладочной смеси. Сам искусственный комбинированный целик является не поддерживающей, а ограждающей конструкцией, при этом не требуется высоких требований к его массиву.

Отработка прибортовых запасов была начата после оформления комбинированной закладки борта карьера.

Рудное тело в пределах прибортовой части целика было разделено на камеры, примыкающие торцом (короткой стороной) к возведённому вдоль восточного борта карьера закладочному массиву. Отработка прибортовых запасов производилась в сплошном порядке от центра к флангам и осуществлялась камерной системой разработки с последующей закладкой отработанных камер твердеющей смесью.

Полная выемка всех запасов целика, включая время на возведение комбинированного целика, заняла порядка 2-х лет. Объем добытой руды с опытного участка в борту карьера составил порядка 300 тыс. т. Фактические качественные показатели выемки руды составили: потери – 6,5%, разубоживание – 9,6%.

Основными результатами предложенной технологии отработки разделительного рудного целика на месторождении «Молодежное» стали: отработка его запасов с низкими показателями потерь и разубоживания; сохранение устойчивости восточного борта карьера, устойчивость конструктивных элементов системы разработки на всех стадиях выемки с учетом существующих повышенных горизонтальных напряжений.



**Рис. 2. Схема формирования комбинированного целика**

Результаты проведенных опытных работ доказали, что предложенная технология отработки позволяет более безопасно, эффективно и с наименьшими потерями и разубоживанием отработать запасы разделительного рудного целика, и данная технология может с успехом быть применена на других месторождениях при отработке приконтурных запасов руды.

#### **Рудник «Айхал», АК «АЛРОСА»**

Для отработки рудных месторождений в сложных горно-геологических и горно-технических условиях (в частности неустойчивые руды и породы) специалистами отдела горной науки ОАО «Уралмеханобр» разработана новая перспективная технология выемки запасов, основанная на применении варианта камерной выемки с закладкой выработанного пространства и расположением камер относительно друг друга в так называемом «шахматном» порядке. «Шахматное» взаимное расположение камер позволяет вести выемку запасов руды камерами с максимально возможными геометрическими параметрами и при этом значительно снизить влияние горного давления на элементы системы разработки. Это достигается тем, что при формировании очистного пространства верхняя половина камеры располагается в закладочном массиве ранее отработанных камер, а нижняя половина камеры заглубляется в рудный массив.

Выемка запасов камер в блоке осуществляется в каменно-целиковом порядке отработки по схеме  $1_{-3-2-4}$ . Камеры 3-й и 4-й очередей заглублены относительно камер 1-й и 2-й очередей на половину их высоты.

Отработку камерных запасов начинают с камер 1-й и 2-й очередей. После их отработки и закладки твердеющими смесями приступают к выемке запасов камер 3-й и 4-й очередей.

Основываясь на разработках специалистов ОАО «Уралмеханобр», в части обоснования технологических схем камерной выемки руды был разработан и предложен к опытно-промышленным испытаниям **вариант камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства и выемкой камерных запасов в «шахматном» порядке** на руднике «Айхал» АК «АЛРОСА». До внедрения данной технологии основной системой разработки на руднике была слоевая система с закладкой, основными чертами которой являются низкая производительность и высокие трудозатраты.

Ранее проведенные исследования, а также опыт отработки уральских меднорудных месторождений показывает, что при формировании очистного пространства камеры на ее контуре происходит перераспределение горного давления и часть рудного массива на границе с очистным пространством камеры полностью разгружаются от воздействия горного давления. При этом прилегающие к очистному пространству рудные блоки при неблагоприятной (естественной) трещиноватости и слабых прочностных свойствах под воздействием собственного веса отслаиваются в очистную камеру. Образуется камера своей формой близкая к эллиптической. Углы разрыва массива, образующиеся в стенках обрабатываемых камер, формируются под углом порядка  $75^\circ$  относительно горизонтальной оси.

Устойчивая высота вертикальной стенки, представленной кимберлитом, по опыту ведения горных работ на руднике составляет 5 – 6 метров. Как известно, при наклоне стенок камер устойчивость такого наклонного обнажения возрастает. Если воспользоваться графиком зависимостей между высотой обнажения руд и его углом разрыва массива, то при наклоне обнажения под углом  $75^\circ$  и угле внутреннего трения кимберлитов равном 25 градусам, устойчивая высота обнажения увеличивается до 9-10 метров.

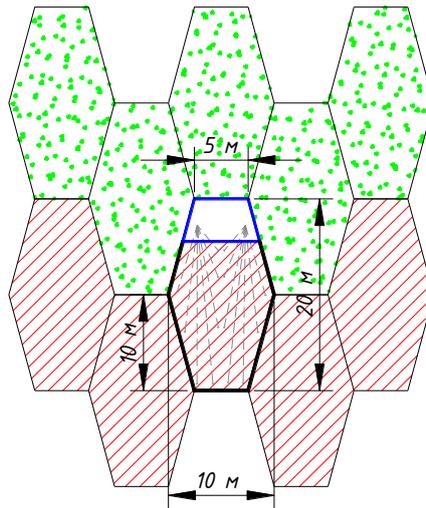
Следующим этапом развития «шахматной» выемки запасов для условий рудника «Айхал» стало формирование камер ромбовидной формы. При этом высота наклонного обнажения рудного массива уже на данной стадии горных работ (до проверки расчётов на практике) может быть увеличена до 10 метров, а общая высота камер может быть увеличена до 20 м.

В верхней части камеры формируются крутонаклонные (под углом  $75^\circ$ ) стенки, а также горизонтальное обнажение закладочного массива с пролётом около 5 метров. Устойчивость этих обнажений закладочного массива в верхней части очистного пространства камеры не вызывает опасений, так как геометрические параметры камер, а так же взаимное расположение закладки в трёх вышележащих заложенных камерах, примыкающих к очистному пространству формируют замковую конструкцию, в которой практически исключаются сдвиговые и срезающие деформации. Закладочный массив в этих трёх камерах в целом может быть представлен как арочная конструкция, работающая на сжатие под воздействием веса вышерасположенного закладочного массива.

Предлагаемая конструкция системы разработки и схема отработки камерных запасов на опытном участке представлена на рис. 3. Нормальная стадия очистной выемки представлена на рис. 4. Подготовительно-нарезные работы на участке и в конкретной камере заключаются в проведении следующих выработок:

- полевой подэтажный штрек с обеих сторон рудного тела;
- буро-закладочный орт по кровле камеры;
- доставочный орт по почве камеры (проходится во вмещающих породах до контура рудного тела и внедряется в рудный массив только на расстояние 3 – 4 метра для оформления отрезного восстающего);
- отрезной восстающий и отрезная щель оформляется в ближнем к доставочному орту торце камеры, проведение отрезного восстающего и образование отрезной щели в камере осуществляется секционным взрыванием нисходящих скважин, пробуренных из буро-закладочного орта.

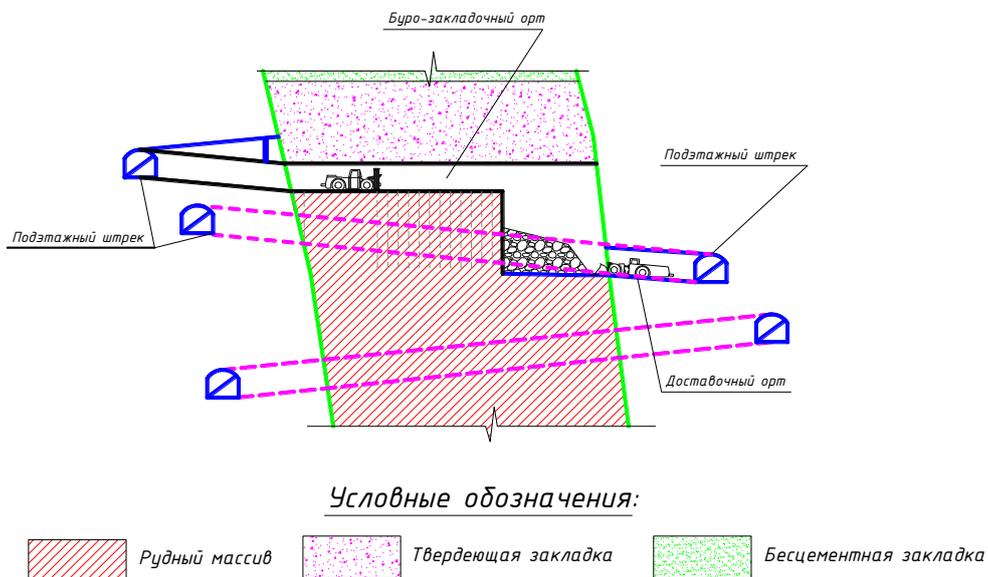
Начальная стадия очистной выемки заключается в образовании отрезного восстающего и отрезной щели в торце камеры. Отгрузка отбитой руды при оформлении отрезной щели производится из доставочного орта, пройденного по почве камеры.



**Рис. 3. Общая схема и параметры камерной системы разработки с расположением камер в шахматном порядке**

Нормальная стадия заключается в послышной отбойке нисходящих вееров скважин, пробуренных из буро-закладочного орта сначала на пространство отрезной щели, а затем на выработанное пространство, образованное отбойкой вееров. Отгрузка отбитой руды также производится из доставочного орта, пройденного по почве камеры. По окончании отбойки руды в камере осуществляется зачистка почвы камеры с помощью ПДМ, оборудованной системой дистанционного управления. Машина при зачистке двигается непосредственно по почве камеры.

По окончании зачистки почвы камеры осуществляется строительство перемычек и производится закладка выработанного пространства камеры.



**Рис. 4. Нормальная стадия очистной выемки в камере при «шахматном» порядке отработки**

**Преимущества** камерной системы разработки при «шахматном» порядке отработки запасов:

1. Отсутствие необходимости проведения доставочных выработок по рудному массиву. Соответственно исключается возведение металлоёмких арочных видов крепи, которые помимо высокой стоимости крепления значительно снижают скорость проведения выработок, что сказывается на интенсивности выемки руды на конкретном участке (при установке арочной металлической крепи очень высока доля ручного труда).

2. Буро-закладочный орт в камере проходится по рудному массиву непосредственно под несущим слоем закладочного массива, в таких условиях устойчивость стенок и кровли орта не вызывает опасений, крепления арками не требуется (предусматривается анкерное крепление).

3. Отгрузка руды и бурение скважин осуществляются с разных уровней (горизонтов). При этом появляется возможность совмещения процесса бурения и отгрузки во времени в пределах одной выемочной камеры. Повышается интенсивность выемки руды в камере.

4. Верхнее расположение буровой выработки позволяет более качественно оконтурить очистное пространство и снизить разубоживание от отслоения закладки в очистную камеру от ведения взрывных работ.

5. На стадии очистной выемки не будет происходить запечатывания подводящих к очистному пространству выработок. Проветривание горных работ может осуществляться с помощью общешахтной струи со свободным движением воздуха через камеру. Отпадает необходимость использования проветривания тупиковых выработок с помощью ВМП по вентиляционным рукавам.

В настоящее время на руднике «Айхал» завершается отработка ромбовидных камер переходной зоны в подэтаже +80/+60 м. Ведется выемка запасов ромбовидных камер в подэтаже +70/+50 м. Успешный опыт отработки таких камер позволил значительно снизить себестоимость добычи на руднике, одновременно увеличив производительность выемочных единиц.

УДК 622.272+273

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАЗРАБОТКИ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ СТОЛБАМИ ПО ВОССТАНИЮ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ НАНОСОВ**

ВАЖЕНИН Л. А., ВАЛИЕВ Н. Г., КОКАРЕВ К. В., ПУНДИК Е. О.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье рассматривается методика и экономико-математическая модель по определению граничной мощности наносов для экономически эффективного применения технологии разработки пологих угольных пластов автономными столбами по восстанию. Исследования показали, что применение автономных столбов целесообразно при мощности наносов до 45-70 м без применения дренажного горизонта и 75-100 м с проведением монтажного и дренажного штреков на нижней границе шахтного поля. Увеличение мощности пласта ведет к сокращению области эффективного применения автономных столбов; рост суточной нагрузки увеличивает возможности применения схем разработки автономными столбами; доказано также, что большое влияние имеет снижение устойчивости вмещающих пород, при неустойчивых породах увеличиваются граничные значения мощности наносов для применения автономных столбов.

**Ключевые слова:** автономные столбы, моделирование, мощность наносов, транспортный горизонт.

## USING TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT OF FLAT MEDIUM THICKNESS COAL SEAMS BY HEADING-AND-STALL METHOD WITH THE DIFFERENT CAPPING THICKNESS

VAZHENIN L. A., VALIEV N. G., KOKAREV K. V., PUNDIK E. O.  
Ural State Mining University

**Abstract.** The article deals with the methodology and economic-mathematical model for determining the boundary thickness of sediments for the economically effective application of technology for the development of shallow coal seams by independent pillars with heading-and-stall method. Studies have shown that the use of independent columns is advisable at a sediment thickness of up to 45-70 m without the use of a drainage horizon and 75-100 m with the installation and drainage drifts at the lower boundary of the mine field. Increasing the thickness of the coal seam leads to a reduction in the area of effective use of independent pillars; the growth of the per face per day output increases the possibility of using the development schemes of autonomous columns; It has also been proved that the decrease in the stability of the enclosing rocks has a great influence, with the unstable rocks increasing the boundary values of the sediment thickness for the use of independent pillars.

**Keywords:** independent (autonomous) pillars, modeling, sediment thickness, transport horizon

При разработке пологих угольных пластов средней мощности автономными столбами по восстанию с вынесением транспортного горизонта на поверхность проводится большое количество наклонных выработок по наносам. Это количество зависит от размеров шахтного поля по простиранию, длины очистного забоя и наличия целиков между выемочными столбами [1]. Возникает необходимость определения границы мощности наносов, при которой применение автономных столбов становится экономически не целесообразным и предпочтителен переход на технологические схемы отработки с проведением наклонных стволов и расположением вентиляционного и откаточного штреков под наносами [2].

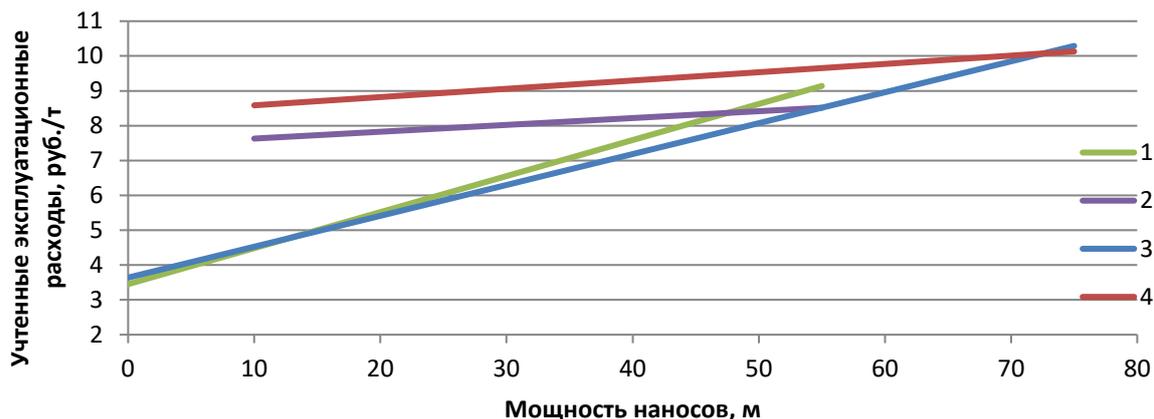
Для решения этой задачи для каждой схемы создается экономико-математическая модель элементарных расходов с последующим их суммированием, выделяется обобщенный коэффициент – мощность наносов [3].

Исследования проводились путем сравнения учтенных эксплуатационных затрат по схемам с применением автономных столбов и схемам с транспортным горизонтом под наносами [3].

Сравнивались соответственно схемы с оставлением целиков и с сохранением выработок для повторного использования при применении автономных столбов и схемы с размещением транспортного горизонта под наносами (рис. 1). При расчетах для сравнения использовались оптимизированные технологические параметры схем (длина очистного забоя, длина выемочного столба и размер шахтного поля по простиранию).

Исследования показали, что схемы разработки автономными столбами при оставлении непрорезаемых целиков экономически эффективно использовать при наносах мощностью до 45 м. Схемы с оставлением выработок для повторного использования остаются эффективными до значения мощности наносов 70 м, это связано с сокращением количества выработок, проводимых по наносам.

При работе по схемам с оставлением прорезаемых целиков и с проведением выработок вприсечку к выработанному пространству граничные значения наносов – 35 и 55 м соответственно. Отличие в полученных результатах связано с оптимальными значениями длины очистного забоя, разными для исследуемых схем.

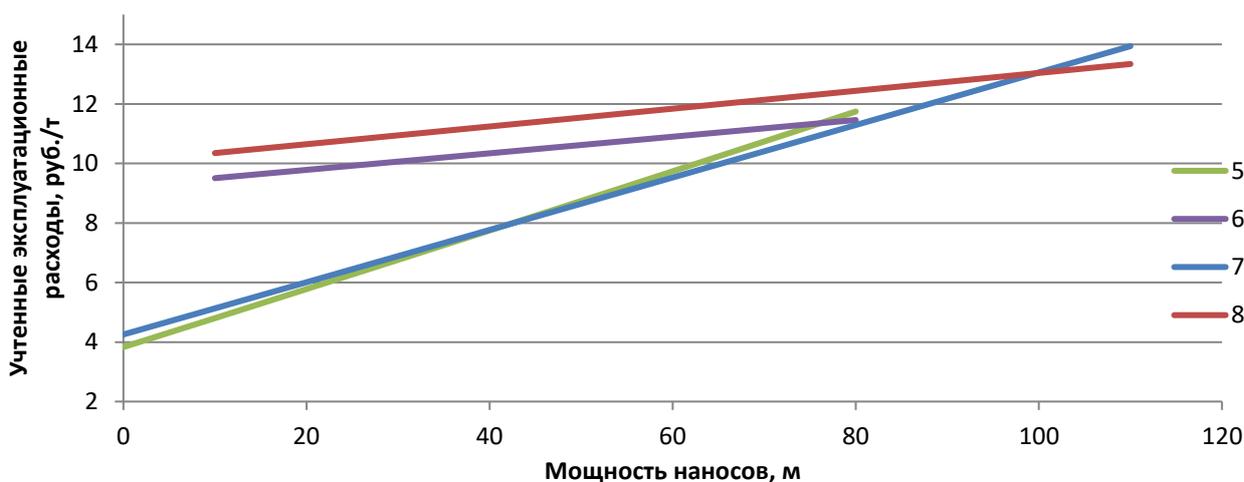


**Рис. 1. Графики для выбора технологических схем без дренажного горизонта:**  
 1, 3 – соответственно, автономными столбами с оставлением целиков и сохранением выработок; 2, 4 – то же с транспортным горизонтом под наносами  
 На графиках изображены результаты сравнения при разработке пласта мощностью 1 м, залегающего под углом 10о с суточной добычей из очистного забоя 3000 т/сут.

Графики определения граничной мощности наносов при разработке по схемам с применением дренажного горизонта показаны на рис. 2.

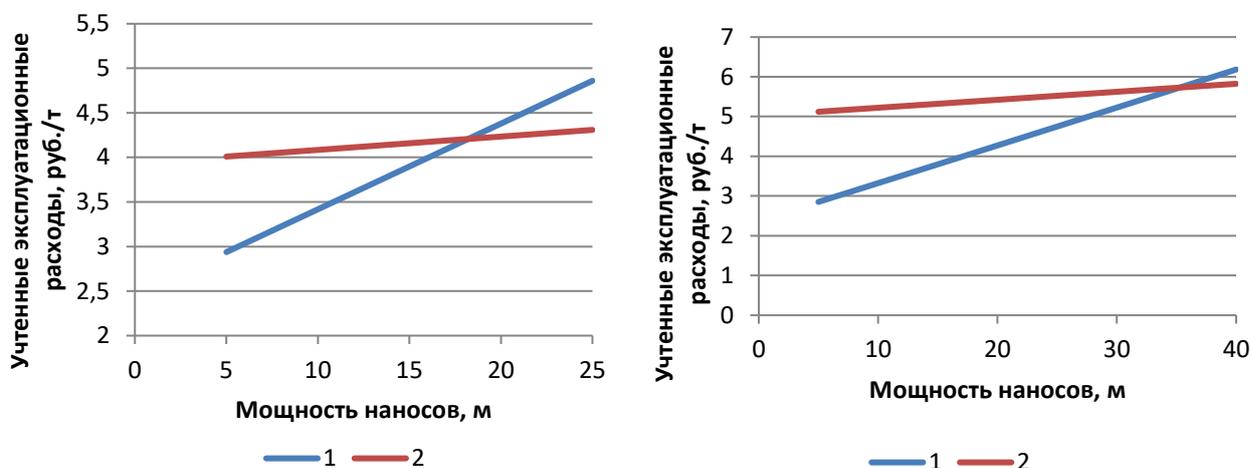
Как показали исследования, при большой водообильности угольных пластов значения мощности наносов, при которых эффективно применение автономных столбов с оставлением непрорезаемых целиков между столбами, составляет 75 м. При отработке по схемам с оставлением выработок для повторного использования граничное значение мощности наносов составляет 100 м. Увеличение границ использования автономных столбов происходит от отличающихся оптимальных технологических параметров, в частности, от оптимального размера шахтного поля по простиранию.

Граничные значения мощности наносов при схемах с оставлением прорезаемых целиков и проведением выработок вприсечку к выработанному пространству, при использовании дренажного горизонта, составляют 70 и 75 м соответственно.



**Рис. 2. Графики для выбора технологических схем с дренажным горизонтом:**  
 5, 6 – соответственно, автономными столбами с оставлением целиков и сохранением выработок; 7, 8 – то же с транспортным горизонтом под наносами

При увеличении мощности пласта до 3 м изменяются оптимальные технологические параметры выемочных столбов, что при сравнении приводит к уменьшению границы мощности наносов до 15-20 м без использования дренажного горизонта и 35-40 м с его использованием (рис. 3).



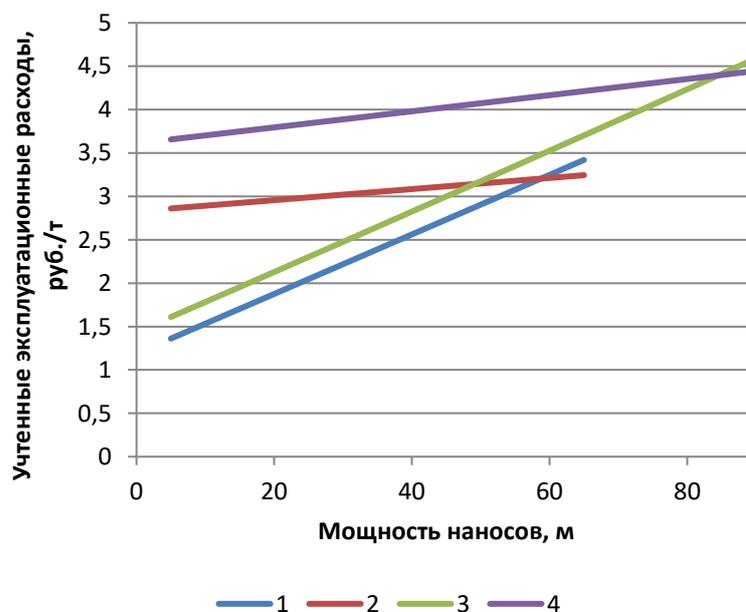
**Рис. 3. Графики для выбора технологических схем, при мощности пласта 3 м:**

*a* – без дренажного горизонта; *б* – с дренажным горизонтом:

1 – автономные столбы с непрорезаемыми целиками;

2 – то же с транспортным горизонтом

Увеличение суточной нагрузки на очистной забой ведет к увеличению границы мощности наносов для эффективного использования автономных столбов. На рис. 4 показаны графики для схемы отработки с оставлением непрорезаемых целиков угля между столбами.

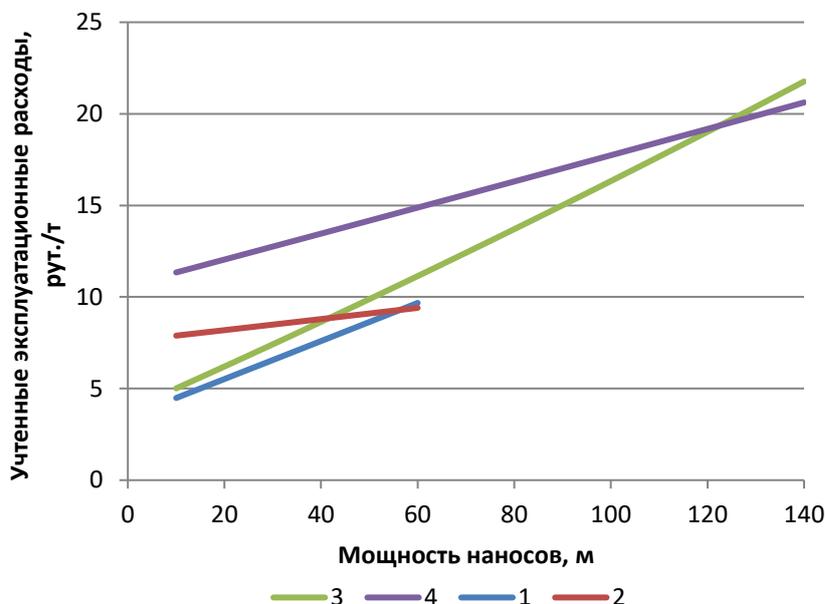


**Рис. 4. Графики для выбора технологических схем при суточной нагрузке 10 тыс.**

**т и мощности пласта 2 м:** 1, 2 – соответственно схемы с автономными столбами и с транспортным горизонтом; 3, 4 – то же с дренажным горизонтом

Эффективное использование автономных столбов при высокой суточной нагрузке на очистной забой возможно при мощности наносов до 60 м без дренажного горизонта и до 85 м при размещении на нижней границе шахтного поля монтажного и дренажного штреков. Это объясняется увеличением транспортируемой массы и, тем самым, удорожанием транспорта полезного ископаемого по откаточному штреку.

Влияние устойчивости вмещающих пород на граничную величину мощности наносов эффективного применения автономных столбов по восстанию показано на рис. 5.



**Рис. 5. Графики для выбора технологических схем при неустойчивых вмещающих породах:**

- 1, 2 – соответственно схемы с автономными столбами и с транспортным горизонтом;  
3, 4 – то же с дренажным горизонтом

Увеличение затрат на поддержание протяженных выработок с большим сроком службы в неустойчивых породах увеличивает область применения автономных столбов. Срок поддержания части наклонной выработки в наносах намного меньше, чем откаточного и вентиляционного штреков, вследствие этого мощность наносов, при которой можно эффективно применять автономные столбы – до 60 м. При применении дренажного горизонта – до 120 м.

#### Список литературы

1. Важенин Л.А., Валиев Н.Г., Кокарев К.В. Способ разработки пологих угольных пластов с размещением транспортного горизонта на поверхности // Горный журнал. 2017 № 2, С.62-66
2. Важенин Л.А., Валиев Н.Г., Кокарев К.В. Исследование параметров технологии разработки пологих угольных пластов автономными столбами по восстанию // VI Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 18-19 апреля 2017 г. стр. 26-31.
3. Кокарев К.В. Обоснование параметров технологии разработки пологих угольных пластов столбами по восстанию с размещением транспортного горизонта на поверхности. Дис. канд. техн. наук. Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, 2013. – 135 с.

УДК 622.235

## ПРИНЦИП СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА МЕТОДИК ДЛЯ РАСЧЁТА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ВВ

ЖАРИКОВ С. Н., КУТУЕВ В. А.  
ФГБУН Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В статье изложен подход к установлению удельного расхода ВВ на основании специального анализа расчётных величин, полученных по различным формулам, а также сравнительный анализ некоторых методик расчёта. Приведены основные факторы, влияющие на численное значение рассчитываемой величины. Показано, что предварительное определение удельного расхода ВВ следует проводить на основе главных факторов: предела прочности на одноосное сжатие (крепость пород), размер отдельности в массиве (категория трещиноватости) и необходимой степени дробления. Уточнение следует проводить с учётом результатов опытного взрывания в процессе строительства карьера и особенностей разработки. При этом целесообразно уточнять удельный расход ВВ при эксплуатации месторождения, в том числе на основе данных о трудности бурения скважин. Также в представленном материале приведён анализ взаимосвязей двух методик, в составе формул, которых присутствует эталонная величина удельного расхода ВВ. Показано, что введение значения эталона делает схему расчёта наиболее универсальной. При этом сами методики, хотя и имеют различие, позволяют формализовать связи между вводимыми в расчёт коэффициентами и выразить общие закономерности при определении удельного проектного расхода ВВ.

**Ключевые слова:** буровзрывные работы, параметры буровзрывных работ, удельный расход взрывчатого вещества, взрыв.

## PRINCIPLE OF COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATION OF SPECIFIC CONSUMPTION OF EXPLOSIVES

ZHARIKOV S. N., KUTUEV V. A.  
Institute of mining, Ural branch of RAS

**Abstract.** The article presents the approach to establishing the specific consumption of explosives on the basis of a special analysis of the calculated values obtained by different formulas, as well as a comparative analysis of some methods of calculation. The main factors influencing the numerical value to be calculated. It is shown that the pretrial determination of specific consumption of explosives should be carried out on the basis of main the factors: the tensile strength in uniaxial compression (castle rock) size individually in the array (fracture) and the required degree of crushing. The specification should take into consideration the results of the test blasting in the construction process and characteristics of career development. It is helpful to clarify the specific consumption of explosives in the operation field, including on the basis of data on the difficulties the storming of wells. Also, in the present material shows an Association analysis of two IU-todik, in the formulas, which is the reference value of the specific consumption of explosives. It is shown that the introduction of a value standard makes the calculation scheme is the most universal Noi. Moreover, these techniques, although have difference, allow us to formalize the relationship between input in the calculation of the coefficients and to Express General laws in op-the definition of project specific consumption of explosives.

**Keywords:** drilling and blasting operations, drilling and blasting parameters, specific consumption of explosives, explosion.

В настоящее время на многих карьерах разработаны типовые проекты БВР, основанные на индивидуальных местных классификациях массивов по взрываемости, учитывающие прочностные свойства массивов, применяемых ВВ и технологические параметры взрывного разрушения горных пород. Эти классификации делят горные породы на легковзрываемые, трудновзрываемые и весьма трудновзрываемые. Сравнение одинаковых по взрываемости массивов на разных месторождениях показывает, что расчётный удельный расход в них может отличаться в два и более раз. Это является результатом того, что нет единого подхода к определению взрываемости горных пород [1].

Существует ряд работ по определению взрываемости массивов и расчету параметров БВР на основе классификаций по взрываемости [2 - 6]. В таблице 1, приведены основные существующие методики расчёта удельного расхода ВВ и указан учёт известных значений свойств пород, ВВ и технологических факторов в формулах: единицей отмечено наличие в расчётной формуле значения свойства, нулём - отсутствие.

Согласно [1], по каждому фактору, влияющему на удельный расход ВВ, определена средняя доля его учёта в приведённых методиках. Вычисленная доля фактора нормирована по отношению к единице. Таким образом, определена относительная важность каждой учтённой переменной. Для этого сначала вычислена относительная распространённость  $d_i$  по соотношению

$$d_i = \frac{\sum_i^m n_i}{m}, \quad (1)$$

где  $\sum n_i$  - количество методик, учитывающих рассмотренный фактор;

$m$  - общее количество оценённых методик (их шесть).

Нормированная доля каждого фактора определена по соотношению

$$d_{ni} = \frac{d_i}{\sum d_i}. \quad (2)$$

Величина  $d_{ni}$  указывает на степень важности каждого приведённого фактора.

В последнем столбце указаны результаты расчёта по приведённым методикам для пород типа кимберлитов - средневзрываемых горных пород. На них удельный расход граммонита 79/21 составляет 0,45 - 0,65 кг/м<sup>3</sup>.

При установлении к нормированной доле факторов степени важности 10%-ного барьера видно, что удельный расход ВВ наиболее зависит от предела прочности на одноосное сжатие (крепость пород), размера отдельности в массиве (категория трещиноватости) и необходимой степени дробления. При степени важности 5% видно, что при определении удельного расхода ВВ для конкретных условий более полно начинают учитываться свойства горных пород, свойства ВВ и технологические параметры. Таким образом, по мере отработки месторождения необходимо уточнять физико-механические свойства горных пород, уточнять и совершенствовать характеристики ВВ, анализировать условия взрывания и совершенствовать технологические параметры [1].

Фактическая величина удельного расхода ВВ определяется свойствами горных пород, свойствами ВВ и условиями разработки месторождения. Существующие методики расчёта удельного расхода ВВ основываются на зависимостях, полученных в некоторых заданных пределах. В таблице 1 показано, что в интервал удельного расхода граммонита 79/21 для кимберлитов (0,45 - 0,65 кг/м<sup>3</sup>) попадают результаты расчёта по методам Гипроруды [6] и Ржевского В.В. [3]. Ниже представлены расчетные формулы, по которым производилось сравнение соответствующих методик.

По методу Ржевского В.В. [2]

$$q = \frac{6\sigma_p^2[(D/d)-1]}{E\eta Ql}. \quad (3)$$

По методу Ржевского В.В. [3]

$$q_{np} = q_{\varepsilon} K_{BB} K_{ДР} K_{Т} K_{СЗ} K_{ОБ} K_{СП}. \quad (4)$$

По методу Мосинца В.Н. [4]

$$q = \frac{1800\sqrt{f} \left[ 1 + \left( \frac{0,16}{f} \right) \lg v_n \right] \sum_1^m \lg \frac{D}{d_{1..m}} + \frac{\rho \ln K_p}{2g} v_0^2}{Q_V^{1+\eta}}. \quad (5)$$

По методу Кутузова Б.Н. [5]

$$q = 0,13\rho\sqrt[4]{f}(0,6 + 3,3d_o d_z) \left( \frac{0,5}{d_n} \right)^{2/5} \sqrt{0,25d_n / d_{cp}}. \quad (6)$$

По методу Союзвзрывпрома [6]

$$q = 0,13\rho\sqrt[4]{f}(0,6 + 3,3d_o d_z) \left( \frac{0,5}{d_k} \right)^{2/5} K_{BB}. \quad (7)$$

По методу Гипроруды [6]

$$q_{np} = q_{\varepsilon} K_{BB} K_{ДС} K_{ДР} K_b. \quad (8)$$

Здесь  $D$  и  $d$  - средний диаметр, соответственно, структурных блоков массива и кусков, получаемых в результате взрыва, мм;  $\eta$  - КПД взрыва;  $Q$  - механический эквивалент теплоты, кг·см/Дж;  $l$  - удельная теплота взрыва, Дж/кг;  $f$  - коэффициент крепости по шкале М.М. Протодяконова;  $v_n$  - скорость нагружения, км/с;  $\rho$  - плотность породы, т/м<sup>3</sup>;  $K_p$  - коэффициент разрыхления;  $\sum_1^m \lg \frac{D}{d_{1..m}}$  - показатель степени дробления;  $v_0$  -

начальная скорость разлета кусков породы, м/с;  $Q_V$  - потенциальная энергия ВВ, Дж;  $d_{к(н)}$  - необходимый кондиционный размер куска, м;  $d_z$  - диаметр заряда, м;  $d_o$  - средний диаметр отдельностей породы в массиве, м;  $d_{cp}$  - средний диаметр куска породы после взрыва, м;  $q_{np}$  - проектный удельный расход, г/м<sup>3</sup>;  $q_{\varepsilon}$  - эталонный удельный расход, г/м<sup>3</sup>;  $\sigma_p$  - предел прочности образца горной породы на растяжение, Па;  $K_{BB}$ ,  $K_{ДС}$ ,  $K_{ДР}$ ,  $K_b$  - коэффициенты, учитывающие соответственно тип ВВ, диаметр скважины, степень дробления и угол наклона скважины;  $K_T$  - коэффициент, учитывающий трещиноватость взрываемого массива;  $K_{СЗ}$  - коэффициент, учитывающий фактическую форму и степень сосредоточения заряда по длине скважины;  $K_{ОБ}$  - коэффициент, учитывающий объем взрываемой породы;  $K_{СП}$  - коэффициент, учитывающий количество свободных поверхностей.

Анализ способов расчёта удельного расхода ВВ показал, что для кимберлитов результаты, полученные по разным методикам, для штатного ВВ могут отличаться на величину 0,37 кг/м<sup>3</sup>, что охватывает примерно 3 - 4 категории взрываемости. Главными факторами, влияющими на удельный расход ВВ, по рассмотренным методикам являются предел прочности на одноосное сжатие (крепость пород), размер отдельности в массиве (категория трещиноватости) и необходимая степень дробления.

Подходы к определению предварительного удельного расхода ВВ для условий производства БВР на карьерах могут быть различными. В каждом конкретном случае выбор метода определяется в большей мере точностью информации о состоянии, структуре и прочности разрушаемого массива горных пород.

Из формул (3)–(8) только в двух разделены понятия эталонный и проектный удельный расход ВВ, это формулы Ржевского В.В. (4) и Гипроруды (8). Учитывая, что расчёт по данным формулам наиболее близок к установленным значениям для рассматриваемых пород, целесообразно рассмотреть понятие эталонного удельного расхода ВВ и различия в установлении эталона в разных методиках. В методике Ржевского В.В. эталонный удельный расход ВВ - это количество ВВ, необходимое для дробления 1 м<sup>3</sup> монолитной породы на куски средним размером 0,5 м при шести свободных поверхностях (свободно подвешенный куб) [6]. В методике Гипроруды эталонный удельный расход принимается в зависимости от крепости и трещиноватости и его величина в численном выражении больше чем на порядок. В приведённых методиках указанная величина разная; при этом если в методике Ржевского В.В. смысл понятия достаточно ясен, то в методике Гипроруды это не так. Для понимания критериев определения данной величины и связей с состоянием горного массива следует рассмотреть определение проектного удельного расхода ВВ в обеих методиках с целью уточнения физических зависимостей коэффициентов и самого эталонного значения. Ниже представлен порядок расчёта по обоим методикам и схема, показывающая наличие связей между коэффициентами в формулах (рис. 1).

*Расчёт по методу Гипроруды (см. выражение (8))*

Проектный расход для первого ряда скважин:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{э}} K_{\text{ВВ}} K_{\text{ДС}} K_{\text{ДР}} K_b,$$

где  $q_{\text{э}}$  - эталонный расход аммонита № 6 ЖВ; задаётся в зависимости от крепости и категории трещиноватости, кг/м<sup>3</sup>;

$K_{\text{ВВ}}$ ,  $K_{\text{ДС}}$ ,  $K_{\text{ДР}}$ ,  $K_b$  - коэффициенты, учитывающие, соответственно, тип ВВ, диаметр скважины, степень дробления и угол наклона скважины.

**Таблица 1 – Анализ методик расчёта проектного удельного расхода ВВ**

| Автор                      | Свойства горных пород |                     |                |                         |                              | Свойства ВВ    |               | Технологические параметры            |               |                 |                       |                  |                       | Удельный расход ВВ для кимберлитов, кг/м <sup>3</sup> |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|----------------|-------------------------|------------------------------|----------------|---------------|--------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|---|
|                            | П. п. на сжатие       | П. п. на растяжение | П. п. на сдвиг | Плотность горной породы | Размер отдельности в массиве | Теплота взрыва | Работа взрыва | Конструкция заряда и наклон скважины | Сетка скважин | Объём взрывания | Свободные поверхности | Диаметр скважины | Необходимое дробление |   |
| Ржевский В.В. [2]          | 0                     | 1                   | 1              | 0                       | 1                            | 1              | 1             | 0                                    | 0             | 0               | 0                     | 0                | 1                     | 0,25  |
| Ржевский В.В. [3]          | 1                     | 1                   | 1              | 1                       | 1                            | 0              | 0             | 1                                    | 0             | 1               | 1                     | 1                | 1                     | 0,47  |
| Мосинец В.Н. [4]           | 1                     | 0                   | 1              | 1                       | 1                            | 1              | 1             | 0                                    | 0             | 1               | 0                     | 0                | 1                     | 0,42  |
| Кутузов Б.Н. [5]           | 1                     | 0                   | 0              | 1                       | 1                            | 0              | 0             | 1                                    | 1             | 0               | 0                     | 1                | 1                     | 0,37  |
| Союзвзрывпром [6]          | 1                     | 0                   | 0              | 1                       | 1                            | 0              | 0             | 0                                    | 0             | 0               | 0                     | 1                | 1                     | 0,42  |
| Гипроруда [6]              | 1                     | 1                   | 0              | 0                       | 1                            | 0              | 0             | 0                                    | 0             | 0               | 0                     | 1                | 1                     | 0,62  |
| Средняя доля учёта фактора | 0,83                  | 0,50                | 0,50           | 0,67                    | 1,00                         | 0,33           | 0,33          | 0,33                                 | 0,17          | 0,33            | 0,17                  | 0,67             | 1,00                  |   |
| Нормированная доля фактора | 0,122                 | 0,073               | 0,073          | 0,098                   | 0,146                        | 0,049          | 0,049         | 0,049                                | 0,024         | 0,049           | 0,024                 | 0,098            | 0,146                 |   |
| 10 %-ный барьер            |                       |                     |                |                         |                              |                |               |                                      |               |                 |                       |                  |                       |   |
| 5 %-ный барьер             |                       |                     |                |                         |                              |                |               |                                      |               |                 |                       |                  |                       |   |

\* П.п. - предел прочности.

Проектный расход для второго и последующих рядов:

$$q_{\text{пр2}} = q_{\text{пр}} k_{\text{ув}}, \quad (9)$$

где  $k_{\text{ув}}$  - коэффициент увеличения проектного расхода ВВ в зависимости от категории трещиноватости.

Расчёт по методу Ржевского В.В. [3]

Эталонный расход ВВ

$$q_{\text{э}} = k(\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{сд}} + \sigma_p + 10\gamma), \quad (10)$$

где  $\sigma_{\text{сж}}$ ,  $\sigma_{\text{сд}}$ ,  $\sigma_p$  - соответственно, пределы прочности на сжатие, сдвиг и растяжение, МПа;

$\gamma$  - плотность горной породы, т/м<sup>3</sup>;

$k$  - эмпирический коэффициент, равный 0,2, для вязких пород составляет 0,36.

Проектный (расчетный) расход ВВ вычисляется из следующего соотношения (см. выражение (4))

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{э}} K_{\text{ВВ}} K_{\text{д}} K_{\text{Т}} K_{\text{СЗ}} K_{\text{ОБ}} K_{\text{СП}},$$

где  $K_{\text{д}} = 0,5/d_{\text{cp}}$  - коэффициент, учитывающий требуемую степень дробления породы;

$d_{\text{cp}}$  - требуемый средний диаметр куска взорванной породы, который рассчитывается по вместимости ковша экскаватора ( $E$ ) исходя из соотношений

$$d_{\text{cp}} = (0,15 - 0,20)\sqrt[3]{E} \text{ - для средневзрывааемых пород,} \quad (11)$$

$$d_{\text{cp}} = (0,25 - 0,35)\sqrt[3]{E} \text{ - для трудновзрывааемых пород.} \quad (12)$$

$K_{\text{Т}}$  - коэффициент, учитывающий трещиноватость взрывааемого массива, рассчитывается из соотношения

$$K_{\text{Т}} = 1,2l_{\text{cp}} + 0,2, \quad (13)$$

где  $l_{\text{cp}}$  - средний диаметр отдельности в массиве, зависящий от категории пород по трещиноватости;

$K_{\text{СЗ}}$  - коэффициент, учитывающий фактическую форму и степень сосредоточения заряда по длине скважины (табл. 2);

**Таблица 2 – Коэффициент сосредоточения заряда**

| Диаметр скважины, мм | Взрываемость массива                         |  |  |  |  |
|----------------------|--|--|--|--|--|
|                      | $q_{\text{э}} < 20 \text{ г/м}^3$<br>(кл. 1) | $q_{\text{э}} = 20 \div 40 \text{ г/м}^3$<br>(кл. 2) | $q_{\text{э}} = 40 \div 60 \text{ г/м}^3$<br>(кл. 3) | $q_{\text{э}} = 60 \div 80 \text{ г/м}^3$<br>(кл. 4) | $q_{\text{э}} > 80 \text{ г/м}^3$<br>(кл. 5) |
| 100                  | 0,94   | 0,91   | 0,88   | 0,84   | 0,81   |
| 150                  | 0,98   | 0,96   | 0,95   | 0,94   | 0,93   |
| 200                  | 1,00   | 1,00   | 1,00   | 1,00   | 1,00   |
| 250                  | 1,04   | 1,05   | 1,06   | 1,07   | 1,08   |
| 300                  | 1,07   | 1,09   | 1,11   | 1,13   | 1,14   |
| 350                  | 1,11   | 1,14   | 1,18   | 1,21   | 1,24   |

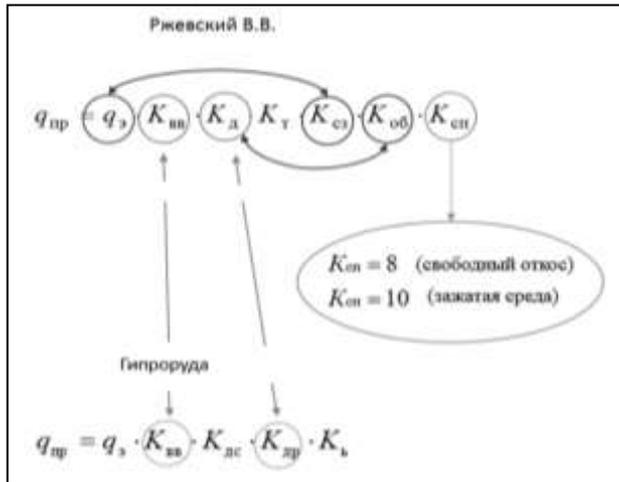
$K_{\text{ОБ}}$  - коэффициент, учитывающий объем взрывааемой породы и зависящий от высоты уступа  $H_y$ .

$$K_{\text{ОБ}} = \sqrt[3]{15/H_y} \text{ - для уступов высотой до 18 м,} \quad (14)$$

$$K_{\text{ОБ}} = \sqrt[3]{H_y/15} \text{ - для уступов высотой более 18 м.} \quad (15)$$

$K_{\text{СП}}$  - коэффициент, учитывающий количество свободных поверхностей.

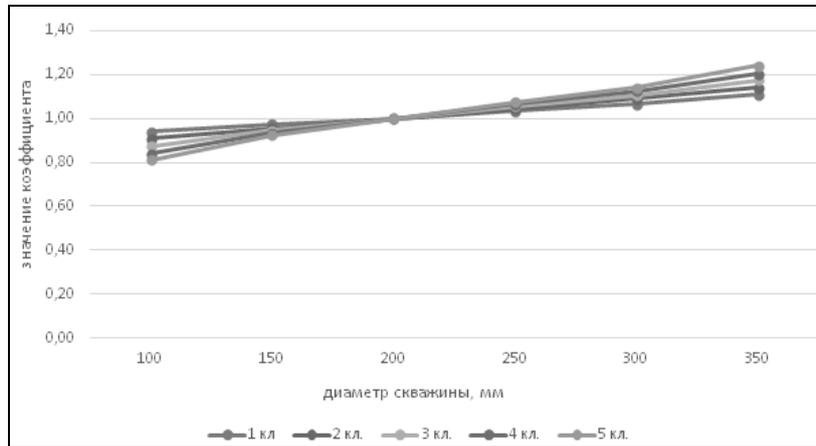
Из схемы на рис. 1 видно, что в обеих формулах есть схожие коэффициенты: коэффициент работоспособности ВВ и коэффициенты учитывающие требуемое дробление. Два коэффициента в первой формуле связаны с другими элементами и зависимы от них. В первом случае коэффициент сосредоточения заряда выбирается в зависимости от величины эталонного ВВ и диаметра заряда. Во втором случае коэффициент, учитывающий объем взрывааемой породы, связан с коэффициентом  $K_{\text{д}}$ , так как высота



**Рис. 1. Соответствие коэффициентов в формулах расчёта  $q_{пр}$  по Ржевскому В. В. и Гипроруде**

уступа определяется параметрами работы экскаватора, от ёмкости ковша которого и зависит требование к дроблению горной массы. Следует рассмотреть указанные коэффициенты подробнее. На рис. 2 представлено изменение коэффициента сосредоточения заряда в зависимости от диаметра скважины в разных классах взрываемости.

По каждому классу проведён корреляционный анализ и установлены соответствующие зависимости коэффициента сосредоточения от диаметра заряда (см. выражения (16)).

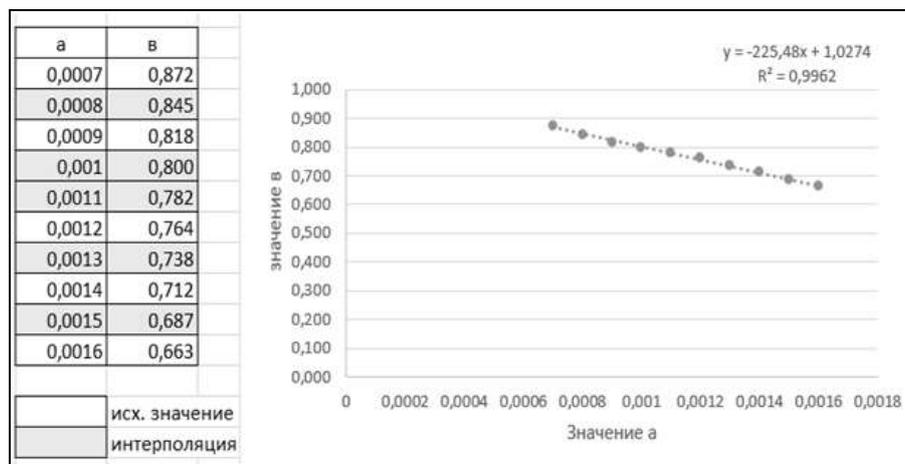


**Рис. 2. Изменение коэффициента сосредоточения заряда в зависимости от диаметра скважины в породах разных классов взрываемости**

$$\left. \begin{aligned}
 1 \text{ кл. } K_{CЗ} &= 0,0007d_{скв} + 0,8723 \\
 2 \text{ кл. } K_{CЗ} &= 0,0009d_{скв} + 0,8176 \\
 3 \text{ кл. } K_{CЗ} &= 0,0012d_{скв} + 0,7642 \\
 4 \text{ кл. } K_{CЗ} &= 0,0014d_{скв} + 0,712 \\
 5 \text{ кл. } K_{CЗ} &= 0,0016d_{скв} + 0,6627
 \end{aligned} \right\} (16)$$

В представленных выражениях (16) численные коэффициенты отличаются на неодинаковый интервал, что может исказить вид зависимости между ними при дальнейшем анализе. Поэтому для поиска зависимости между численными коэффициента-

ми было увеличено число левых коэффициентов ( $a$ ), чтобы выдержать шаг, а правые ( $b$ ) проинтерполированы; результаты представлены на рис. 3.



**Рис. 3. Зависимость между численными коэффициентами при определении коэффициента сосредоточения заряда по диаметру скважины**

Согласно данным, полученным в результате корреляционного анализа, коэффициент сосредоточения заряда может быть определён в зависимости от диаметра заряда (в пределах Ø100 - 350 мм) по выражению

$$K_{CЗ} = 1,03 + a(d_{скв} - 225,48). \quad (17)$$

**Таблица 3 – Значения численного коэффициента ( $a$ ) по классам взрываемости**

| Класс 1 | Класс 2 | Класс 3 | Класс 4 | Класс 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0,0007  | 0,0009  | 0,0012  | 0,0014  | 0,0016  |

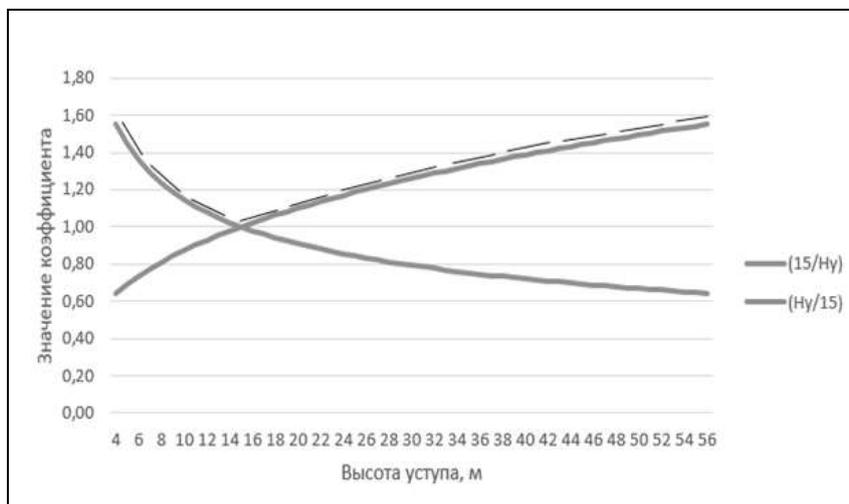
Коэффициент, учитывающий объём взрывающей породы  $K_{OB}$ , определяется соотношением с пятнадцатиметровым уступом. При уступе до 18 м  $K_{OB} \approx 15 / H_y$ , при уступе более 18 м  $K_{OB} \approx H_y / 15$ . Пересечение кривых, отражающих значение коэффициента при этих двух разных условиях, представлено на рис. 4. Оно как раз находится в районе уступа высотой 15 м. Методикой же учитываются лишь верхние значения, лежащие на кривых выше точки пересечения (отмечено пунктиром).

Выше было сказано, что коэффициент  $K_{OB}$  зависит от параметров экскаватора и связан с коэффициентом, учитывающим требуемое дробление. При этом следует добавить, что в схеме механизации экскаватору соответствует определённый буровой станок для обеспечения соответствующих объёмов взрывания. Следовательно,  $K_{OB}$  косвенно учитывает и диаметр скважины, как и  $K_{CЗ}$ .

Таким образом, в формуле Ржевского В.В. по определению проектного удельного расхода ВВ независимыми остаются коэффициенты трещиноватости  $K_T$  и свободных поверхностей  $K_{СП}$ , которые как раз и увеличивают проектный удельный расход ВВ по сравнению с эталонным более чем на порядок, что примерно соответствует эталонному значению по методике Гипроруды. Получается, что в методике Гипроруды эталонное значение удельного расхода ВВ определяется с учётом коэффициента струк-

турного ослабления и трещиноватости массива, а у Ржевского В.В. то же самое учитывается путём введения коэффициентов трещиноватости  $K_T$  и свободных поверхностей  $K_{СП}$ . Указанную связь между эталонными значениями удельного расхода ВВ в разных методиках можно представить в виде следующего выражения:

$$q_{\text{Э}}^{\Gamma_{\text{ин}}} \approx q_{\text{Э}}^{\text{Ржс}} K_T K_{СП}. \quad (18)$$



**Рис. 4. Значение коэффициента  $K_{об}$  по методике Ржевского В.В. при разной высоте уступа**

Выражение (18) характеризует связь между двумя методиками определения удельного расхода ВВ. При этом следует отметить интересный факт. Показатель трудности бурения по Ржевскому В.В. также выражается через физико-механические свойства горных пород, как и эталонный удельный расход.

$$P_{\sigma} = 0,07(\sigma_{сжс} + \sigma_{сд} + 10\gamma), \quad (19)$$

$$q_{\text{Э}} = k \times (\sigma_{сжс} + \sigma_{сд} + \sigma_p + 10 \times \gamma) \quad (\text{см. (10)})$$

Получается, что показатель буримости и эталонный расход ВВ связаны через физико-механические свойства горных пород. Следовательно, эталонный расход ВВ можно выразить с учётом показателя трудности бурения:

$$q_{\text{Э}} = k \times \left( \frac{P_{\sigma}}{0,07} + \sigma_p \right) \quad (20)$$

Анализ формул Ржевского В.В. указывает на то, что в принципе разрушение горных пород при бурении и взрывании имеет связь. При этом эталонный расход ВВ находится в зависимости от показателя трудности бурения. Учитывая, что удельный расход по двум разным методикам можно связать с параметрами бурения, целесообразно уточнять удельный расход ВВ при эксплуатации месторождения производить с учётом данных о бурении технологических скважин. Взаимосвязь между процессами разрушения пород при бурении и взрывании описана в работах [1, 7-11].

## Выводы

Фактическая величина удельного расхода ВВ определяется свойствами горных пород, свойствами ВВ и условиями разработки месторождения. Существующие методики расчёта удельного расхода ВВ основываются на зависимостях, полученных в некоторых заданных пределах. Поэтому результаты расчёта по этим методикам для горных пород имеют значительный разброс.

При выборе методики расчёта удельного расхода ВВ необходимо учитывать степень подобия свойств объекта разработки свойствам объектов, которые учтены в эмпирических выражениях методик. Если технологические параметры и свойства ВВ могут быть достаточно подобны на разных карьерах, то физико-механические свойства горных пород имеют исключительно индивидуальное распределение в пределах конкретной горной выработки. Этот факт не позволяет проектировать технологический взрыв в конкретных горных породах на основании результатов разработки другого месторождения. Поэтому проектирование взрывов в конкретных условиях производится только после опытного взрывания.

Методики, в которых присутствует величина эталонного удельного расхода ВВ, наиболее универсальны, имеют связи между вводимыми в расчёт коэффициентами и позволяют выразить общие закономерности при определении проектного расхода ВВ.

Параметры буровзрывных работ при разработке месторождения открытым способом необходимо определять на основе величины удельного расхода взрывчатого вещества. Предварительное определение этой величины следует проводить на основе главных факторов: предела прочности на одноосное сжатие (крепость пород), размера отдельности в массиве (категория трещиноватости) и необходимой степени дробления. Уточнение следует проводить с учётом результатов опытного взрывания [12] в процессе строительства карьера и особенностей разработки. Возможно, и целесообразно уточнение удельного расхода взрывчатого вещества при эксплуатации месторождения, в том числе на основе данных о трудности бурения скважин.

## Список литературы

1. Жариков С.Н. Взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород: дисс. ... канд. техн. наук / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2011. – 139 с.
2. Кутузов Б.Н. Справочник взрывника / Б.Н. Кутузов, В.М. Скоробогатов, И.Е. Ерофеев и др.// Под общей ред. Б.Н. Кутузова - М.: Недра, 1988. – 511 с.
3. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород. - М.: Наука, 1975. – 212 с.
4. Тарасенко В.П. Физико-технические основы расчета зарядов на карьерах. Учебное пособие. - МГУ, 1985. – 84 с.
5. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: издательство МГИ, 1992. – 516 с.
6. Корнилков С.В., Стенин Ю.В., Стариков А.Д. Расчёт параметров буровзрывных работ при скважинной отбойке на карьерах: Учебное пособие. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. – 112 с.
7. Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород. М.: «Недра», 1978. – 184 с.
8. Тангаев И.А. Энергоёмкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 231 с.
9. Тангаев И.А. Энергетика процессов и систем открытых горных работ и рудо-подготовки учеб.-метод. пос. [Текст] / И. А. Тангаев. Кыргызско-Российский славянский университет. – Бишкек, Москва, 2002. – 52 с.

10.Бондаренко И.Ф., Жариков С.Н., Зырянов И.В., Шеменёв В.Г. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии // Екатеринбург: ИГД УрО РАН – 2017. – 172 с.

11.Жариков С.Н. Способы уточнения свойств горных пород при производстве буровзрывных работ / С.Н. Жариков, В.Г. Шеменев, В.А. Кутуев // Устойчивое развитие горных территорий. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 74-80. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-1-74-80.

12.Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». Серия 13. Выпуск 14. - М.: Закрытое акционерное общество «Научно - технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 332 с.

УДК 622.235.314

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЛИЗАТОРОВ ВЗРЫВА «ФОНТАН» НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УРАЛА

ФЛЯГИН А. С., КУТУЕВ В. А.  
ФГБУН Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** Применение локализаторов «ФОНТАН», разработанных для органов МВД и МЧС, на предприятиях ООО «АВТ-УралСервис», ЗАО «РВС» и ООО «ЮжУралВзрывПром» для совместной перевозки взрывчатых материалов на специализированных автомобилях.

**Ключевые слова:** локализатор взрыва, совместная перевозка взрывчатых материалов, ударная волна, защита от взрыва.

## USE OF LOCALIZERS OF EXPLOSION, "FOUNTAIN" AT THE ENTERPRISES OF THE URALS

FLYAGIN A. S., KUTUEV V. A.  
Institute of mining, Ural branch of RAS

**Abstract.** Application localization "fountain" designed for the Interior Ministry and the Emergencies Ministry, enterprises Limited liability company "AVT-UralServis", Close corporation Work "Explosive Special" and Open Company "SUEI" for joint transportation of explosive materials in special vehicles.

**Keywords:** localizer explosion joint transportation of explosive materials, the shock wave from the explosion protection.

В настоящее время каждой организации, производящей взрывные работы, приходится индивидуально решать задачи по безопасной совместной перевозке взрывчатых материалов. ВМ различных подклассов могут совместно перевозиться в специальных автомобилях, оснащенных средствами локализации взрыва (локализаторами).

В отдельных случаях, с письменного разрешения главного инженера предприятия (шахты, рудника, карьера и т.п.), на автомобилях общего назначения, оборудованных для перевозки ВМ, допускается совместная перевозка взрывчатых материалов, в том числе взрывчатых веществ, средств инициирования, прострелочных и взрывных аппаратов со складов ВМ к местам работ, а также с базисных на расходные склады в количествах, установленных ФНП ПБ «Правилами безопасности при взрывных работах».

При этом средства инициирования должны размещаться в передней части кузова автомобиля в специальном плотно закрывающемся ящике с внутренними войлочными, резиновыми, пенопластовыми или другими мягкими прокладками со всех сторон [1].

В 2006 г. такой ящик-локализатор был установлен и одобрен к применению Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, на специализированном автомобиле 6999210 на базе КАМАЗ-53229 эксплуатируемом на предприятии ООО «Специализированное Управление «Трансвзрывпром».

С помощью экспертной организации – Уральского филиала ЗАО «Взрывиспытания» задача использования автотранспорта, в отношении применения дизельных автомобилей ХЕНДЭ-Н-100 PORTER и Fiat DUCATO, оборудованных грузовыми и грузопассажирскими фургонами была решена [2].

Санкт-Петербургским предприятием «Научно-производственное объединение Специальных материалов» (НПО СМ) для органов МВД и МЧС были разработаны локализаторы взрыва марки «ФОНТАН» различных моделей (рис. 1).

Устройство для защиты от взрыва «ФОНТАН» относящиеся к категории «локализатор взрыва» представляют собой портативные контейнеры с гетерофазным диспергентом, снабженные противоосколочным экраном. Локализаторы «ФОНТАН» прошли сертификационные испытания, приняты на вооружение МВД РФ. Разрешение к использованию N РРС 00-32660 от 29.12.2008 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

Локализатор снижает до минимума разрушения и человеческие жертвы. Эффективно подавляет фугасное, осколочное, термическое, термобарическое и другие разрушительные последствия взрыва на открытой местности, в замкнутых и полужамкнутых пространствах благодаря внутренней противоосколочной оболочке (экрану), выполненной из материалов на основе высокомодульных арамидных волокон. Многократно снижает амплитуду давления на фронте ударной волны. Размывает и выколачивает фронт ударной волны. Предотвращает возгорания, термические и термобарические поражения за счет полного подавления огненного шара. Уменьшает осколочный поток и снижает вероятность поражения за счёт уникальных амплитудно-частотных и релаксационных характеристик специального многофазового диспергента, являющегося основной рабочей массой локализатора взрыва «ФОНТАН».

| Наименование изделия   | Модель         | Защита от заряда, не более | Локализуемый объем     |
|--|----------------|----------------------------|------------------------|
| <b>ФОНТАН-1</b><br>контейнер с защитной крышкой<br>(в комплекте подушки и маты для фиксации груза при транспортировке) | <b>05K</b>     | 500 г ТНТ                  | до 10 дм <sup>3</sup>  |
|  | <b>10K</b>     | 1000 г ТНТ                 | до 15 дм <sup>3</sup>  |
|  | <b>20K</b>     | 2000 г ТНТ                 | до 90 дм <sup>3</sup>  |
|  | <b>50K</b>     | 5000 г ТНТ                 | до 450 дм <sup>3</sup> |
| <b>ФОНТАН-2</b><br>мобильный<br>(включает в себя противоосколочный экран)  | <b>05У</b>     | 500 г ТНТ                  | до 10 дм <sup>3</sup>  |
|  | <b>10У</b>     | 1000 г ТНТ                 | до 15 дм <sup>3</sup>  |
|  | <b>20У</b>     | 2000 г ТНТ                 | до 90 дм <sup>3</sup>  |
|  | <b>3М2</b>     | 2000 г ТНТ                 | до 40 дм <sup>3</sup>  |
|  | <b>50М</b>     | 5000 г ТНТ                 | до 450 дм <sup>3</sup> |
| <b>ФОНТАН-3</b><br>специальный авиационный стационарный  | <b>МК-2000</b> | 2000 г ТНТ                 | до 18 дм <sup>3</sup>  |
| <b>ФОНТАН-4</b><br>авиационный мобильный   | <b>М500</b>    | 500 г ТНТ                  | до 8 дм <sup>3</sup>   |
|  | <b>МК500</b>   | 500 г ТНТ                  | до 13 дм <sup>3</sup>  |

**Рис. 1. Модельный ряд локализаторов взрыва марки «ФОНТАН»**

Фиксация помещенных во внутреннюю полость взрывчатых материалов (взрывного устройства) осуществляется с помощью поставляемых в комплекте матов (шести

амортизационных подушек). Контейнер сверху накрывается защитной крышкой, изготовленной из тех же материалов, что и емкость. Закрытый контейнер перевязывается со всех сторон ленточными поясными ремнями (рис. 2).



ФОНТАН-1 модель 20К

**Рис. 2. Локализатор «ФОНТАН-1» модель 20К**

Институтом горного дела Российской академии наук совместно с Уральским филиалом ЗАО «Взрывиспытания» была разработана документация на установку локализатора «ФОНТАН-1» модель 20К и 50К на специальные автомобили для совместной перевозки взрывчатых материалов. Были получены разрешения от Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на применение данного устройства на предприятиях ООО «АВТ-УралСервис», ЗАО «РВС» и ООО «ЮжУралВзрывПром».

В локализатор «ФОНТАН-1» модель 20К максимально возможно разместить до двух килограмм ТНТ общим объёмом до 90 дм<sup>3</sup>, а в модель 50К возможно разместить до пяти килограмм ТНТ общим объёмом до 450 дм<sup>3</sup> (рис. 3).



ФОНТАН-1 модель 50К

**Рис. 3. Локализатор «ФОНТАН-1» модель 50К**

Локализатор устанавливается в передней части кузова автомобиля и надежно закрепляется. Средства инициирования укладываются во внутреннюю полость устройства только в картонных или бумажных коробках. Коробки размещаются таким образом, чтобы не было свободного их перемещения во внутренней полости. Фиксация коробок внутри контейнера обеспечивается с помощью амортизационных матов (подушек), входящих в состав комплектации устройства. Расчетами подтверждено, исходя из габаритов тары, средств инициирования и внутренней полости устройства, количество средств инициирования помещаемых и перевозимых по отдельности [3]: не более 12 коробок со средствами инициирования – неэлектрическими системами (НСИ) или пиротехническими замедлителями (РП различных марок: РПЭ, РП-Н, РП-Д).

В зависимости от длины волноводов (от 3 до 15 м), масс взрывчатых веществ в одном метре волновода (0,2 г) и в одном капсуль-детонаторе (1,4 г) и при общей массе ВВ в одном устройстве не более 5 кг, в одном локализаторе возможно разместить от 1050 до 2100 шт. НСИ (СИНВ, Искра, Коршун).

При производственной необходимости допускается использовать максимум два локализатора «ФОНТАН-1» модель 50К, с общей вместимостью до 4200 шт. НСИ, в зависимости от длины волновода и массой ВВ не более 10 кг. В этом случае локализаторы размещаются на расстоянии друг от друга не менее 0,65 м ( $r_d$ ) [4]. Радиус по передаче детонации определяется по формуле (1).

$$r_d = K_d \sqrt[2]{Q} \sqrt[4]{b}, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $r_d$  – безопасное расстояние от центра активного до поверхности пассивного заряда, м;

$K_d$  – коэффициент, значение которого зависит от вида взрывчатых материалов зарядов и условий взрыва;

$Q$  – масса ВВ активного заряда, кг;

$b$  – меньший линейный размер пассивного заряда (ширина штабеля), м.

Для повышения безопасности перевозки и с учетом производственной необходимости количество перевозимых ЭД и НСИ может быть ограничено (табл.1).

**Таблица 1 – Габаритные размеры коробок со средствами инициирования, их вместимость**

| Средства инициирования                                 | Габариты коробок, см |        |        | Вместимость |      |
|--|----------------------|--------|--------|-------------|------|
|  | Длина                | Ширина | Высота | шт          | кг   |
| Электродетонаторы                                      | 46                   | 50     | 30     | 300         | 0,45 |
| Пиротехнические реле                                   | 38                   | 31     | 29     | 80          | 0,24 |
| Детонаторы неэлектрической системы инициирования (НСИ) | 37                   | 30     | 28     | 50          | 0,15 |

Согласно данным по испытанию «ФОНТАН-1» модель 20К и 50К, при максимальной загрузке контейнера (2 кг и 5 кг тринитротолуола), в случае подрыва безопасное для жизни расстояние (порог летальности) составляет 2,5 м, а для здоровья (порог баротравмы) – 3,5 м [5].

Установка локализаторов в отсеке дизельного автофургона для перевозки средств инициирования или в грузовом отсеке, совместно с взрывчатыми веществами, возможна на расстоянии, не ближе 0,65 м для одного локализатора и 0,82 м для двух локализаторов от ВВ для ЭД, РП и НСИ, соответственно.

#### **Выводы**

Таким образом, была решена задача по совместной перевозке взрывчатых материалов. На сегодня обслуживания небольших массовых взрывов или взрывов на строительных объектах с применением локализаторов взрыва «ФОНТАН» стало более экономически эффективное.

#### **Список литературы**

1. ПБ 13-78-94 Правила безопасности при перевозке взрывчатых материалов автомобильным транспортом. Утверждены Постановлением Госгортехнадзора России от 8 ноября 1994 г. N 57.
2. Воробьев В.А., Рязанов Г.А. Опыт буровзрывных работ на строительных объектах Южного Урала. Технология и безопасность взрывных работ. Материалы научно-технических семинаров. – 2010. – 279 с.

3. Заключение экспертизы промышленной безопасности на применение технического устройства «Устройство для защиты от взрыва ФОНТАН-1» модель 50К ту-0989-046-31041642-05. ИГД УрО РАН – 2011. – 10с.

4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». Серия 13. Выпуск 14. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. - 332 с.

5. Руководство по эксплуатации (паспорт) 046Д.006.000.000РЭ «Устройство для защиты от взрыва «ФОНТАН-1» (модель 50К).

УДК 622.227

## СКВАЖИННО-ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА СУГЛИНИСТЫХ РОССЫПЕЙ С НАПРАВЛЕННЫМ БУРЕНИЕМ

ВАЛИЕВ Н. Г., СТАРЦЕВ В. А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

*Аннотация.* В научно-исследовательской работе приводится анализ скважинно-гидравлической добычи с применением машин горизонтально-направленного бурения. Конструктивные параметры наклонных скважин, позволят применить высокопроизводительное оборудование для отбойки песков, гидротранспорта пульпы и зачистки плотика россыпи.

*Ключевые слова:* скважинная гидродобыча золота, россыпные месторождения, суглинистые породы, горизонтально-направленное бурение, гидроотбойка песков, гидротранспорт, зачистка плотика, подъем пульпы, гидромониторы большой мощности.

## BOREHOLE-HYDRAULIC DEVELOPMENT OF A LOAMY ALLUVIAL DEPOSITS WITH DIRECTIONAL DRILLING

VALIEV N. G., STARTCEV V. A.

Ural State Mining University

*Abstract.* In research work the analysis of borehole-hydraulic production with application of machines of horizontally directed drilling is resulted. Design parameters of inclined wells, allows to apply the high-performance equipment for separation of sand, hydrotransport of pulp and cleaning of bad rock.

*Keywords:* hydraulic mining by boreholes of gold, placer deposits, loam rocks, horizontal directional drilling, the separation of the Sands, hydrotransport, cleanup bad of rock, the rise of the pulp, the jetting of high power.

При разработке россыпных месторождений традиционными способами (дражным, гидравлическим, гидромеханизированным) остаются большие потери в труднодоступных участках на большой глубине залегания, в западениях и карманах плотика, в небольших погребенных россыпях с большой концентрацией золота. Возможна скважинно-гидравлическая разработка таких локальных участков.

Скважинно-гидравлическая добыча полезных ископаемых (СГД) внедряется начиная с середины прошлого века при разработке титан-циркониевых песков, при разработке янтароносных месторождений, при разработке железорудных месторождений КМА и др.

Проводились также опытные работы по скважинной гидродобыче золота из многолетнемерзлых россыпей на прииске «Экспериментальный» в 1986-1991 г.г. (г. Сусуман, Магаданская область). Продуктивный пласт мощностью около 1 м представлен аллювиальными отложениями из гальки и мелких валунов с частичным проникновением золота в трещиноватые коренные породы – глинистые сланцы. Глубина залегания россыпи в районе опытных участков СГД 10 и 25 м. [1].

В ходе проведения исследований установлены следующие параметры процессов СГД. При расходе 250 м<sup>3</sup>/ч и давлении воды 2 МПа дальность размыва мерзлых песков незатопленной гидромониторной струей достигала 21,2 м при средней производительности по твердому 20-30 т/ч. Производительность по смыву разрушенных золотосодержащих крупнообломочных пород при тех же параметрах струи составляла 100 м<sup>3</sup>/ч, а дальность – 36 м. Зачистка с разрушением верхней золотосодержащей части сланцев для легкоразборного плотика обеспечивается на расстоянии до 26 м, для трудноразборного плотика – до 12 м.

Исследования по скважино-гидравлической добыче из талых россыпей не проводились.

Несмотря на явные преимущества по сравнению с традиционной добычей: дешевой, быстрым сроком окупаемости, отсутствием негативного влияния на окружающую среду, безопасностью производства и др., СГД имеет существенные недостатки: небольшая мощность напорной струи и, соответственно, низкая производительность размыва, возможность разработки только руд небольшой прочности, вероятность сдвигения и оседания пород вокруг скважины, большие потери и низкая степень извлечения, низкая эффективность самотечного гидротранспорта и др.

Таким образом, до настоящего времени широкого внедрения СГД вертикальными скважинами не получила, а технология СГД золота находится в стадии поисков, расчетных и экспериментальных работ, опытно-промышленных испытаний.

Большие возможности открываются при скважинной гидродобыче золота с использованием горизонтального направленного бурения (СГД НБ) [2]. Горизонтально-направленное бурение позволяет разместить в забое (в скважине) гидромонитор большой мощности, увеличить производительность гидромониторного размыва пород, обеспечить размыв с зачисткой золота на плотике россыпи, исключить влияние на скважину осадки и обрушения торфов. При этом необходимы исследования и обоснования, кроме технологии бурения скважин, для решения следующих задач:

- определение напора и расхода воды для размыва пород, самотечного гидротранспорта и подъема пульпы;

- определения параметров очистного пространства (определение длины заходов, ширины пролета, высоты свода, очередности выемки);

- оценки устойчивости вышележащих пород.

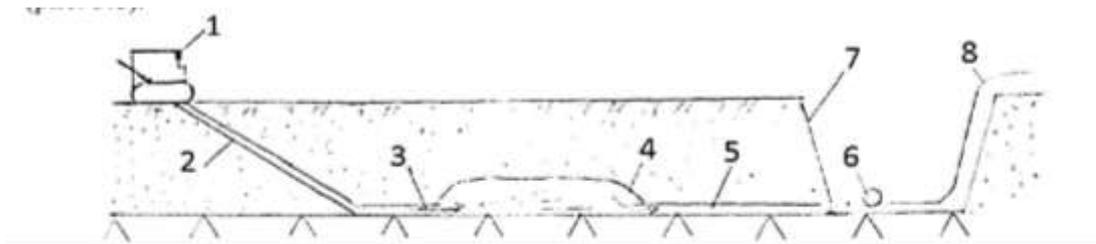
Горнодобычный комплекс включает (рис. 1):

- оборудование бурения: буровая установка, комплект бурового инструмента, оборудование для приготовления и подачи бурового раствора, и его регенерации, контрольные локационные системы;

- оборудование размыва: гидромонитор, насос и трубы для подачи напорной воды;

- оборудование подъема пульпы;

- обогатительную установку.



**Рис. 1. Принципиальная технологическая схема СГД НБ:**

1 – установка горизонтального направленного бурения; 2 – скважина; 3 – гидромонитор; 4 – забой; 5 – транспортный участок скважины; 6 – грунтовый насос; 7 – разрезная траншея; 8 – пульповод

Для бурения добычных скважин принимаются типовые установки горизонтально – направленного бурения для прокладки трубопроводов (УГБ-2, УГНБ-4, УНБ-30) обеспечивающие эффективную длину бурения от 20 до 300 м, глубину 30-250 м, диаметр скважины 115-500 мм.

Проходка скважины осуществляется в два этапа:

- бурение пионерной скважины;
- расширение скважины до необходимого размера.

Бурение пионерных скважин производится долотами шарошечного или гидромониторного типа в зависимости от прочности пород. Для увеличения диаметра скважины после пилотного бурения применяются расширители – римеры (от англ. Hole reamer).

При проходке пилотной скважины должен осуществляться постоянный контроль за положением бурового инструмента при помощи специализированных систем локализации, позволяющих отслеживать: глубину бурения, угол наклона трассы к горизонту, крен бурового инструмента (положение скоса буровой лопатки или иного инструмента «по часам»), азимут скважины (при необходимости), отклонение в плане, другие условия и характеристики технологического процесса.

Гидромониторы для СГД НБ не разработано. Существующие типоразмеры гидромониторов предназначены для открытых и подземных горных работ или разрабатываются специально для СГД. Конструктивные особенности гидромонитора для СГД НБ заключается в следующем:

1. Ось ствола гидромонитора совпадает с осью подводящего водовода – по сути, ствол гидромонитора служит только для формирования струи. При этом нет необходимости в верхнем колене для поворота ствола в горизонтальной плоскости. Для манипулирования гидромониторной струей достаточно шарового соединения ствола и водовода. Возможно также соединение высоконапорным гибким шлангом.

2. Механизм для привода ствола предусматривается в виде системы рычагов и напорных гидроцилиндров или с использованием дефлекторного устройства. Управление приводом дистанционное.

3. Основное ограничительное устройство гидромониторного узла – это соответствие поперечных размеров диаметру скважины.

Расчет конструктивных размеров: толщины стенок ствола, гибкого шланга, шарового соединения производится по общепринятым методикам расчета гидромониторов для открытых горных работ (ОГР).

Расчет режимов и технологических параметров гидромонитора так же возможен по методикам для ОГР.

По нашему мнению, в качестве конструктивного аналога наиболее подходящим будет гидроствол для размыва пород под водой или ствол типового гидромонитора для ОГР: ГМЦ-250 (рабочее давление 1,6 МПа, расход воды до 80 м<sup>3</sup>/ч).

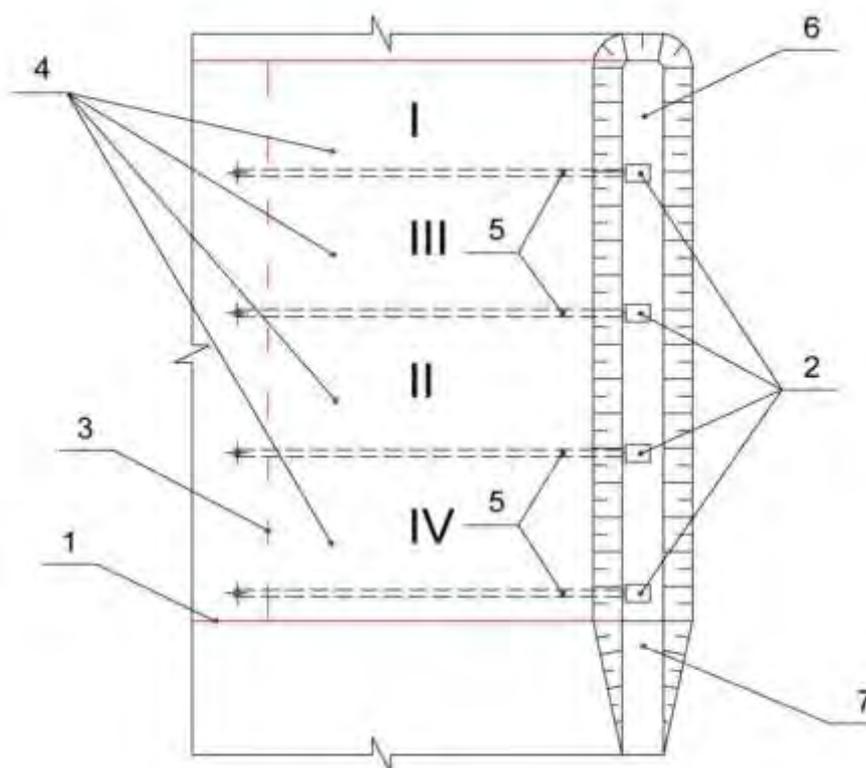
Управление гидромонитором заключается в поворачивании его ствола относительно вертикальной или горизонтальной оси для направления струи в нужную точку забоя. На ОГР при незначительных давлениях эти повороты может легко осуществлять один рабочий при помощи рычага противовеса (води́ла) или штурвала (при отбойке угля в шахте). На современных гидромониторах управление осуществляется дистанционно на основе гидравлического, электрогидравлического или электро-механического привода.

Для гидромониторов СГД НБ целесообразно использовать канатное управление, при этом канат протягивается по скважине вдоль трубопровода на поверхность.

Для уменьшения размеров оборудования управления возможно использование дефлекторов (англ. Deflector – отражатель, отклоняющее устройство) и/или боковую насадку на стволе гидромонитора.

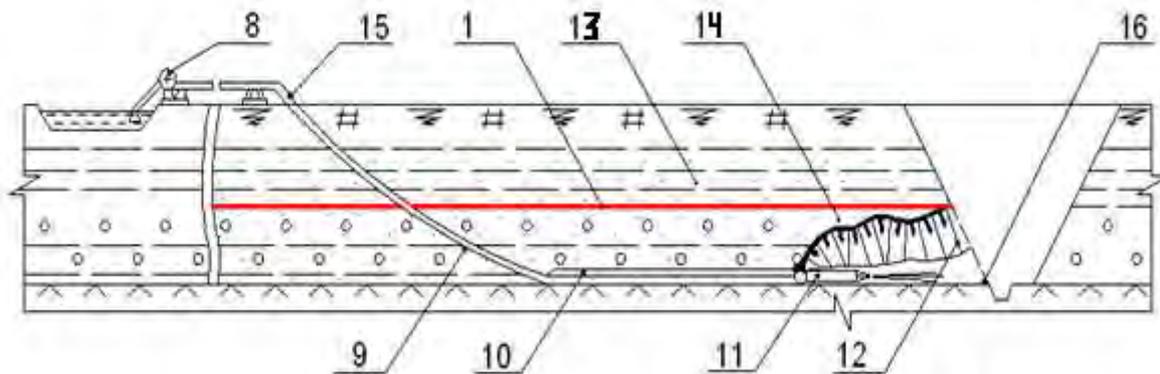
Разработка месторождения комплексом СГД НБ предусматривается длинными столбами - заходками (рис. 2, 3).

Размыв продуктивного пласта производится в направлении от борта разрезной траншеи к выходу на поверхность (рис. 3), при этом формируется горная выработка, устойчивость свода которой определяется параметрами размыва по ширине и высоте продуктивного пласта и физико-механическими свойствами разрабатываемых пород [3], пульпа доставляется к пульпоприемной канаве через формируемую горную выработку в напорно-самотечном режиме.



**Рис. 2. Схема вскрытия и подготовки месторождения к выемке:**

1 – граница продуктивного пласта; 2 – площадки для бурового станка; 3 – граница заходки; 4 – заходки; 5 – скважины; 6 – разрезная траншея; 7 – съездная траншея; I, II, III, IV – очередность очистной выемки заходок.



**Рис. 3. Очистная выемка продуктивных отложений (главный вид):**

8 – насос; 9 – наклонный участок скважины; 10 – горизонтальный участок скважины; 11 – гидроствол; 12 – забой; 13 – непродуктивные отложения россыпи (торфа); 14 – продуктивный пласт; 15 – напорный трубопровод; 16 – откос.

Наиболее соответствующими по условиям эффективности разработки являются суглинистые россыпи, отложения которых обладают сцеплением. Как показали наши исследования [4] при очистной выемке суглинистых песков, возможно обеспечить величину устойчивого пролета до 5-10 м. Реализация способа скважинно-гидравлической разработки с направленным бурением позволит вовлечь в разработку брошенные труднодоступные участки и погребенные россыпи с высоким содержанием золота.

#### Список литературы

1. Моделирование процессов размыва золотосодержащих песков применительно к скважинной гидродобычи/ Э.И. Черней, Н.И. Бабичев, В.Н. Сысоев. // Колыма. Производственно-технический бюллетень. Магадан. 1975 с.7-9.
2. Патент РФ № 2640611, МПК 21С 45/00 (2006.01), E21С 41/16 (2006.01), E21С 41/26 (2006.01) Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых / Н.Г. Валиев, В.К. Багазеев, И.Л. Здоровец, Д.И. Симисинов, В.А. Старцев. ФГБОУ ВО УГГУ. № 2016121266, заяв. 30.05.2016, опубл. 10.01.2018. Бюл. № 1.
3. Багазеев В.К., Валиев Н.Г., Старцев В.А. Прогнозирование устойчивости породных обнажений при скважинно-гидравлической разработке талых россыпей. // V Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». 2016. С. 187-191.
4. Багазеев В.К., Валиев Н.Г., Старцев В.А. Система скважинно-гидравлической разработки талых россыпей. // VI Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». 2017. С. 81-87.

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ БЕЗВЗРЫВНОЙ РАЗРАБОТКИ ГОРНЫХ ПОРОД В КАРЬЕРАХ

САПЕГИН Ю. К.

ФГБУН Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН

**Аннотация.** В статье проводится анализ техники и технологий, обеспечивающих эффективную безвзрывную разработку полускальных и легко разрабатываемых скальных горных пород. Указаны основные технические параметры некоторых бульдозерно-рыхлительных агрегатов, одноковшовых гидравлических экскаваторов со сменным оборудованием для разработки прочных пород и карьерных комбайнов отечественного и зарубежного производства. Определена удельная энергоемкость рыхления и выемки горных пород прочностью на одноосное сжатие 50-70 МПа рассматриваемым оборудованием.

**Ключевые слова:** рыхление горных пород, экскаваторы, гидравлические молоты, рыхлители, карьерные комбайны.

## TECHNICS AND TECHNOLOGIES FOR UNLOADED DEVELOPMENT MOUNTAIN ROCKS IN CAREERS

SAPEGIN Yu. K.

Mining Institute of the Far Eastern Branch of the RAS

**Abstract.** The article analyzes the techniques and technologies that ensure the efficient, non-explosive development of semi-rocky and easily developed rock rocks. The main technical parameters of some bulldozers-ripping units, one-bucket hydraulic excavators with interchangeable equipment for the development of solid breeds and career combines of domestic and foreign production are indicated. Specific energy intensity of loosening and excavation of rocks is determined by the strength of uniaxial compression of 50-70 MPa by the equipment under consideration.

**Keywords:** loosening of rocks, excavators, hydraulic hammers, rippers, quarry combines.

В последние десятилетия в связи с развитием горного оборудования и технологий его применения происходит как совершенствование традиционных способов подготовки горных пород к выемке, так и внедрение новых. Основными приоритетами горной науки в развитии и совершенствовании способов разрушения и разупрочнения горных пород являются: повышение производительности труда горняков; увеличение полноты выемки полезных ископаемых; углубление селекции при разборе горного массива; снижение материальных и временных затрат на производство работ; исключение из технологического цикла процессов отрицательно влияющих на окружающую среду. Основными показателями, характеризующими эффективность разрушения, являются: удельная энергоемкость процесса, производительность оборудования, сохранность качества полезного ископаемого [1].

Многие отечественные и зарубежные горнодобывающие предприятия, ведущие разработку месторождений скальных и полускальных горных пород, вынуждены переходить на технологии безвзрывной выемки горной массы [2-5]. Это может быть связано с приближением фронта работ к населенным пунктам или объектам инфраструктуры, ужесточением правил безопасности ведения горных работ или экологических требований.

Для разрушения полускальных и легко разрабатываемых скальных пород достаточно успешно применяются: рыхлители на базе тяжелых и сверхтяжелых бульдозеров; крупные одноковшовые гидравлические экскаваторы, а также рыхлители и гидравличе-

ские молоты в виде сменного оборудования на них; одноковшовые экскаваторы с ковшами, оснащенными активными зубьями; карьерные комбайны горизонтального фрезерования и стреловые карьерные комбайны [6-7].

Эксплуатация тяжелых и сверхтяжелых бульдозеров-рыхлителей обеспечивает возможность разрушения полускальных пород с достаточно высокой производительностью. Так бульдозер-рыхлитель Caterpillar D11R при разработке известняков прочностью 50-60 МПа имеет часовую эксплуатационную производительность около 400 тонн [6]. В таблице приведены основные технические характеристики горного оборудования и величина удельной энергоемкости работ при рыхлении и выемке горных пород прочностью на одноосное сжатие 50-70МПа.

#### **Характеристики горных машин при разрушении полускальных и легко разрабатываемых скальных пород**

| Тип машины                           | Марка машины     | Масса М, т | Мощность N, кВт | Производительность, т/ч | Удельная энергоемкость работ, кВт·ч/т |
|--------------------------------------|------------------|------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Бульдозер-рыхлитель                  | Caterpillar D8R  | 40         | 228             | 140-170                 | 1,34-1,63                             |
|                                      | Caterpillar D11R | 102        | 634             | 380-450                 | 1,41-1,67                             |
| Экскаватор с уменьшенным ковшом      | Liebherr R-992   | 142        | 575             | 380-430                 | 1,35-1,51                             |
|                                      | Liebherr R-994   | 214        | 937             | 500-650                 | 1,44-1,87                             |
| Экскаватор со сменным рыхлителем     | Liebherr R-984   | 108        | 501             | 310-360                 | 1,39-1,62                             |
| Экскаватор с гидромолотом            | Hitachi EX 700H  | 72         | 324             | 250-260                 | 1,25-1,30                             |
| Экскаватор с активными зубьями ковша | ЭКГ-5В           | 196        | 250             | 190-270                 | 0,93-1,32                             |
| Карьерные комбайны                   | Wirtgen 2200 SM  | 51         | 597             | 190-230                 | 2,59-3,14                             |
|                                      | Wirtgen 2500 SM  | 113        | 783             | 300-350                 | 2,23-2,61                             |
|                                      | КГФ-80           | 65         | 225             | 95-110                  | 2,04-2,36                             |

К недостаткам технологической схемы с использованием бульдозеров-рыхлителей можно отнести необходимость применения дополнительной техники для погрузки разрушенной породы в транспорт, трудность селективной выемки пород на сложноструктурных месторождениях, необходимость обеспечения достаточно протяженного по длине забоя для обеспечения высокой производительности машины.

Применение на крупных гидравлических экскаваторах специальных уменьшенных ковшей для работы в тяжелых условиях обеспечивает возможность разбора трещиноватых скальных и полускальных массивов [8]. Ковш зубьями внедряется в трещину и выламывает отдельности путем поворота ковша. Так экскаватор Liebherr R-994 при разработке трещиноватых известняков с прочностью 60-100 МПа обеспечивал

производительность 500-650 т/ч. Достоинством таких машин является возможность ведения селективной выемки полезного ископаемого и пустой породы.

Для увеличения концентрации напряжений в разрушаемом массиве на гидравлические экскаваторы с оборудованием «обратная лопата» могут устанавливаться сменные рыхлители, что позволяет эффективно разбирать крупноблочные массивы при валовой выемке пород. Степень дробления массива зависит от частоты проходов рыхлителя. Рабочее оборудование экскаватора оснащено адаптером, позволяющим производить быструю замену рыхлителя на ковш и наоборот.

Успешно применяются на карьерах гидравлические молоты различных производителей. При этом имеется тенденция к увеличению массы и энергии удара гидромолотов, поэтому к настоящему времени отдельные образцы такого оборудования вполне могут обеспечивать производительность небольшого горнодобывающего предприятия [9]. Так сверхмощный гидромолот фирмы Kupp марки HM 4000V с массой 6,9т и энергией удара 15кДж, установленный на экскаватор Hitachi EX 700H, при разработке известняков обеспечивает среднюю производительность 250-260т/ч. Преимуществом гидромолота в сравнении с рыхлителями и ковшами является возможность самостоятельно разрушать образующиеся в процессе разрушения массива негабариты.

Ведется успешная эксплуатация экскаваторов с активными зубьями, имеющими пневматический привод. Экскаватор ЭКГ-5В производства АО «Уралмаш» при разработке известняков и доломитов Афанасьевского карьера показал производительность 190-270т/ч [10]. Удельная энергоемкость процесса разрушения пород составила 0,93-1,32кВт·ч/т, что на 25-32% ниже, чем у гидравлических экскаваторов с рыхлителями и уменьшенными ковшами, это можно объяснить тем, что перед выемкой пород экскаватором ЭКГ-5В горный массив предварительно был ослаблен сотрясательным взрыванием.

Общими недостатками всех рассмотренных машин циклического действия является относительно невысокая производительность, выход большого количества крупных отдельностей и негабаритов при разборе массива, невозможность применения конвейерного транспорта без предварительного дробления вынудой породы.

Применить эффективные циклично-поточные и поточные технологии при безвзрывной разработке скальных и полускальных массивов позволяют карьерные комбайны [11-14]. Карьерные комбайны производятся фирмами «Wirtgen», «Krupp», «Alpine Westfalia», «MAN Takraf» и некоторыми другими, появляются первые образцы машин отечественного производства, например комбайн КГФ-80 фирмы «МГГУ-Геофрез» [15]. Наибольшее распространение получили карьерные комбайны горизонтального фрезерования [16], лидером по производству таких машин является фирма Wirtgen. Удельная энергоемкость работ комбайнов горизонтального фрезерования составляет 2,23-3,14 кВт·ч/т.

Более высокая энергоемкость работ карьерных комбайнов по сравнению с машинами циклического действия объясняется дополнительным расходом энергии на дробление горной породы с образованием большого количества новых поверхностей. Однако расчеты показывают, что сокращение последующих энергозатрат на транспортировку (при переходе на конвейерный транспорт) и дробление горной массы позволяют компенсировать высокие энергозатраты, возникающие при выемке горных пород из массива.

В настоящее время карьерные комбайны успешно используются на разработке многих месторождений скального и полускального типа, в частности на карьерах по добыче цементного сырья, в различных регионах России [17]. Применение циклично-поточных технологических схем с карьерными комбайнами в сравнении с традиционными схемами с использованием буровзрывных работ обеспечивает снижение эксплуатационных затрат на добычные работы и повышение качества минеральной продукции за счет селективной выемки сырья.

### Список литературы

1. Корнилков С.В., Яковлев В.Л. Геотехнологические основы энерго- и ресурсосбережения при открытых горных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 11. С. 9-19.
2. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Поточная технология горных работ на карьерах // Горная промышленность. 1995. №2. С. 30-37.
3. Чебан А.Ю. Применение фрезерных комбайнов в строительстве и на добыче строительных материалов // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. №3. С. 105-108.
4. Буткевич Г.Р. Взрывные и безвзрывные способы разрушения скальных пород на карьерах // Строительные материалы. 2011. №2. С. 33-34.
5. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 18-23.
6. Монсини К.Р., Мазманян А.О. Повышение эффективности механического рыхления горных пород // Горный журнал. 1998. №1. С. 39-43.
7. Чебан А.Ю. Способ подготовки прочных горных пород к выемке при ведении строительных и добычных работ // Механизация строительства. 2017. №9. С. 20-23.
8. Анистратов К.Ю. Безвзрывная выемка полускальных пород на карьерах стройматериалов гидравлическими экскаваторами фирмы Liebherr // Горная промышленность. 1998. №2. С. 41-45.
9. Панкевич Ю.Б. Применение мощных гидромолотов фирмы Krupp на безвзрывной разработке месторождений полезных ископаемых решает вопросы экологии и качества продукции // Горная промышленность. 1997. №2. С. 45-48.
10. Буткевич Г.Р. Подготовка скальных пород к выемке // Горная промышленность. 1997. №4. С. 9-11.
11. Чебан А.Ю., Шемякин С.А. Параметры скреперов для внедрения послойно-полосовые технологии открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. Т. 10. №12. С. 285-294.
12. Чебан А.Ю. Экспериментальные исследования процесса разрушения породы резцами фрезерного рабочего органа // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. №1. С. 125-128.
13. Грабский А.А. Перспективы развития технологии горных работ карьерными комбайнами нового технического уровня // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 73-75.
14. Маттис А.Р. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 337с.
15. Бульбашев А.П., Супрун В.И., Гаврилов А.В., Билюкин А.Б. «Интегрированные» технологии отработки сложноструктурных залежей открытым способом // Горная промышленность. 1998. №1. С. 3-7.
16. Чебан А.Ю. Классификация конструкций карьерных комбайнов // Недропользование XXI век. 2015. №5 (55). С. 64-69.
17. Чебан А.Ю. О целесообразности внедрения послойно-полосовых технологий при разработке месторождений цементного сырья в Дальневосточном регионе // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №10. С. 53-58.

## СПОСОБ ДОРАБОТКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

САПЕГИН Ю. К.

ФГБУН Институт горного дела Дальневосточного отделения  
Российской академии наук

**Аннотация.** При достижении предельного проектного контура карьера на более глубоких горизонтах в ряде случаев остаются недоработанные запасы кимберлитовой руды, освоение этих запасов открытым способом с использованием традиционного оборудования экономически нецелесообразно, так как требует дополнительного разноса бортов карьера на всю глубину. В статье предлагается технология доработки месторождений с применением углубочного комплекса, включающего фрезерные машины и гусеничные скреперы. Применение данного комплекса машин позволит механическим путем вести рыхление горных пород и производить транспортировку вынутой горной массы по транспортным коммуникациям углубочной зоны с уклонами до 30%, после чего предполагается перевалка горной массы на перегрузочном пункте на колесные автосамосвалы.

**Ключевые слова:** фрезерные машины, гусеничные скреперы, горная масса, транспортные коммуникации, перегрузочный пункт.

## METHOD OF DEVELOPING KIMBERLITE DEPOSITS OPEN WAY

SAPEGIN YU. K.

Mining Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences

**Abstract.** When the limiting design contour of the quarry reaches the deeper horizons, in some cases there remain undeveloped reserves of kimberlite ore, the development of these reserves by the open method with the use of traditional equipment is economically inexpedient, since it requires an additional separation of the pit edges to the full depth. In the article the technology of completion of deposits with application of the deepening complex including milling machines and caterpillar scrapers is offered. The use of this complex of machines will allow mechanically to loosen the rocks and transport the removed rock mass through the transport communications of the dredging zone with slopes up to 30%, after which it is planned to transfer the rock mass at the reloading station to wheeled dump trucks.

**Keywords:** milling machines, crawler scrapers, rock mass, transport communications, reloading point.

В связи с понижением горных работ на ряде карьеров республики Саха (Якутия), разрабатывающих кимберлитовые месторождения, происходит постепенное ухудшение горно-технических условий добычи. Зачастую при достижении предельного проектного контура карьера на более глубоких горизонтах остаются недоработанные запасы кимберлитовой руды [1]. Доработка этих запасов открытым способом с использованием традиционного оборудования экономически нецелесообразна, так как требует дополнительного разноса бортов карьера на всю глубину, что приведет к выемке оставшихся запасов с очень большим коэффициентом текущей вскрыши, велики транспортные издержки на подъем горной массы со дна карьера.

В настоящее время многие карьеры республики Саха (Якутия) достигли или приближаются к своему проектному контуру, при этом значительные запасы руды

остаются в бортах или под дном карьера. Средневзвешенная глубина действующих алмазородных карьеров составляет 280м, текущий коэффициент вскрыши увеличился до  $3,88\text{м}^3/\text{т}$ , максимально достигнутая глубина на открытых горных работах – 640м, проектная глубина одного из карьеров составляет 720м, перспективная – 750-780м [2].

Средние по размерам кимберлитовые тела со сложным геологическим строением обусловлены двухфазовым образованием и, как следствие, наличием двух разновидностей кимберлитовых пород: порфировым кимберлитом, слагающим дайкообразное тело ранней фазы внедрения, и автолитовой кимберлитовой брекчией, образующей трубчатое тело, секущее порфировые кимберлиты [3]. Порфировые кимберлиты занимают весьма незначительную часть общего объема руды, их прочность на сжатие находится в пределах 2,9-18,1 МПа. Автолитовые кимберлитовые брекчии имеют более высокие прочностные показатели, в частности прочность на сжатие составляет 1,8-53,6МПа. На месторождениях АК «АЛРОСА» физико-механические свойства пород характеризуются следующими основными показателями [3]: объемный вес пород колеблется от 1980 до  $3920\text{кг}/\text{м}^3$ ; плотность пород составляет от 1710 до  $3400\text{кг}/\text{м}^3$ ; предел прочности при сжатии в среднем равен 23,3МПа; предел прочности при растяжении в среднем 2,74МПа; коэффициент крепости по М.М. Протоdjяконову от 1 до 8.

На карьерах АК «АЛРОСА» применяется транспортная система разработки с внешним отвалообразованием, углубочная радиально-кольцевая система развития горных работ от центра к периферии. Руду транспортируют на обогатительные фабрики автосамосвалами различных марок с колесной формулой 4х2, грузоподъемностью до 136 т [4]. Подготовка массива горных пород к выемке в основном ведется с применением буровзрывных работ, диаметры скважин в зависимости от условий применения варьируются и в среднем составляют 190-250мм. Недостатком взрывной подготовки пород к выемке является вероятность повреждения кристаллов алмазов за счет нагружения кристаллосодержащей среды и развития в ней трещин под действием волн напряжений. Важной задачей становится создание эффективных безвзрывных технологий для разработки месторождений с обеспечением сохранности кристаллов алмазов.

Для безвзрывной разработки массивов горных пород слагающих месторождения кимберлитов, апатитов, бокситов, известняков, каменных и бурых углей, а также других полезных ископаемых применяются машины послонного фрезерования – карьерные комбайны и фрезерные машины [5-8]. Так на Аляске объединение Ekati Diamand Mine в 2009 году на карьере Koala перешло на безвзрывную разработку кимберлита двумя комбайнами Wirtgen 2200SM-ТТ в арктическом исполнении [8], позволяющим им работать при температуре до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Переход на слоевую технологию позволил вести открытые работы вблизи подземных выработок, а также обеспечил более высокую сохранность кристаллов алмазов в сравнении с буровзрывной технологией. В процессе эксплуатации было выявлено, что в периоды оттепелей, разрыхленная комбайном руда налипает на конвейерную ленту, в связи с чем погрузка горной массы в автотранспорт затруднена. Поэтому отсыпка горной массы производилась в «валки» минуя конвейеры карьерного комбайна в межгусеничное пространство.

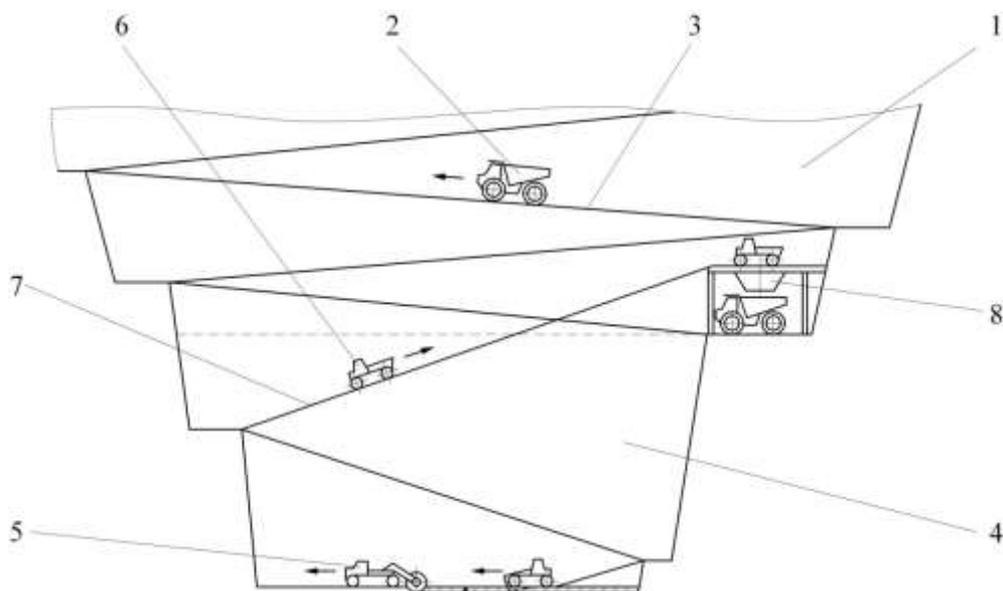
Известен способ разработки кимберлитовых трубок с применением на заключительном этапе карьерных комбайнов, включающий выемку руды комбайнами, погрузку ее в автосамосвалы с последующей транспортировкой к крутонаклонному конвейерному подъемнику, расположенному в наклонном стволе, подъем руды на дневную поверхность и транспортировку автосамосвалами на обогатительную фабрику [9]. Недостатками данного способа являются необходимость строительства наклонного ствола для размещения конвейера, значительное количество перегрузочных операций. Также

необходимо отметить, что при работе карьерных комбайнов совместно с автосамосвалами возникают простои комбайнов при замене автосамосвалов и простои автосамосвалов под погрузкой и в ожидании погрузки [10-12].

Институтом горного дела ДВО РАН предлагается способ доработки крутопадающих месторождений твердых полезных с применением фрезерных машин и гусеничных скреперов. Способ обеспечивает возможность доработки месторождений серийно выпускающейся горной техникой с относительно высокой производительностью, а также расширяет технологическую эффективность ведения горных работ. В последние 25-30 лет в Российской Федерации и за рубежом проведены значительные работы по созданию нового типа машин, а именно, бульдозерно-скреперных агрегатов (БСА), приспособленных для работы в тяжелых горных условиях на вскрышных и добычных работах [13-14]. Конструктивная схема этих машин отличается наличием скреперного ковша между гусеницами, бульдозерное оборудование располагается впереди машины. Данные машины имеют возможность перемещать горную массу или в скреперном ковше или перед бульдозерным отвалом и, наконец, при небольших подъемах пути, одновременно в скреперном ковше и перед бульдозерным отвалом. При транспортировке горной массы на относительно большие расстояния в скреперном ковше, с БСА для облегчения конструкции может быть снят отвал, и они будут работать только в качестве гусеничных скреперов.

ОАО «Челябинский тракторный завод» выпускает БСА марки ДЗ-194 с объемом скреперного ковша  $18\text{ м}^3$ , который создан на основе узлов и деталей серийного дизель-электрического гусеничного трактора ДЭТ-350. Основные параметры ДЗ-194: мощность двигателя – 283кВт; масса – 61200кг; максимальная транспортная скорость передвижения – 16км/ч; габаритные размеры – 9000х5260х4735мм.

Предлагаемый способ доработки кимберлитового месторождения подразделяет отработку карьера двумя очередями, первая очередь 1 – отработана с использованием традиционной технологии с транспортировкой горной массы автосамосвалами 2 с колесной формулой 4х2 по транспортным коммуникациям 3 с уклоном до 10% (рис.).



**Схема доработки кимберлитового месторождения открытым способом**

Вторая очередь 4 – углубочная зона, которую предлагается дорабатывать с помощью комплекса, включающего фрезерную машину 5 и гусеничные скреперы 6. Фрезерная машина 5 обрабатывает породный массив тонкими слоями и оставляет разрыхленную горную массу в открытой траншее позади себя, одновременно фрезерной машиной формируются транспортные коммуникации 7 углубочной зоны карьера. Гусеничные скреперы 6 независимо от фрезерной машины 5 производят выемку разрыхленной горной массы и транспортируют ее по коммуникациям 7 с уклонами до 30%. В нижней части первой очереди карьера устанавливается перегрузочный пункт 8. Гусеничный скрепер въезжает по эстакаде перегрузочного пункта и разгружает горную массу из ковша в приемный бункер. Из приемного бункера горная масса выгружается в кузов колесного автосамосвала и транспортируется на дневную поверхность карьера.

Предлагаемая технология позволяет обеспечить относительно высокую производительность подготовки прочных горных пород к выемке, независимость процессов рыхления и выемки горной массы и возможность обеспечения максимально возможных продольных уклонов транспортных коммуникаций в связи с применением гусеничных выемочно-транспортирующих машин.

### Список литературы

1. Кульминский А.С., Тишков М.В. Способ минимизации потерь руды при подземной разработке кимберлитов // Горный журнал. 2014. № 4. С. 58-59.
2. Чаадаев А.С., Черепнов А.Н., Зырянов И.В., Бондаренко И.Ф. Перспективные направления развития технологий добычи и переработки алмазосодержащих руд в АК «АЛРОСА» (ПАО) // Горный журнал. 2016. № 2. С. 56-61.
3. Бондаренко И.Ф. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии / И.Ф. Бондаренко, С.Н. Жариков, И.В. Зырянов, В.Г. Шеменёв. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. – 172с.
4. Зырянов И.В. Опыт эксплуатации карьерных автосамосвалов в АК «АЛРОСА» // Горный журнал. 2003. № 11. С. 43-48.
5. Чебан А.Ю. Совершенствование технологий открытой разработки месторождений с использованием карьерных комбайнов и отвалообразователей // Записки горного института. 2015. Т. 214. С. 23-27.
6. Чебан А.Ю. К вопросу об определении производительности карьерных комбайнов в различных условиях эксплуатации // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 3. С. 145-148.
7. Чебан А.Ю. Совершенствование безвзрывных циклично-поточных технологий добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 5-9.
8. Пихлер М., Дикк Ф., Панкевич Ю.Б. Комбайны Wirtgen Surface Miner на добыче алмазов на Аляске // Горная промышленность. 2009. № 4. С. 14-15.
9. Способ разработки кимберлитовых трубок: пат. 2196895 Рос. Федерация, МПК E21C 41/26 / Андросов А.Д. [и др.]; опубл. 20.10.2003, Бюл. № 2.
10. Чебан А.Ю. Классификация технологических схем применения карьерных комбайнов // Системы. Методы. Технологии. 2015. №2. С. 159-163.
11. Шемякин С.А., Чебан А.Ю., Клигунов Е.С. Повышение эффективности полотно-полосовой технологии открытых горных работ с применением выемочных машин фрезерного типа и скреперов // Горный журнал. 2003. №4-5. С. 48-50.
12. Чебан А.Ю. Скрепер с комбинированной интенсификацией загрузки ковша // Механизация строительства. 2015. №4. С. 4-6.

13. Кузин Э.Н. Техника ВНИИстройдормаша: от рождения до наших дней // Строительные и дорожные машины. 2014. № 8. С. 56-59.

14. Иванченко С.Н., Шемякин С.А., Чебан А.Ю. Обоснование параметров бульдозерно-скреперных агрегатов для обогащения золотоносных песков // Горное оборудование и электромеханика. 2014. №6. С. 28-32.

УДК 622.684:629.3

## ИННОВАЦИОННАЯ СХЕМА ВСКРЫТИЯ И РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРА «НЮРБИНСКИЙ» АК «АЛРОСА»

АКИШЕВ А. Н.<sup>1</sup>, ЗЫРЯНОВ И. В.<sup>1</sup>, ЛЕЛЬ Ю. И.<sup>2</sup>, ГЛЕБОВ И. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

<sup>3</sup>ФГБУН Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** Предложена инновационная технология вскрытия и разработки Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» до глубины 750 м, соответствующей глубине разведанных запасов. Технология включает два этапа: переход на глубине 370 м с традиционной схемы вскрытия на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами (21-25%) при использовании полноприводных самосвалов CAT-745C грузоподъемностью 41т и переход на глубине 530 м на вскрытие законтурным автомобильным тоннелем спиральной формы, проходимым за зоной сдвижения. Приведены основные параметры инновационной схемы вскрытия. Предложены формулы для предварительного расчета глубины перехода на новую схему вскрытия и необходимой скорости проходки тоннеля. Предлагаемая технология позволяет увеличить углы откосов нерабочих бортов карьера с 45-48 град. до 57-75 град., уменьшить объемы вскрыши до 3-8 раз и эффективно доработать запасы полезного ископаемого.

**Ключевые слова:** карьер, схема вскрытия, уклон автосъезда, полноприводные автосамосвалы, угол наклона борта карьера, тоннель, квершлаг, скорость проходки, проходческий комбайн.

## INNOVATIVE SCHEME OF OPENING AND DEVELOPING DEEP-MOUNTAIN MOUNTAINS OF CAREERS "NYURBINSKY" AK "ALROSA"

AKISHEV A. N.<sup>1</sup>, ZYRYANOV I. V.<sup>1</sup>, LEL Yu. I.<sup>2</sup>, GLEBOV I. A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute "Yakutniproalmaz" AK "ALROSA"

<sup>2</sup>Ural State Mining University

<sup>3</sup>Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Abstract.** The innovative technology of opening and development of the Nyurba mine of AK "ALROSA" to a depth of 750 m, corresponding to the depth of the explored reserves is proposed. The technology includes two stages: the transition at a depth of 370 m from the traditional opening scheme to the autopsy circuit by steeply inclined auto-cones (21-25%) using CAT-745C all-wheel drive dump trucks with a payload capacity of 41 tonnes and a transition at a depth of 530 m to the autopsy by a tunnel-shaped spiral tunnel zone of displacement. The main parameters of the innovative autopsy scheme are given. Formulas are proposed for the preliminary calculation of the depth of the transition to a new autopsy scheme and the required rate of penetration of the tunnel. The offered technology allows to increase corners of slopes of non-working sides of the pit from 45-48 degrees. to 57-75 degrees, to reduce the volumes of stripping up to 3-8 times and to effectively refine the mineral reserves.

**Keywords:** quarry, autopsy scheme, autocart deviation, all-wheel drive dump trucks, pit angle of pit, tunnel, crosscut, speed of penetration, tunneling combine.

Увеличение потенциала открытых горных работ за счет внедрения новых технологических решений по вскрытию месторождений и современного горнотранспортного оборудования с новыми техническими возможностями позволяет пересмотреть концепцию отработки коренных месторождений алмазов и в ряде случаев отказаться от дорогостоящего подземного способа отработки подкарьерных запасов [1, 2].

В качестве примера рассмотрим проблему доработки месторождения трубки «Нюрбинская», где вариант отработки законтурных запасов ограниченного объема руды в интервале глубин 570-750 м подземным способом экономически неэффективен. В 2015 г. институтом «Якутнипроалмаз» разработаны рекомендации по горнотехническим параметрам и порядку отработки карьера до глубины 570 м [3]. Согласно проекту с глубины 370 м (гор. -120 м) предусматривается переход с традиционной схемы скрывания на вскрытие крутонаклонными автосъездами ( $i = 21-25\%$ ) с соответствующим вводом в эксплуатацию полноприводных автосамосвалов с шарнирно-сочлененной рамой. До глубины 370 м горная масса вывозится на поверхность автосамосвалами с колесной формулой 4x2 CAT-777D, CAT-777F, TEREX TR-100 грузоподъемностью 91 т по автосъездам с уклоном 8-9%. С нижних горизонтов горная масса доставляется полноприводными автосамосвалами CAT-745C грузоподъемностью 41 т на перегрузочный пункт, расположенный на горизонте -80 м.

Основные преимущества шарнирно-сочлененных самосвалов (ШСС) в проектном варианте заключаются в использовании крутонаклонных съездов ( $i = 21 - 25\%$ ) и транспортных берм меньшей ширины по сравнению с автосамосвалами с колесной формулой 4x2, что позволяет увеличить углы наклона нерабочих бортов карьера с 45-48 град. до 57-63 град., сократить дополнительный объем вскрыши от размещения транспортных коммуникаций и отработать карьер до глубины 570 м [4]. При обосновании варианта вскрытия была проведена оценка устойчивости нерабочих уступов и бортов в целом. Установлено, что расчетные значения коэффициента запаса устойчивости бортов больше минимально допустимых значений ( $K_d = 1,2$ ).

В 2017 г. институтом «Якутнипроалмаз» совместно с Уральским государственным горным университетом предложена схема вскрытия глубоких горизонтов Нюрбинского карьера законтурным автомобильным тоннелем спиральной формы, позволяющая отработать месторождение до глубины 750 м, соответствующей глубине разведанных запасов [6].

Переход на тоннельное вскрытие осуществляется с глубины 530 м (гор. -280 м). Соединение подземного автомобильного съезда, проходимого за зоной сдвижения, с рабочими горизонтами осуществляется квершлагами, которые проходятся в нерабочих бортах и погашаются по мере понижения горных работ. При такой схеме вскрытия угол наклона нерабочего борта в зоне тоннельного вскрытия не зависит от ширины и уклона транспортных коммуникаций, а определяется только условиями устойчивости. Установлено, что с учетом разницы значений расчетного и допустимого коэффициентов запаса устойчивости бортов на Нюрбинском карьере угол наклона нерабочего борта в зоне тоннельного вскрытия может быть увеличен до 75 град. При указанной схеме вскрытия борт карьера на конец разработки имеет выпуклый циссоидальный профиль. Он обеспечивает сокращение объемов вскрышных работ и наибольшую устойчивость уступов, поскольку его контур максимально разгружен от напряжений [7]. Следствием этого является уменьшение нарушений геологической среды и повышение безопасности горных работ. Тоннельное вскрытие обеспечивает снижение гидродинамического давления грунтовых вод на борт карьера, что также будет способствовать увеличению угла откоса нерабочего борта. Наличие тоннеля позволяет размещать в пределах масси-

ва аппаратуру наблюдения за его состоянием. Кроме того, из тоннеля может быть установлено анкерное крепление, предотвращающее обрушение прибортового массива [8]. Применение ШСС и крутых уклонов автосъездов позволяет значительно сократить капитальные вложения на проходку подземных выработок, что является основным ограничением при практической реализации указанного способа вскрытия.

Исходя из производительности карьера по горной массе, грузооборота и интенсивности движения к рассмотрению был принят однопутный тоннель с разминировкой автосамосвалов в нишах. Расстояние между разминировочными нишами 450 м.

Таким образом, предполагаемая инновационная схема вскрытия Нюрбинского карьера включает два этапа (табл. 1, см. рисунок):

1. На первом этапе в 2024 г. осуществляется переход с традиционной схемы вскрытия на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами при использовании полноприводных шарнирно-сочлененных автосамосвалов грузоподъемностью 41 т.

2. На втором этапе в 2034 г. осуществляется переход с крутонаклонной схемы вскрытия на схему вскрытия законтурным автомобильным тоннелем спиральной формы.

При реализации инновационной схемы вскрытия, кроме обоснования устойчивости нерабочих бортов карьера, требуют решения следующие вопросы:

- обоснование оптимальной глубины перехода на новую схему вскрытия;
- обоснование необходимой скорости проходки тоннеля и квершлагов.

В табл. 2 приведены аналитические зависимости для расчета основных параметров вскрытия: глубины перехода на новую схему вскрытия при известной глубине карьера, увеличения глубины карьера и высоты нерабочего борта при переходе на новую схему вскрытия. Как видно, эти параметры определяются, в основном, конечной глубиной карьера и разницей величин углов нерабочих бортов при различных схемах вскрытия. Зависимости рекомендуется использовать для предварительной оценки предельной глубины перехода на новую схему вскрытия. Превышение этой глубины приводит к необходимости коренной реконструкции карьера, начиная с верхних горизонтов. В противном случае будет невозможно отработать карьер до проектной глубины, предусмотренной новой схемой вскрытия. Окончательное решение по оптимальной глубине перехода принимается по экономическому критерию, учитывающему сокращение объема вскрышных работ, объемы перевозок различными моделями автосамосвалов, себестоимость вскрышных работ и автоперевозок, затраты на проходку и содержание подземных выработок, а также динамику этих показателей [9].

**Таблица 1 – Основные параметры инновационной схемы вскрытия Нюрбинского карьера**

| Параметры   | Значения   |
|---|------------|
| Конечная глубина карьера $H_3$ , м  | 750        |
| Глубина и год перехода с традиционной на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами $H_{п1}$ , м (год)           | 370 (2024) |
| Высота нерабочего борта при переходе с традиционной на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами $H_{н.б1}$ , м | 330        |
| Глубина и год перехода с крутонаклонной на схему вскрытия законтурным тоннелем $H_{п2}$ , м (год)                 | 530 (2034) |
| Высота нерабочего борта при переходе с крутонаклонной на схему вскрытия законтурным тоннелем $H_{н.б2}$ , м       | 510        |

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Руководящий уклон автотранспортных коммуникаций $i$ , %:<br>- в зоне традиционной схемы вскрытия<br>- в зоне крутонаклонного вскрытия <br>- в зоне тоннельного вскрытия  | 8 - 9<br>21 - 25<br>20               |
| Коэффициент развития трассы $k_{р.т.}$ , доли ед.  | 1,083                                |
| Угол откоса нерабочего борта во вмещающих породах, град<br>в том числе:<br>- в зоне традиционной схемы вскрытия $\gamma_1$<br>- в зоне крутонаклонного вскрытия $\gamma_2$<br>- в зоне тоннельного вскрытия $\gamma_3$ | 54 - 63<br>45 - 48<br>57 - 63<br>75  |
| Объем в контуре карьера (по состоянию на 1.01.2017 г.):<br>- руда, млн. т<br>- вскрыша, млн. м <sup>3</sup>  | 9,7<br>44,9                          |
| Средний эксплуатационный коэффициент вскрыши $k_{в.ср.}$ , м <sup>3</sup> /т   | 4,7                                  |
| Годовая производительность карьера по руде, млн. т/год:<br>- 2018 – 2024 г. г.<br>- 2025 – 2033 г. г.<br>- 2034 – 2040 г. г.   | 0,87 – 1,05<br>0,40<br>0,23          |
| Модели и грузоподъемность автосамосвалов, т:<br>- в зоне традиционной схемы вскрытия<br>- в зонах крутонаклонного и тоннельного вскрытия   | CAT – 777D (91т)<br>CAT – 745C (41т) |
| Высота уступа $h_y$ , м<br>- рабочего<br>- нерабочего  | 15<br>30 – 45                        |
| Средняя скорость углубки карьера $h_T$ , м/год   | 25                                   |
| Угол откоса рабочего борта $\phi$ , град   | 16 – 18                              |
| Общая протяженность вскрывающих подземных выработок, м<br>В том числе:<br>- тоннель, м<br>- горизонтальные квершлагги, м   | 1300<br>1100                         |
| Необходимая скорость проходки тоннеля $v_T$ , м/мес  | $\geq 19,7$                          |

Критерий выбора оптимальной глубины перехода можно записать следующим образом

$$Z = \sum_{t=0}^T (\mathcal{E}_t + K_t) \frac{1}{(1 + E)^t} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $Z$  – сумма приведенных затрат за период оптимизации, млн. руб.;

$T$  – горизонт расчета (длительность оцениваемого периода), лет.

$$T = t_3 - t_n, \quad (2)$$

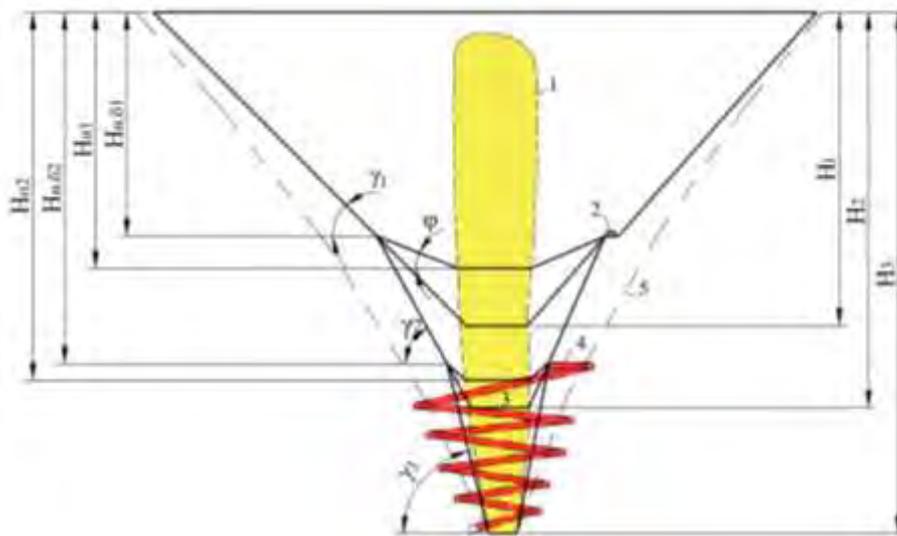
$t_3$  – год, в котором осуществляются затраты;

$t_n$  – год, в котором приводятся затраты;

$\mathcal{E}_t$  – эксплуатационные затраты по варианту на  $t$ -ом шаге расчета, млн. руб.;

$K_t$  – капитальные затраты на  $t$ -ом шаге расчета, млн. руб.;

$E$  – норма дисконта, доля. ед.



**Инновационная схема вскрытия глубоких горизонтов карьера «Нюрбинский»:**  
 1 – рудное тело; 2 – перегрузочный пункт; 3 – тоннельные автосъезды; 4 – квершлаг; 5 – граница зоны действия открытых горных работ (поверхность скольжения);  $H_1$  – конечная глубина карьера при традиционной схеме вскрытия с использованием автосамосвалов с колёсной формулой 4×2, м;  $H_2$  – конечная глубина карьера при переходе на вскрытие крутонаклонными съездами и использовании полноприводных автосамосвалов, м;  $H_3$  – конечная глубина карьера при переходе на тоннельное вскрытие, м;  $H_{п1}$  – глубина перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами, м;  $H_{п2}$  – глубина перехода на тоннельное вскрытие, м;  $H_{н.б1}$  – высота нерабочего борта карьера при переходе на вскрытие крутонаклонными съездами, м;  $H_{н.б2}$  – высота нерабочего борта карьера при переходе на тоннельное вскрытие, м;  $\gamma_1$  – угол откоса нерабочего борта карьера при традиционной схеме вскрытия, град;  $\gamma_2$  – угол откоса нерабочего борта карьера при вскрытии крутонаклонными съездами, град;  $\gamma_3$  – угол откоса нерабочего борта карьера при тоннельном вскрытии, град;  $\varphi$  – угол откоса рабочего борта, град.

**Таблица 2 – Зависимости для расчета основных параметров вскрытия**

| Параметры   | Схема вскрытия  |   |
|---|---|---|
|   | I этап<br>Вскрытие крутонаклонными автосъездами   | II этап<br>Вскрытие автомобильным тоннелем  |
| Глубина перехода на новую схему вскрытия при известной конечной глубине карьера | $H_{п1} = H_1 - \frac{(H_2 - H_1) \cos \gamma_2 \sin(\gamma_2 - \varphi)}{\sin(\gamma_2 - \gamma_1) \cos \varphi}$            | $H_{п2} = H_2 - \frac{(H_3 - H_2) \cos \gamma_3 \sin(\gamma_3 - \varphi)}{\sin(\gamma_3 - \gamma_2) \cos \varphi}$            |
| Конечная глубина карьера  | $H_2 = H_1 + \frac{(H_1 - H_{п1}) \sin(\gamma_2 - \gamma_1) \cos \varphi}{\cos \gamma_2 \sin(\gamma_2 - \varphi)}$            | $H_3 = H_2 + \frac{(H_2 - H_{п2}) \sin(\gamma_3 - \gamma_2) \cos \varphi}{\cos \gamma_3 \sin(\gamma_3 - \varphi)}$            |
| Увеличение глубины карьера при переходе на новую схему вскрытия                 | $\Delta H = H_2 - H_1 = \frac{(H_1 - H_{п1}) \sin(\gamma_2 - \gamma_1) \cos \varphi}{\cos \gamma_2 \sin(\gamma_2 - \varphi)}$ | $\Delta H = H_3 - H_2 = \frac{(H_2 - H_{п2}) \sin(\gamma_3 - \gamma_2) \cos \varphi}{\cos \gamma_3 \sin(\gamma_3 - \varphi)}$ |
| Высота нерабочего борта при переходе на новую схему вскрытия                    | $H_{н.б1} = H_1 - \frac{(H_2 - H_1) \cos \gamma_2 \sin \gamma_1}{\sin(\gamma_2 - \gamma_1)}$                                  | $H_{н.б2} = H_2 - \frac{(H_3 - H_2) \cos \gamma_3 \sin \gamma_2}{\sin(\gamma_3 - \gamma_2)}$                                  |

В рассматриваемом варианте глубина перехода на новые схемы вскрытия ( $H_{п1} = 370$  м,  $H_{п2} = 530$  м) установлено по экономическому критерию.

При рассмотрении инновационной схемы вскрытия большое значение имеет также вопрос обоснования необходимой скорости проходки тоннеля. Для непрерывного функционирования схемы вскрытия время погашения соединительного квершлага на верхнем горизонте должно соответствовать времени ввода в эксплуатацию нового квершлага на нижнем горизонте карьера. Таким образом скорость проходки тоннеля должна быть согласована с временем формирования борта карьера в конечном положении на отметке портала. Расстояние по вертикали между порталами тоннеля в верхней зоне тоннельного вскрытия принято 30 м, что соответствует высоте нерабочего уступа, в нижней зоне 15 м.

Должно соблюдаться условие

$$(T_T + T_{кв}) \geq T_{\sigma}, \quad (2)$$

где  $T_{\sigma}$  – продолжительность формирования нерабочего борта карьера на высоту  $h_{п}$ , лет;  
 $h_{п}$  – расстояние по вертикали между порталами тоннеля, м;  
 $T_T$  – продолжительность строительства тоннеля на глубину  $h_{п}$ , лет;  
 $T_{кв}$  – продолжительность строительства квершлага, обеспечивающего выход в рабочую зону карьера, лет.

$$T_{\sigma} = \frac{h_{п}}{h_{\sigma}}, \quad (3)$$

где  $h_{\sigma}$  – вертикальная скорость формирования нерабочего борта карьера, м/год.

Опуская промежуточные выражения, получим значение необходимой скорости проходки тоннеля

$$v_T \geq \frac{h_T(\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\sigma)(h_{п}k_{р.т} + i_T l_{кв})}{h_{п}(\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\gamma)i_T}. \quad (4)$$

где  $v_T$  – скорость проходки тоннеля, м/год;  
 $h_T$  – вертикальная скорость углубки карьера, м/год;  
 $\varphi$  – угол откоса рабочего борта карьера, град;  
 $\sigma$  – угол направления углубки, град;  
 $\gamma$  – угол откоса нерабочего борта карьера, град;  
 $i_T$  – уклон автодороги в тоннеле, доли ед.;  
 $k_{р.т}$  – коэффициент развития трассы, доли ед;  
 $l_{кв}$  – длина квершлага, м.

Выражение (4) определяет требования к скорости проходки законтурного тоннеля.

Рассчитаем  $v_T$  для условий Нюрбинского карьера. Исходные данные (см. табл. 1):  $h_T = 25$  м/год;  $\gamma = 75$  град.;  $\varphi = 16$  град.;  $\sigma = 85-90$  град.;  $i_T = 0,20$ ;  $l_{кв} = 100$  м;  $k_{р.т} = 1,083$ ;  $h_{п} = 30$  м. Получим  $v_T \geq 237$  м/год или  $v_T \geq 19,7$  м/мес.

При строительстве железнодорожных тоннелей на Сарбайском карьере ССГПО скорость строительства составляла 180 м/год (15 м/мес) на один забой. При проведении исследования были рассмотрены современные технологии проходки и крепления автодорожных тоннелей в горнотехнических условиях аналогичных условиям кимберлитовых карьеров. Рассматривались две технологии проходки тоннеля и квершлагов: буровзрывной и с помощью проходческих комбайнов. Исходя из физико-механических

свойств вмещающих горных пород Нюрбинского карьера наиболее предпочтительным является комбайновый способ, обеспечивающий лучшие технико-экономические показатели и большую скорость проходки. В качестве проходческого оборудования выбран комбайн избирательного действия АМ-105 фирмы «Фест Альпине». Установка анкерной крепи производится машиной для торкретирования Sprauмес 7110. Вывозка породы при проходке тоннеля осуществляется технологическими автосамосвалами САТ-745С (41т). Расчеты показывают, что использование принятой технологии при проходке однопутного тоннеля с площадью сечения 29,7 м<sup>2</sup> обеспечивает максимальную скорость проходки 60-70 м/мес, что в 3-3,5 раза выше необходимой [10].

Таким образом необходимая скорость проходки тоннеля определяется скоростью углубки карьера, уклоном автодорог и вертикальным расстоянием между порталами, зависит от углов наклона рабочего и нерабочего бортов карьера и направления углубки. Наибольшее влияние на значение необходимой скорости оказывают первые три фактора:  $h_r$ ,  $i_r$  и  $h_n$ .

При уменьшении уклона тоннеля с 20% до 5% необходимая скорость проходки возрастает в 2,4-3,0 раза и приближается к максимально возможной по техническим условиям. Это обуславливает необходимость и эффективность применения полноприводных автосамосвалов и повышенных уклонов при тоннельном вскрытии глубоких горизонтов карьеров.

В настоящее время в Уральском государственном горном университете и институте «Якутнипроалмаз» проводится детальное технико-экономическое обоснование предложенной инновационной схемы вскрытия. Основные результаты исследования удостоены диплома II степени в номинации «Инновационный проект» открытого конкурса инновационных проектов АК «АЛРОСА» (ПАО) в 2017 г.

### Список литературы

1. Комплексные исследования и внедрение инновационных геотехнологий добычи и глубокой переработки кимберлитов / Чантурия В.А., Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р. и др. // Горный журнал. – 2011. – №1. – С. 10-13.
2. Еремин Г.М. О концепции разработки рудного тела на всю его мощность сверхглубоким карьером при крутых бортах с применением подземных выработок / Еремин Г.М. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №11. – С. 192-197.
3. Разработать рекомендации по горнотехническим параметрам и порядку отработки карьера «Нюрбинский» до глубины 570 м с учетом уточненных физико-механических свойств, вмещающих пород: отчет о НИР/Якутнипроалмаз. Руководитель Акишев А. Н. – г. Мирный, 2015. – 50 с.
4. Зырянов И.В. Испытания САТ-740В на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» / Зырянов И.В., Цымбалова А.И. // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – №9. – С. 22-25.
5. Изучить физико-механические свойства вмещающих пород в окрестностях карьера на трубке «Нюрбинская» по инженерно-геологическим скважинам до глубины абс. отм. – 400 м: Отчет о НИР / Якутнипроалмаз. Руководитель Бокий И.Б. – Мирный. – 2014. – 28 с.
6. Акишев А.Н. Технологические решения по вскрытию и отработке глубоких горизонтов Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» / Акишев А.Н., Лель Ю.И., Ильбульдин Д.Х., Мусихина О.В., Глебов И.А. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2017. – № 7. – С. 4-12.

7. Акишев А.Н. Оптимизация проектных решений по отработке карьера «Юбилейный» / Акишев А.Н., Костырин В.Ф. // Горный журнал. – 2000. – №7. – С. 33-35.
8. In-the-wall haulage for open-pit mining / Hustrulid W.A., Seegmiller B., Stephansson O. // Mining Engineering. – 1987. – V. 39. – № 2. – P.119-123.
9. Лель Ю. И. Технологические схемы перехода на новые модели автосамосвалов при доработке глубоких карьеров / Лель Ю. И., Глебов А. В., Ильбульдин Д. Х., Мусихина О. В., Дунаев С. А. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 4-12.
10. Носенко А.С. Строительство транспортных тоннелей с применением комбайновой технологии / Носенко А.С., Домницкий А.А., Шемшура Е.А. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Сер.: Технические науки. – 2016. – №3. – С. 63-70.

УДК 622.7

## ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЦЕССА РУДООТДЕЛЕНИЯ В КАРЬЕРЕ МУРУНТАУ

ТУРСУНОВ Б. Ж., БОТИРОВ Т. В., ТАШПУЛАТОВ Д. К., ХАЙРУЛЛАЕВ Б. И.  
Навоийский государственный горный институт

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема эффективности разработки низкосодержащих руд месторождения Мурунтау и решение путём внедрения оптимального процесса рудоотделения, с описанием методов и схем применения трёх методов. Описание установки и рудосортировочного комплекса. Отличительной особенностью рентгеноабсорбционного сепаратора, в котором имеет место более полное извлечение кусков пород с ценными компонентами. Также приводятся аналогичные примеры внедрения этого метода в зарубежных странах и возможные преимущества по кусковой сепарации по сравнению с порционной сепарацией.

**Ключевые слова:** рентгеноабсорбционный сепаратор, руда, предварительное обогащение, дробление, дробильно-сортировочный комплекс.

## PERSPECTIVE OF APPLICATION OF THE OPTIMUM PROCESS OF ORE DEPOSITION IN THE MURUNTAIE CAREER

TURSUNOV B. Zh., BOTIROV T. V., TASHPULATOV D. K., HAIRULLAEV B. I.  
Navoi State Mining Institute

**Abstract.** The paper considers the problem of the effectiveness of the development of low-grade ores of the Muruntau deposit and a solution through the introduction of an optimal ore separation process, with a description of the methods and schemes for applying the three methods. Description of the plant and ore classification complex. A distinctive feature of the X-ray Absorption Separator, in which there is a more complete extraction of pieces of rocks with valuable components. Similar examples of the introduction of this method in foreign countries and possible advantages for lump separation in comparison with the partial separation

**Keywords:** X-ray absorptive separator, ore, preliminary enrichment, crushing, crushing and sorting complex.

На сегодняшний день в карьере Мурунтау НГМК Узбекистан наблюдается снижение качества золотосодержащих руд, а также увеличение объёмов техногенных мас-

сивов с некондиционными рудами. Это в свою очередь ведёт к увеличению затрат на транспортировку, которая как известно составляет до 60 % от общих затрат на добычу полезного ископаемого и дальнейшее обогащение руд с разубоживающими породами. Экономическая эффективность дальнейшей переработки подобных руд методами глубокого обогащения снижается в силу того, что на измельчение поступает руда с малым содержанием полезного компонента, при этом на процесс измельчения приходится до 70% энергии, затрачиваемой на переработку руды, ведёт уменьшению срока службы оборудования. Обеспечить рентабельное освоение таких руд возможно за счет увеличения содержания полезного компонента в товарной руде, поступающей на переработку, что может быть достигнуто путем внедрения в карьер низкзатратной и высокопроизводительной технологии покусковой сепарации руды после циклов крупного и среднего дробления. Данный подход позволит исключить из дальнейших процессов переработки часть пустой горной массы и одновременно повысить содержание полезного компонента в руде, направляемой на обогатительный передел [1].

Известны фотометрический и рентгенорадиометрический (рентгенофлуоресцентный) методы, основанные на крупно и мелко-порционные руды, в которых имеет место после сепарации определённое количество вмещающих пустых пород. Предлагаемое оборудование относящееся к рентгеноабсорбционному (РАМ, ХРТ, рентгеновская трансмиссия) методу подразумевает сепарацию основанную на различии в ослаблении потока рентгеновского излучения рудными и породными минералами, именно отделение руд в которых содержится ценный компонент, т.е. покусковую сепарацию.

Руда равномерно распределяется на поверхности конвейерной ленты, а интенсивность взаимодействия радиационных волн и её регистрация осуществляется на площади занимаемой на конвейерной ленте. Нижний предел крупности составляет около 20 мм. Поэтому горную массу, после дробления на грохоте распределяем на три или 4 класса крупности. Руда меньше нижнего предела отправляется на обогатительную фабрику, выше верхнего предела по замкнутому циклу на додрабывание : -200+100, -100+50, -50+25 (20) мм или -250+150, -150+75, -75+35, -35+20 мм. Сепарация горной массы этих классов крупности называется крупнокусковой сепарацией.

Энергия характеристического рентгеновского излучения (ХРИ) атомов (спектральная линия определенной длины волны и частоты) связана с атомным номером элемента  $Z$  функциональным соотношением:

$$E \approx Z^2.$$

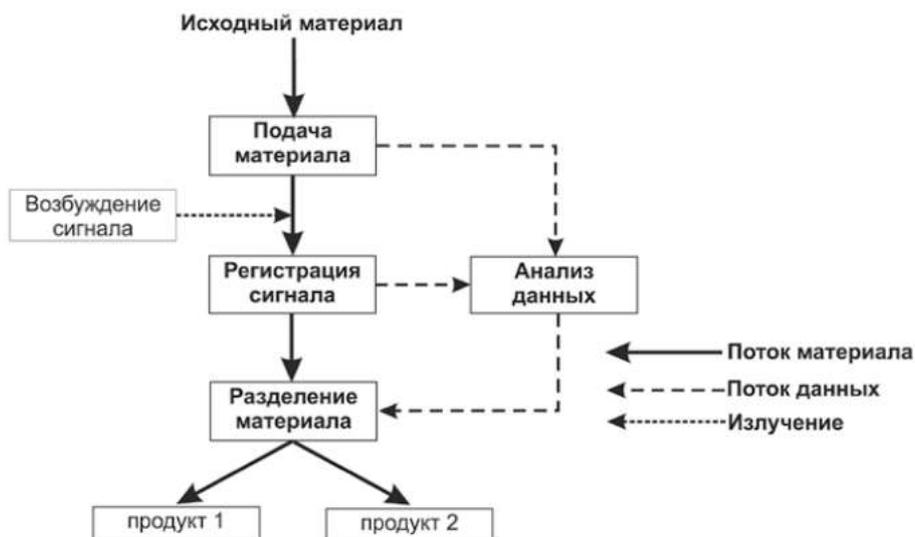
Отсюда следует, что каждый атом имеет свой, присущий только ему, рентгеновский образ и атомы каждого элемента можно распознать по испускаемым ими характеристическим лучам.

Это характерное излучение атомов теснейшим образом связано со строением их электронных оболочек. Возбуждение атома и испускание ХРИ происходит при выбивании электрона с его внутренних орбит. При этом атом переходит в возбужденное (неустойчивое) состояние с повышенной энергией, избыток которой практически мгновенно снимается переходом внешнего электрона на внутреннюю орбиту – атом переходит в нормальное состояние (состояние с минимальной энергией) [2].



**Рис. 1. Принцип работы сортировочного оборудования**

Принцип работы сортировочного оборудования схож в независимости от применяемых технологий и описывается следующим образом: Исходный материал при помощи вибропитателя подается на транспортный узел сепаратора (1) (транспортная лента или наклонный лоток), по которому руда подается в зону облучения и регистрации (2). Получаемый при этом массив данных обрабатывается по специальному алгоритму. В результате чего данные переводятся в графический вид, анализируются ЭВМ сепаратора, которая сравнивает их с предварительно заданными пороговыми (граничными) значениями (Рис. 1). При превышении сигнала от заданного граничного значения ЭВМ подает сигнал на исполнительный механизм, который выделяет кусок из траектории движения общего потока с помощью пневматических форсунок [2].



**Рис. 2. Принципиальная схема рентгеноабсорбционного сепаратора**

Подобный метод реализован на месторождении Кокпатас (Навоийский горно-металлургический комбинат, Узбекистан). Исходная руда, после крупнопорционной сортировки направляется на покусковую сепарацию, где из материала с содержанием золота 2,6 г/т выделяется концентрат, выход которого составляет около 50%, содержанием золота около 4,6 г/т. Извлечение золота в концентрат составляет около 87%. Применение комбинированной технологии радиометрического обогащения позволило существенно увеличить срок эксплуатации месторождения за счет вовлечения в эксплуатацию за балансовых руд, а также дополнительно получить 17% товарной продукции [1]. Аналогичные комбинированные схемы радиометрического обогащения применяются на уранодобывающих предприятиях России и Украины [2,3]. Схожей технологической задачей является выделение из материала с забалансовым содержанием золота богатой фракции, переработка которой экономически целесообразна. При решении данной задачи требования к отвальным хвостам предварительного обогащения не являются жесткими, так как исходный материал уже является забалансовым. Решение этой технологической задачи актуально для средних и крупных месторождений с не высоким исходным содержанием золота в руде. Примером решения подобной задачи является опыт фотометрической сепарации забалансовых руд месторождения Witwatersrand, фабрика Kloof Gold. В результате разделения, из руды с содержанием золота 0,25–0,32 г/т был получен концентрат, выход которого составил менее 10%, с содержанием золота 3–5 г/т при извлечении Au около 70%. Задача разделения руды на технологические сорта позволяет получить продукты, переработка которых эффективна по различным последующим технологическим схемам. Данная технология актуальна при отработке месторождений, где руды представлены несколькими типами, например окисленные и сульфидные золотосодержащие руды [4].

На одной из обогатительных фабрик компании Transvaal Gold Mining Estates (ЮАР) при обогащении золотосульфидного типа руд для перечистки хвостов тяжелосредней сепарации применяется рентгеноабсорбционная сепарация. На рентгеноабсорбционную сепарацию направляется материал крупностью -35+10 мм с содержанием золота 1,3 г/т. В результате разделения выделяются отвальные хвосты, выход которых составляет 70%, с содержанием золота 0,2 г/т и концентрат с содержанием золота 3,8 г/т.

Предварительному обогащению подлежит класс 40-150 мм. При этом в хвосты РРС выделяется около 60% крупнокускового материала (Au ~ 0,6-0,9 г/т).

Рентгеноабсорбционный сепаратор следует расположить вслед за уже имеющимся на рабочем борту карьера Мурунтау НГМК Узбекистан дробильно-перегрузочным пунктом.

Экономические последствия использования рентгеноабсорбционного сепаратора могут быть весьма разнообразными:

- Внедрения рентгеноабсорбционного сепаратора обусловлен сокращением затрат на перевозку (расстояние от карьера до ГМЗ-2 ~ 5 км, около 2млн.т/год) и переработку руды на ГМЗ-2, за счет чего достигается снижение затрат на уровне 10-15% (при сравнительных расчетах на руду с исходным содержанием золота ~1,5 г/т).

- Возможное увеличение производительности карьера по сырой руде (в операциях рудоподготовки) с сохранением объемов и повышением качества руды, подаваемой в цеха измельчения и традиционного обогащения (за счет сброса крупнокусковых хвостов рентгеноабсорбционной сепарацией), увеличение объемов производимых фабрикой концентратов и рост стоимости реализуемой продукции;

- Увеличение объёмов выпускаемой готовой продукции за счёт повышения извлечений полезных компонентов при раздельном глубоком обогащении типов и сортов руд;
- Снижение общих эксплуатационных расходов за счет уменьшения расходов электроэнергии, материалов, реагентов в последующих переделах рудоподготовки и обогащения благодаря сбросу части хвостов в стадии предварительного рентгеноабсорбционного обогащения;
- Уменьшение затрат на мелкое дробление и измельчение из-за более длительного срока службы оборудования при меньших нагрузках, уменьшение числа дробилок мелкого дробления, мельниц и технологического оборудования благодаря выделению крупнокусковых хвостов, в составе которых чаще всего преобладает наиболее твердая и абразивная фаза руды;
- Снижение расходов на транспортирование руды от мест добычи до обогатительной фабрики расстояние которой составляет около 5 км, около 2млн.т/год ;
- Расширение сырьевой базы месторождений за счёт снижения бортовых содержаний полезных компонентов и вовлечения в переработку весьма бедных и забалансовых руд;
- Повышение стоимости готовой продукции за счёт улучшения сортности и потребительских свойств готовых концентратов при удалении рентгеноабсорбционной сепарации вредных примесей;
- Уменьшение затрат на хранение отходов, поскольку складирование и хранение кусковых хвостов дешевле хранения измельченных хвостов глубокого обогащения [3].

Широки перспективы применения рентгеноабсорбционной сепарации:

- Переработка месторождений, удаленных от мест глубокого обогащения;
- Переработка принципиально новых, ранее не обогащавшихся видов сырья;
- Предварительное обогащение бедных и забалансовых руд и неметаллических полезных ископаемых;
- Предварительное обогащение руд при производительных малоселективных системах отработки;
- Разделение руд на технологические типы и сорта, перерабатываемые в дальнейшем по различным технологическим схемам и режимам;

Рентгеноабсорбционный сепаратор относится к методам покусковой сепарации. Она буквально «видит» те элементы, которые находятся в ценных и сопутствующих минералах. В подавляющем большинстве, она не требует отмывки сепарируемого материала, обладает высокой чувствительностью, позволяющей обнаруживать многие элементы с содержанием 0,01-0,1%, рассортировывать руды, содержание в которых ценных компонентов составляет несколько десятков процентов, выделять концентраты заданного качества.

Технология рентгеноабсорбционного сепаратора реализуется путем создания на борту карьера вслед за дробильно-перегрузочным пунктом. Технологическое оборудование РСК включает в себя узел рудоподготовки (дробилка, грохот, конвейеры и др. вспомогательное оборудование) и непосредственно сам сепарационный комплекс на основе рентгеноабсорбционных сепараторов. Рудосортировочные комплексы могут иметь различное исполнение: в закрытом и открытом вариантах, в зависимости от производительности, климатических условий, рельефа местности, решаемых задач и технологических свойств сырья. Рудосортировочные комплексы и вся технология рентге-

ноабсорбционного обогащения в целом отличаются низкими капитальными затратами и достаточно быстро (4-6 месяцев) могут быть внедрены на любом объекте [4].

Преимущества данной технологии заключаются в возможности обогащения руд в широком диапазоне крупности при низких капитальных, эксплуатационных затратах и соблюдении норм экологической безопасности.

#### Список литературы

1. Ревнифцев В.И., Рыбаков Т.Г., Леман Е.П. Рентгенорадиометрическое обогащение комплексных руд цветных и редких металлов.-М.: Недра,1990.
2. Цыпин Е.Ф., Тюшева М.Н., Комлев С.Г. и др. Рентгенорадиометрическая сепарация медно-цинковых руд// Цветные металлы .-1992. №12.
3. Фёдоров Ю.О., Коренев О. В., Цой В.Н. Возможности радиометрического обогащения и опробования полезных ископаемых// Цветные металлы .-1995. №8.
4. Санакулов К.С., Руднев С.В. Комплекс рентгенорадиометрического обогащения сульфидных руд месторождения Кокпатас // Горный вестник Узбекистана — 2010. №1. С. 3–6.

УДК 622.7:622.343

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ РУД В КАРЬЕРЕ КАЛЬМАКИР

ТУРСУНОВ Б. Ж.<sup>1</sup>, ТАШПУЛАТОВ Д. К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Навоийский государственный горный институт

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема эффективности разработки низко-содержащих руд и решение путём оптимизации процесса предварительного обогащения с применением мобильной установки РРС.

**Ключевые слова:** рентгено-радиометрический метод, дробление, предварительное обогащение.

## EFFICIENCY OF APPLICATION OF PRELIMINARY ENRICHMENT OF ORES IN THE QUALIER OF KALMAKIR

TURSUNOV B. Zh.<sup>1</sup>, TASHPULATOV D. K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Navoi State Mining Institute

**Abstract.** The problem of the efficiency of the development of low-grade ores and the solution by optimizing the pre-enrichment process with the use of a mobile RRS unit are considered.

**Keywords:** X-ray radiometric method, crushing, preliminary enrichment.

Известно, что мировые запасы меди истощаются. Руды становятся всё беднее, ещё несколько лет назад металлурги работали с рудами более 2-3,5%, то сегодня идет активная тенденция разработки менее 1% меди в руде. Именно такое низкое содержание меди в руде Кальмакирского месторождения Алмалыкского горно-металлургического комбината [1].

Для подготовки к обогащению таких руд требуются ещё большие энерго-затраты, затраты на мелкое дробление и измельчение из-за более длительного срока службы оборудования при больших нагрузках, увеличения числа дробилок мелкого дробления, мельниц и технологического оборудования из-за вмещающих пустых пород, в составе которых чаще всего преобладает наиболее твердая и абразивная фаза руды. А также это ведёт к увеличению объёмов техногенных массивов, в составе которых находятся убогие руды, что ведёт к большим потерям и уменьшению производительности карьера по руде. После обогащения низкосодержащих руд увеличиваются объёмы хвостов которые в свою очередь требуют больших площадей и затрат для их содержания.

Для решения этой задачи в этой статье рассмотрено применения одного из мобильного модуля предварительного обогащения в чаше карьера.

Этот метод основан на взаимодействии различных видов излучений с веществом. С его помощью можно решать различные технологические задачи переработки руд, включая предварительную концентрацию (предконцентрацию) горной массы.

Применение процессов предконцентрации на информационной основе радиометрических методов сортировки и сепарации горной массы, во многих случаях позволяет вовлекать в эксплуатацию значительную часть забалансовых и некондиционных руд и в то же время, в некоторой степени, сокращать объем, подаваемых на глубокое обогащение, руд; снизить долю тонкоизмельченных хвостов и устранить ряда других трудностей. С помощью радиометрических методов сортировки и сепарации можно создавать эффективную ресурсосберегающую технологию переработки минерального сырья, обеспечивающую полное и комплексное использование полезных ископаемых.

Рентгенорадиометрический (рентгенофлуоресцентный) метод основан на регистрации возбужденного рентгеновскими трубками либо источниками гамма-излучения характеристического рентгеновского излучения атомов определяемых элементов, входящих в состав горных пород.

Для реализации данного метода в промышленных условиях используются сепараторы различных моделей: ИКПС-1, РРМ-Ф, РСЭ-50, СРФ и другие.

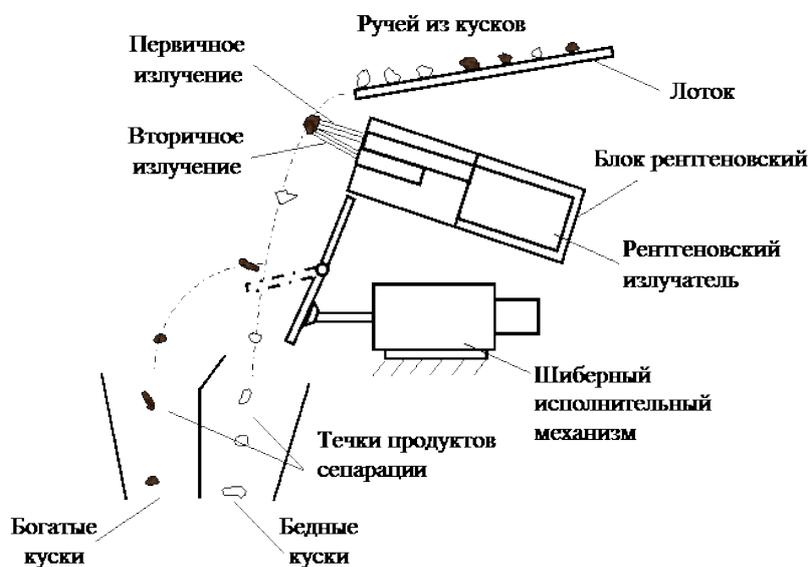
Сепараторы СРФ4-50, СРФ4-150 (рис. 1, 2) для повышения производительности, надежности и качества могут оснащаться двухрядным устройством исполнительных механизмов (на каждый ручей) – СРФ4-50/2, СРФ4-150/2. Верхний ряд отбивает мелкие куски, нижний ряд отбивает крупные куски или работают поочередно. Этим достигается увеличение производительности и улучшение качества сортировки [2].

В трехпродуктовых сепараторах СРФ4-3П-150 за одну стадию сортировки получается три продукта (концентрат-промпродукт-хвосты).

Установка состоит из следующих самостоятельных модулей на санях:

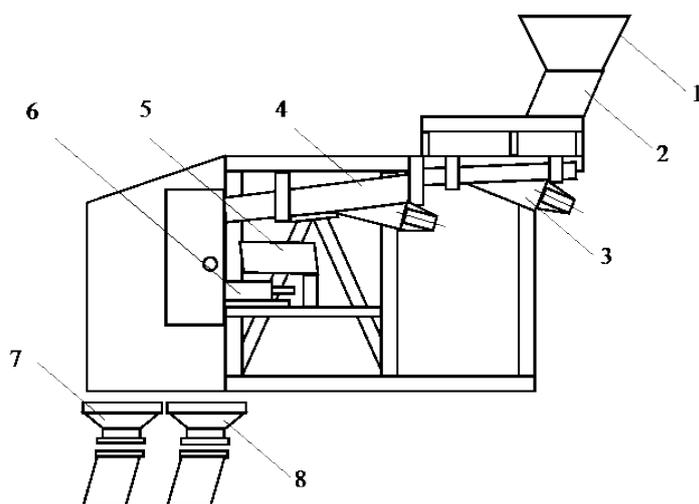
- модуль приемного бункера с пластинчатым питателем ТК-16;
- модуль грохочения с неподвижным колосниковым грохотом по классу минус 200 мм с трехситным грохотом ГВИ-33 (ширина 1250 мм, при длине просеивающей поверхности 4300 мм). Грохот оснащен резиновыми ситами СДАЛ с ячейкой 40x20 мм - среднее сито; 25x5 мм - нижнее сито. Верхнее сито выполнено из резиновых колосников с зазором 50 мм;
- модуль рентгено-радиометрических сепараторов СРФ4-150М и СРФ4-50М с вибропитателями и приемным бункером (первая очередь);
- модуль с двумя рентгено-радиометрическими сепараторами СРФ4-50М с вибропитателями, с промежуточным конвейером и приемным бункером (вторая очередь);
- модуль операторской РРС.

Руда из приемного бункера на грохочение подается конвейером, оснащенным площадкой для рудоразборки от нерудных включений (корни деревьев, металлопрокат, ветошь), присутствующих в значительном количестве.



**Рис. 1. Схема работы сепаратора СРФ**

Продукты грохочения отводятся системой конвейеров: минус 200+50 мм и минус 50+20 мм в приемные бункера модуля РРС. Минус 20+5 мм для накопления и последующей фотометрической сепарацией с предварительной отмывкой. Минус 5+0мм для последующей фабричной переработки. Класс +200 мм выводится лотком самостоятельный отвал для последующей ручной сортировки, либо для додрабливания по мере накопления и возврата на РРС. Отсортированные продукты отгружаются фронтальным погрузчиком в автосамосвалы [3].



**Рис. 2. Сепаратор СРФ-4-150:**

1 – приёмный бункер; 2 – переходник; 3 – питатель; 4 – раскладчик; 5 – блок электронный; 6 – исполнительный механизм; 7 – течка продукта; 8 – течка хвостов

Сортировка руды на РРС производится по наличию сортируемого материала. Пустая порода хвостовым конвейером сбрасывается в породный отвал. Товарная руда концентратным конвейером подается на площадку товарной руды для отгрузки на МОФ.

Низкая производительность первой очереди установки РРС обусловлена наличием только одного сепаратора СРФ4-50М в модуле, предназначенного для сортировки класса минус 50+20 мм, фактическая часовая производительность составила 3 т/час. После запуска модуля второй очереди с двумя рентгено-радиометрическими сепараторами СРФ4-50М суточная производительность установки должна составить до 1000 т/сутки (при содержании немашинных классов 50-60 %).

Исполнительные механизмы, в зависимости от установленной логики отбора в ИУС сепаратора, могут работать в двух режимах:

- отбор рудных кусков;
- отбор породы.

Целесообразно отбивать те куски, которых меньше по количеству (легче работать исполнительным механизмам).

Управление качеством продуктов разделения производится порогом сепарации.

Рентгенорадиометрическая сепарация (РРС) применима для самых разнообразных полезных ископаемых: руды цветных и редких металлов, золото и серебро, платиноиды, редкоземельные элементы, полиметаллы, олово, вольфрам, марганец, хром, бокситы, кварциты, магнезиты, флюориты, нефелины, силлиманиты, апатиты, уголь, отходы металлургических производств (шлаки, футеровка).

Испытания, проведенные на Валенторском месторождении бедной медно-цинковой сульфидной руды, дали следующие результаты:

1) из фракции крупностью -100+30 мм бедной медно-цинковой руды с содержанием меди 1,18 и цинка -1,64 % удается выделить 67,4 % хвостов обогащения с содержанием меди 0,27 и цинка - 0,44 %;

2) полученный медно-цинковый концентрат содержит более 3,0 % *Cu* и 4,1 % - *Zn*. Его выход составил 32,4 %;

3) в концентрат извлекается почти 85 % меди и 82 % цинка;

4) полученные результаты позволяют рекомендовать рентгенорадиометрическую сепарацию для обогащения бедных и забалансовых сульфидных медно-цинковых руд Валенторского месторождения;

5) для окончательной разработки технологии обогащения необходимо проведение опытно-промышленных испытаний на представительной технологической пробе массой до 7 т на промышленном рентгенорадиометрическом сепараторе, что позволит предложить аппаратно-технологическую схему и выполнить технологический регламент для проектирования рудосортировочного комплекса [4].

Предлагаемый модуль можно использовать в чаше карьера Кальмакир.

Отличительной особенностью запущенной установки РРС от внедренных ранее аналогичных конструкций является следующее:

- модульное исполнение установки, что позволяет отказаться от капитальных фундаментов и предоставляет возможность передислокации участка сортировки с места на место в зимний период без затрат на демонтаж основного оборудования, используя стандартные ленточные конвейера в транспортабельном исполнении;

- предварительная сухая сортировка руды производится на виброгрохоте ГВИ-33 (усиленный вариант, специально разработанный на базе ГВИ-53) оснащенном резиновыми колосниками и ситами СДАЛ, забывающимся «трудным» классом и имеющи-

ми срок службы в 40-80 раз больше, чем обычные стальные плетеные сита, и позволяющие получить более качественную классификацию.

- модульная установка грохочения позволяет получить классы руды минус 5+0мм, которые обогащены по меди до 1.5 г/т;

- модульная установка грохочения позволяет получить классы руды минус 20+5мм со средним содержанием до 3 г/т, пригодные для последующей фотометрической сепарации после предварительной промывки.

В целом переставная модульная установка РРС позволит вовлечь в промышленную отработку отвалы забалансовых руд прошлых лет при снижении транспортных затрат, сократить разубоживание при выемке маломощных рудных тел текущей добычи, продлить срок эксплуатации действующих месторождений, значительно увеличив полноту отработки месторождений [4].

#### Список литературы

1. Ревнифцев В.И., Рыбаков Т.Г., Леман Е.П. Рентгенорадиометрическое обогащение комплексных руд цветных и редких металлов.-М.: Недра,1990.

2. Цыпин Е.Ф., Тюшева М.Н., Комлев С.Г. и др.Рентгенорадиометрическая сепарация медно-цинковых руд// Цветные металлы .-1992. №12.

3. Фёдоров Ю.О., Коренев О. В., Цой В.Н. Возможности радиометрического обогащения и опробования полезных ископаемых // Цветные металлы .-1995. №8.

4. Санакулов К.С., Руднев С.В. Комплекс рентгенорадиометрического обогащения сульфидных руд месторождения Кокпатас // Горный вестник Узбекистана. 2010. № 1. С. 3–6.

УДК 622.235.213

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВЗРЫВЧАТОЙ СМЕСИ ПРИ ЗАРЯЖАНИИ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

СИНИЦЫН В. А., МЕНЬШИКОВ П. В., КУТУЕВ В. А., ШЕМЕНЕВ В. Г.  
ФГБУН «Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** Взрывчатые вещества, применяемые для разрушения горных пород, являются в большинстве своем смесью двух и более компонентов. Одним из направлений снижения затрат на взрывные работы является внедрение взрывчатых смесей, приготовляемых в условиях горных предприятий. В настоящее время разработаны, испытаны и внедрены на ряде предприятий технологии изготовления многокомпонентных взрывчатых смесей на основе гранулированной аммиачной селитры, раствора окислителя и горючего. Степень гомогенности смеси является основным параметром, определяющий качество взрывчатого вещества, получаемого в результате смешивания.

**Ключевые слова:** взрывчатые вещества, взрывчатые смеси, зарядание скважин, качество смешивания, компоненты взрывчатых веществ, степень гомогенности смеси.

## DETERMINATION OF QUALITY OF MIXING COMPONENTS OF EXPLOSIVE MIXTURE WHEN CHARGING EMULSION EXPLOSIVE SUBSTANCES

SINITSYN V. A., MEN'SHIKOV P. V., KUTUEV V. A., SHEMENEV V. G.  
Institute of mining of the Ural branch of the RAS

**Annotation.** Explosives used for the destruction of rocks, for the most part, a mixture of two or more components. One of the directions of reducing the cost of blasting is the introduction of explosive mixtures, prepared in the conditions of mining enterprises. At present, the technology of manufacturing multicomponent explosive mixtures based on granular ammonium nitrate, oxidant solution and fuel has been developed, tested and introduced at a number of enterprises. The degree of homogeneity of the mixture is the main parameter determining the quality of the explosive obtained as a result of mixing.

**Keywords:** explosives, explosive mixtures, charging wells, mixing quality, components of explosives, degree of homogeneity of the mixture.

Взрывчатые вещества (ВВ) состоят из жидких, гранулированных и порошкообразных компонентов и других добавок, стабилизирующих, газифицирующих или придающих какие-либо другие требуемые свойства приготавливаемому ВВ. Различные взрывчатые смеси с необходимыми характеристиками получают за счет различных комбинаций вышеперечисленных компонентов [1–3].

Крайними состояниями системы, состоящей из нескольких компонентов, являются состояния полного смешения и полного распределения. Все пробы, взятые из продукта, где полностью смешаны все компоненты, должны иметь одинаковый состав.

Состояние полного смешения, определяемое статистически, является неупорядоченным состоянием. Это такое состояние, при котором вероятность нахождения частиц данного компонента в произвольной точке смеси есть величина постоянная, равная доле этого компонента во всей смеси.

Под степенью перемешивания в общем случае следует понимать взаимное распределение двух или большего количества веществ после совершенного перемешивания всей системы.

Степень перемешивания гомогенности является показателем эффективности. Степень гомогенности смеси – это основной параметр, определяющий качество получаемого в результате смешения продукта.

Промышленные ВВ в большинстве своем являются смесью двух или более компонентов. Например: граммонит – это смесь гранулолола и гранулированной аммиачной селитры, игданит – смесь гранулированной аммиачной селитры и дизельного топлива, гранэммит – смесь эмульсии порэмита, дизельного топлива и гранулированной аммиачной селитры.

Сущность приготовления ВВ состоит в кратковременном (5–6 сек) и интенсивном перемешивании составляющих, обеспечивающих равномерную агрегацию смеси требуемого состава. Смешение компонентов ВВ производится путем соединения объемов различных компонентов с целью получения однородной смеси. Оно может осуществляться самопроизвольно (например, смешивание в процессе истечения компонентов под действием силы тяжести) или же принудительным путем, в результате подвода извне механической энергии (например, с помощью мешалок) [4].

Смесь компонентов является статистической системой, поскольку число частиц того или иного компонента очень велико, а их расположение в объеме смеси совершенно случайно, что отвечает требуемому статистикой условию случайности событий.

Практически степень гомогенности смеси определяется путем отбора проб и их анализа. В результате получается группа чисел, которая представляет собой состав проб, т.е. объемную концентрацию компонентов. Среднее содержание какого-либо компонента определяется по уравнению:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 \dots x_N}{N}, \quad (1)$$

где  $N$  – число взятых проб;

$x_1, x_2$  – относительные концентрации какого-либо компонента во взятой пробе;

$\bar{x}$  – среднее содержание, какого-либо компонента в отобранных пробах.

Уровень колебаний от среднего значения оценивается стандартом колебаний  $\sigma_x$  коэффициентом вариации  $V$  и дисперсией .

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_k (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}; \sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N P_k (x_i - \bar{x})^2}{N-1}; V = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}, \quad (2)$$

где  $P_k$  – доля компонента в смеси;

$x_i$  – значение  $i$ -й величины  $x$ , которая является числом, представляющим концентрацию какого-либо компонента в пробе взрывчатой смеси.

Распределение показателей характеристик взрывчатых смесей должно проводиться при условии достаточного для этого числа проб, при котором данная выборка может быть включена в обработку.

Используя коэффициент вариации, характеризующий уровень колебаний, относительной концентрации какого-либо компонента от среднего значения, а также случайные ошибки в процессе отбора и обработки проб, можно определить необходимое число проб.

$$N = t_0^2 \frac{V^2}{K^2_{\text{доп}}}, \quad (3)$$

где  $t_0$  – нормированное отклонение;

$K_{\text{доп}}$  – допустимая ошибка.

Величина нормированного отклонения показателей, характеризующих качество смеси может быть принята в зависимости от задаваемой надежности  $P$

|             |      |      |      |      |      |       |      |
|-------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| $P$ .....   | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 0,955 | 0,99 |
| $t_0$ ..... | 1,15 | 1,28 | 1,44 | 1,65 | 1,96 | 2,00  | 2,58 |

Для определения величин, характеризующих качество перемешивания, можно принимать следующие коэффициенты надежности для рядовых производственных определений – 0,80; для производственно-исследовательских работ – 0,90.

При этих коэффициентах надежности величина допустимой ошибки составляет: для отдельных рядовых производственных измерений – 10-15 %, для исследовательских работ – 5-10 %.

Совокупность всех возможных значений случайной величины и соответствующих им вероятностей составляет распределение случайной величины. Всякое соответ-

стве между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями определяется законом распределения случайно величины. Нормальное распределение – наиболее часто встречающийся вид распределения. С ним приходится сталкиваться при анализе производственных погрешностей, контроле технологических процессов и режимов, а также при анализе и прогнозировании различных явлений в других областях знаний.

Анализ общих условий возникновения нормального распределения показывает, что наиболее важным условием является формирование признака как суммы большого числа взаимно независимых слагаемых, ни одно из которых не характеризуется исключительно большой, по сравнению с другими, дисперсией.

В случае приготовления ВВ, путем смешения компонентов, колебания объемной концентрации того или иного составляющего вещества вызываются различными причинами, которые независимы друг от друга. К ним относятся колебания режима работы дозирующих устройств и погрешности при их регулировке, колебания свойств подаваемых компонентов (крупность, вязкость) и т.д. Каждая из этих причин влияет на содержание компонентов в смеси, так что, то отклонение, которое фактически фиксируется при анализе проб, является суммой большого числа отклонений. Подача компонентов при изготовлении взрывчатой смеси производится дозирующими устройствами, отрегулированными на определенные параметры, обусловленные рецептурой ВВ. В этой связи отклонения объемной концентрации какого-либо компонента будут одного порядка, т.е. суммарное отклонение является случайной величиной с нормальным законом распределения.

Этот вывод подтверждается исследованиями, проведенными авторами при гравитационном смешении компонентов ВВ. Эти исследования показали, что содержание различных компонентов ВВ хорошо аппроксимируется функциями нормального и лог-нормального законов.

### Список литературы

1. Трубецкой К.Н. Современные проблемы разрушения массивов горных пород [Текст] / К.Н. Трубецкой, С.Д. Викторов // Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород: сб. тр. Междунар. конф./ под ред. К.Н. Трубецкого, С.Д. Викторова. – М.: ИПКОН, 1988. – С. 7-17.
2. Кутузов Б.Н. Взрывное и механическое разрушение горных пород [Текст] / Б.Н. Кутузов. – М.: Недра, 1973. – 312 с.
3. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США [Текст] / В.Л. Барон, В.Х. Кантор. – М.: Недра, 1989. – 376 с.
4. Сеницын В.А. Повышение эффективности подготовки горной массы на карьерах с применением ВВ на основе обратных эмульсий / Канд. дисс... Екатеринбург, – 143 с.

*Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-17-00, а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств и финансирования по конкурсному проекту № 18-5-5-10.*

## ТЕХНОЛОГИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБЫЧНОГО АГРЕГАТА

ЧЕБАН А. Ю., СЕКИСОВ Г. В., ХРУНИНА Н. П.  
ФГБУН Институт горного дела Дальневосточного отделения  
Российской академии наук

**Аннотация.** В статье предлагается технология открытых горных работ с применением конвейерного транспорта и добычного агрегата, который предназначен для выемки взорванной горной массы, ее предварительного дробления до кондиционных размеров и последующей погрузки на конвейер, что обеспечивает нахождение минимально возможного количества производственного персонала и горного оборудования в карьере. Конструкция предлагаемого добычного агрегата позволяет преобразовывать циклический процесс черпания горной массы в непрерывный процесс ее погрузки. Поворот приемного бункера агрегата вслед за выемочным оборудованием обеспечивает возможность разгрузки ковша непосредственно в плоскости черпания горной массы, что исключает необходимость разворота выемочного оборудования в плане, сокращает время цикла и повышает производительность выемочных работ.

**Ключевые слова:** выемочное оборудование, ковш, горная масса, дробление, кондиционные фракции, конвейерный транспорт.

## TECHNOLOGY OF OPEN MOUNTAIN WORKS WITH APPLICATION OF EXTRACTABLE UNIT

CHEBAN A. Yu., SEKISOV G. V., KHRUNINA N. P.  
Mining Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences

**Abstract.** The article proposes the technology of open mining with the use of conveyor transport and a mining unit, which is designed to excavate the blasted rock mass, its preliminary crushing to the standard dimensions and subsequent loading onto the conveyor, which ensures the minimum possible number of production personnel and mining equipment in the quarry. The design of the proposed production unit makes it possible to convert the cyclic process of scooping the rock mass into the continuous process of its loading. Rotating the receiving hopper of the unit, following the excavating equipment, allows the bucket to be unloaded directly in the plane of the rock mass, which eliminates the need for turning the cutting equipment in the plan, shortens the cycle time and improves the performance of the excavation work.

**Keywords:** excavating equipment, ladle, rock mass, crushing, conditioning fractions, conveyor transport.

Разработка горных массивов сложенных полускальными и скальными породами в основном ведется с применением буровзрывных работ. Главным преимуществом взрывного рыхления прочных горных пород является эффективное и высокопроизводительное дробление массива. Однако при взрыве образуется горная масса неравномерного гранулометрического состава от пылевидных частиц до негабаритов, что делает невозможным применение конвейерного карьерного транспорта без предварительного крупного дробления горной массы [1-2]. Выемка из навала взорванной горной массы и ее погрузка в транспортные средства ведется одноковшовыми экскаваторами и погрузчиками [3-5].

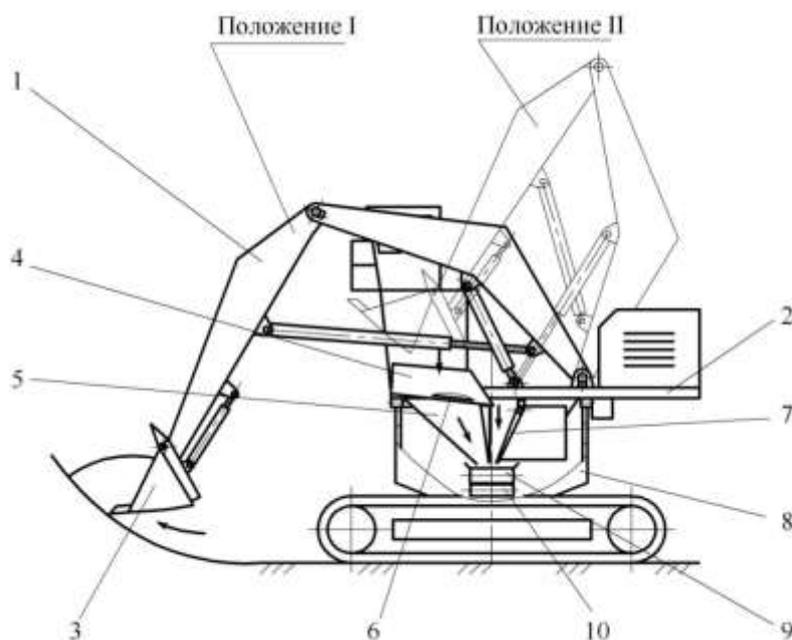
Наиболее высокие технико-экономические показатели достигаются при разработке месторождений твердых полезных ископаемых с применением поточных технологий, данные технологии применяются в основном при разработке рыхлых и мягких горных пород с применением выемочных машин непрерывного действия, конвейеров и средств гидромеханизации [6-8]. При полной конвейеризации карьерного транспорта обеспечивается поточность транспортных операций, автоматизация управления и высокая производительность труда. Карьерный конвейерный комплекс в общем случае включает конвейеры различного назначения: забойные, сборочные, подъемные, магистральные, отвальные [1]. Эффективным оборудованием, работающим совместно с конвейерным транспортом, являются выемочные машины непрерывного действия, в частности роторные экскаваторы обычного или компактного исполнения, однако данные машины обеспечивают возможность разработки горных пород прочностью на одноосное сжатие до 15-30МПа. Карьерные комбайны и фрезерные машины достаточно успешно разрабатывают массивы, сложенные породами прочностью до 50-80МПа [9-10], однако эти машины обычно работают совместно с автосамосвалами и другими горными машинами циклического действия и реже с конвейерным транспортом (преимущественно стреловые карьерные комбайны).

При выемке взорванной полускальной или скальной горной массы одноковшовыми экскаваторами или погрузчиками, работающими в комплексе с конвейерным комплексом необходимо предварительно подготовить горную массу к транспортировке путем дробления крупных отдельностей до фракций кондиционной крупности, для чего используются самоходные дробильно-перегрузочные установки различных конструкций [11-12]. Такие установки имеют в своем составе приемный бункер, дробилку, устройства для непрерывной подачи горной массы на конвейер, ленточный конвейер. Таким образом, в забое вместе с экскаватором работает еще одна горная машина, что требует дополнительного места для ее размещения, усложняет маневрирование техники в забое, увеличивает количество персонала и себестоимость ведения выемочно-перегрузочных работ. Кроме того, после черпания горной массы из забоя одноковшовый экскаватор для разгрузки горной массы в приемный бункер дробильно-перегрузочной установки вынужден разворачиваться на угол  $90^{\circ}$  и более, а после выгрузки ковша вновь поворачиваться к забою, что ведет к увеличению времени цикла работы одноковшового экскаватора и снижает его производительность.

Авторами предлагается технология разработки месторождений твердых полезных ископаемых с применением добычного агрегата и конвейерного транспорта. Добычной агрегат ведет черпание взорванной горной массы из забоя выемочным оборудованием 1 типа прямая лопата гидравлического экскаватора (рис). При этом поворотная платформа 2 вместе с выемочным оборудованием 1 поворачивается к месту черпания, внедрение ковша 3 в забой и его наполнение горной массой (положение I выемочного оборудования) осуществляется под управлением машиниста агрегата. Поскольку одновременно с поворотом выемочного оборудования 1 агрегата происходит поворот приемного 4 и промежуточного 5 бункеров, грохота 6 и дробилки 7 относительно неподвижного корпуса 8, то разгрузка горной массы из ковша 3 осуществляется в плоскости черпания в приемный бункер 4 (положение II выемочного оборудования 1). В связи с этим не требуется разворота в плане выемочного оборудования 1 к месту разгрузки, что значительно снижает длительность цикла выемки. Управление выемочным оборудованием 1 при движении ковша 3 под разгрузку в приемный бункер 4 производится системой управления добычного агрегата в автоматическом режиме.

Из приемного бункера 4 горная масса попадает на грохот 6, где происходит отделение кондиционных фракций, направляемых через промежуточный бункер 5 на питатель 9 зафиксированный в корпусе 8. Крупнокусковая (некондиционная) горная масса подается на дробилку 7, где она измельчается до кондиционных размеров необходимых для ее перемещения конвейерным транспортом, после чего также попадает на питатель 9. Питатель 9 непрерывно подает кондиционную горную массу на ленточный конвейер 10 агрегата, который взаимодействует с забойным конвейером системы непрерывного транспорта карьера.

Подача горной массы ленточным конвейером 10 добычного агрегата при необходимости может вестись также в автомобильный или железнодорожный транспорт. Непрерывная подача горной массы ленточным конвейером 9 позволяет значительно снизить динамические нагрузки на загружаемые транспортные средства, в сравнении с циклической погрузкой горной массы ковшом экскаватора.



**Схема добычного агрегата**

Применение добычного агрегата при работе с взорванной горной массой позволяет совместить процессы выемки, предварительного дробления и погрузки измельченной до кондиционных размеров горной массы на карьерный конвейерный транспорт, что обеспечивает нахождение минимально возможного количества производственного персонала и горного оборудования в карьере. Конструкция предлагаемого добычного агрегата позволяет преобразовывать циклический процесс черпания горной массы в непрерывный процесс ее погрузки. Поворот приемного бункера агрегата вслед за выемочным оборудованием обеспечивает возможность разгрузки ковша непосредственно в плоскости черпания горной массы, что исключает необходимость разворота выемочного оборудования в плане, сокращает время цикла и повышает производительность выемочных работ.

Применение предлагаемого добычного агрегата в комплекте с конвейерным транспортом позволит снизить затраты на выемку и транспортировку горной массы и повысит рентабельность горного производства.

### Список литературы

1. Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю., Щадов М. И. Справочник по открытым горным работам: М.: НТЦ «ГОРНОЕ ДЕЛО», 2010. 700 с.
2. Чебан А.Ю. Техническое оснащение предприятий по добыче нерудных строительных материалов в Хабаровском крае // Механизация строительства. 2017. №2. С. 23-26.
3. Трубецкой К.Н. Рациональные технологические схемы с использованием карьерных погрузчиков / К.Н. Трубецкой, М.Н. Котровский, Н.О. Ключев // Горный журнал. 1984. № 6. С. 16-18.
4. Щадов В. М. Открытая разработка сложноструктурных угольных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока. 2-е изд., стереотип. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 298 с.
5. Special equipment for quarry operations // Zement-Kalk-Gips Int. 2014. V. 67. № 10. P. 12.
6. Чебан А.Ю. Гидромеханизированная добыча строительных горных пород в бассейне реки Амур // Вестник государственного университета морского и речного флота им. С.О. Макарова. 2016. № 2 (36). С. 73-78.
7. Чебан А.Ю. Разработка русловых и обводненных месторождений песка и песчано-гравийных материалов в Приморском крае // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. №5. С. 97-103.
8. Ржевский В. В. Открытые горные работы. Часть I. Производственные процессы: М.: Недра, 1985. 509 с.
9. Чебан А.Ю. Способ доработки глубокого карьера с применением фрезерных машин // Маркшейдерия и недропользование. 2017. №4. С. 23-29.
10. Чебан А.Ю. Крепер с комбинированной интенсификацией загрузки ковша // Механизация строительства. 2015. №4. С. 4-6.
11. Трубецкой К.Н. Современные методы открытой разработки месторождений карбонатного сырья за рубежом / К.Н. Трубецкой, А.Л. Куницын, Ю.Б. Панкевич. М, 1973. 64 с.
12. Чебан А.Ю. Устройство для перегрузки насыпных строительных материалов из автосамосвалов в железнодорожный транспорт // Механизация строительства. 2016. Т. 77. №2. С. 33-36.

УДК 622.271

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИН ПОСЛОЙНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

ЧЕБАН А. Ю., СЕКИСОВ Г. В., ХРУНИНА Н. П.  
ФГБУН Институт горного дела ДВО РАН

*Аннотация.* Разработка сложноструктурных месторождений полезных ископаемых традиционными способами с использованием буровзрывных работ приводит к перемешиванию полезного ископаемого с вмещающей породой, выходу негабаритов, ухудшению экологической ситуации. Применение машин послойного фрезерования при разработке ряда месторождений

позволяет отказаться от буровзрывных работ, повысить коэффициент извлечения полезных ископаемых из недр и улучшить их качество за счет селективной выемки. Машины послойного фрезерования оснащаются как стандартным рабочим органом, предназначенным для разработки пород средней крепости, так и специальными рабочими органами, предназначенными для работы в легких или тяжелых условиях. В статье предлагается конструкция фрезерного рабочего органа оснащенного комбинированными режущими инструментами и технология применения машины послойного фрезерования при разработке сложноструктурных месторождений сложенных горными породами различной крепости. Предлагаемое технико-технологическое решение позволяет повысить производительность выемочной машины, снизить энергоемкость разрушения горных пород и уменьшить их переизмельчение.

**Ключевые слова:** безвзрывная выемка, горная масса, фрезерный рабочий орган, поворотные резцы, гидроцилиндр.

## IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES FOR OPEN DEVELOPMENT OF COMPLEX STRUCTURAL DEPOSITS WITH APPLICATION OF LAYER-MILLING MACHINES

CHEBAN A. Yu., SEKISOV G. V., KHRUNINA N. P.

Mining Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences

**Abstract.** The development of complex mineral deposits by traditional methods with the use of drilling and blasting operations leads to mixing of the mineral with the host rock, the exit of oversize, and the deterioration of the ecological situation. The use of slice milling machines in the development of a number of deposits allows us to abandon drilling and blasting operations, increase the extraction rate of minerals from the subsoil and improve their quality through selective excavation. Layer-milling machines are equipped as a standard working body designed for the development of medium-strength rocks, as well as special working bodies designed to work in light or heavy conditions. The article proposes the design of a milling tool equipped with combined cutting tools and the technology of using a layer-by-layer milling machine for the development of complex-structure deposits of rocks of various strengths. The proposed technical and technological solution allows increasing the productivity of the excavating machine, reducing the energy intensity of rock destruction and reducing their re-grinding.

**Keywords:** non-explosive excavation, rock mass, milling workpiece, rotary incisors, hydrocylinder.

Российская Федерация является одной из крупнейших горнодобывающих стран мира. Минерально-сырьевой комплекс исключительно важен для поддержания устойчивого состояния экономики страны на текущем этапе и создания условий успешного технологического развития базовых отраслей промышленности в перспективе [1-2]. Основной объем твердых полезных ископаемых добывается с помощью открытого способа разработки. В связи с появлением новых и усовершенствованных горных машин, транспортного, бурового и погрузочного оборудования, оптимизацией транспортных систем, обеспечением повышения устойчивости бортов карьеров, увеличением высоты уступов, уточнением горнотехнических и горно-геологических условий разработки месторождений, созданием новых методов проектирования, глубина ведения открытых работ постепенно понижается [3-6].

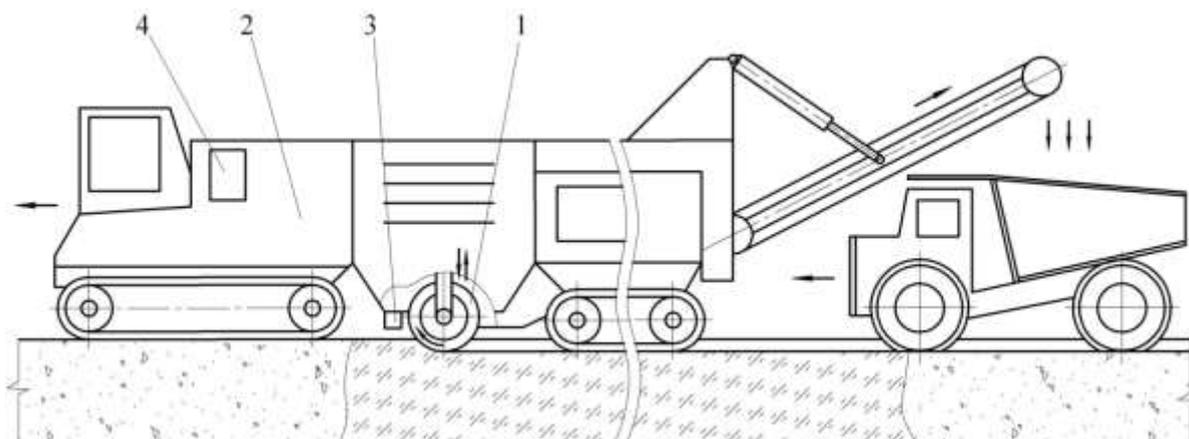
Разработка сложноструктурных месторождений полезных ископаемых традиционными способами с использованием буровзрывных работ приводит к перемешиванию полезного ископаемого с вмещающей породой, выходу негабаритов, ухудшению экологической ситуации и другим проблемам [7-8]. Применение традиционных технических

средств и технологий не позволяет качественно вести селективную выемку угля, карбонатных пород и других полезных ископаемых при разработке сложноструктурных месторождений. В настоящее время в мире активно внедряются тонкослоевые циклично-поточные технологии разработки сложноструктурных месторождений с использованием машин послойного фрезерования: карьерных комбайнов и горных фрез [9-12]. Применение машин послойного фрезерования при разработке месторождений известняков, угля, гипса, мергеля, бокситов, фосфоритов, использование их на вскрышных работах при фрезеровании массивов, сложенных песчаниками, сланцами, алевролитами, аргиллитами, мерзлыми мелкозернистыми породами, позволяет отказаться от буровзрывных работ, повысить коэффициент извлечения полезных ископаемых из недр и улучшить их качество за счет селективной выемки.

В качестве рабочего органа машин послойного фрезерования обычно используются барабан или шнек, на которых в определенной последовательности установлены режущие инструменты. В зависимости от физико-механических характеристик, разрабатываемых горных пород, тип и марки режущих инструментов целесообразно изменять для обеспечения наиболее эффективного процесса резания. Машины послойного фрезерования оснащаются как стандартным рабочим органом, предназначенным для разработки пород средней крепости, так и специальными рабочими органами, предназначенными для работы в легких или тяжелых условиях [13-14]. Например, так называемые «угольные» специальные рабочие органы оборудованы резами с увеличенным вылетом для обеспечения большего выхода крупных фракций. Резание слабых по крепости горных пород (до 2 единиц по шкале М.М. Протоdjяконова) ведется, как правило, клиновидными резами выемочных машин. При движении клиновидного реза в породе перед его лобовой поверхностью образуется, так называемое, уплотненное ядро. Уплотненное ядро создает давление на вышележащий слой породы, в результате чего возникает предельное состояние, когда сопротивление вышележащего слоя становится меньше давления со стороны уплотненного ядра, происходит отделение элемента стружки. Для работы на крепких породах такие клиновидные резы с достаточно широкой режущей кромкой непригодны, поскольку их кромки отгибаются, сминаются и быстро изнашиваются. Для пород с крепостью больше 2 единиц по шкале М.М. Протоdjяконова целесообразно применять тангенциальные резы, при работе которых перед сферическим наконечником также формируется уплотненное ядро, но его тело направлено вниз в сторону массива породы [15]. Уплотненное ядро давит на породу вперед, вниз и в боковые стороны, что вызывает отрыв части породы с боковых сторон и спереди по направлению движения рабочего органа. Естественно, что такие рабочие органы не целесообразно применять для резания слабых пород, поскольку энергоемкость процесса становится значительно выше, чем при резании клиновидными резами.

При переходе машины послойного фрезерования к отработке от одного типа горной породы к другой на сложноструктурных месторождениях, сложенных породами разной крепости, для обеспечения минимальной энергоемкости резания и получения большей производительности целесообразна замена рабочего органа на другой, предназначенный для работы в конкретных условиях (легких, средних или тяжелых) или замена резов. Однако, данная замена приведет к значительным по времени простоям машины. Использование рабочего органа при работе с породами большей крепости, чем та, на которую он рассчитан, приведет к быстрому износу и поломке резов. А при использовании рабочего органа на заведомо менее крепких породах, чем те, для которых он приспособлен, приведет к неполному использованию технических возможностей горной машины по производительности и переизмельчению горной массы.

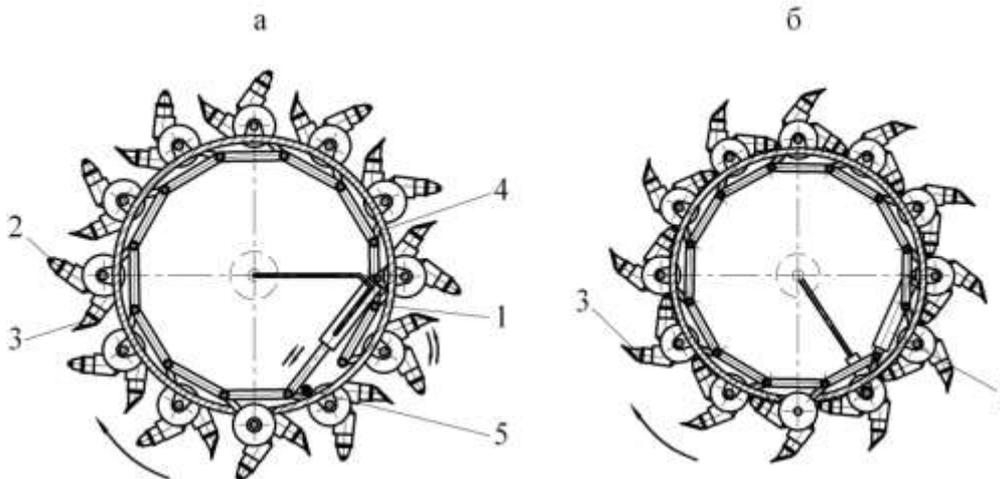
Институтом горного дела Дальневосточного отделения РАН предлагается технология открытой разработки сложноструктурных месторождений с применением машин послойного фрезерования, которая обеспечивает оптимизацию процесса разрушения с помощью комбинированных режущих инструментов фрезерного рабочего органа, в зависимости от прочностных характеристик горной породы. Настройка технологических параметров в зоне обработки, в том числе скорости вращения рабочего органа 1 и скорости продвижения машины послойного фрезерования 2 (рис. 1), осуществляется автоматически с учетом прочностных характеристик горной породы, по мере продвижения машины 1 датчики 3 системы распознавания границ слоев горных пород подают сигнал на системный блок 4.



**Рис. 1. Машина послойного фрезерования в комплекте с автосамосвалом при разработке сложноструктурного месторождения**

После обработки полученной информации осуществляется срабатывание гидроцилиндров 1 фрезерного рабочего органа (рис. 2) и комбинированные режущие инструменты 2, 3 устанавливаются в нужном положении, поворачиваясь с помощью поворотных рычагов 4, тяг и ступиц относительно шарнирных соединений. Для разработки крепких горных пород в рабочее положение приводятся режущие инструменты 2 (рис. 2а), а для разработки горных пород малой крепости - режущие инструменты 3 (рис. 2б). После поворота комбинированных режущих инструментов 2, 3 жесткие фиксаторы 5 блокируют поворотные рычаги 4 для снятия нагрузки со штоков гидроцилиндров 1.

На рисунке 3 изображены элементы автоматической системы управления процессом работы машины послойного фрезерования на сложноструктурном месторождении, включающей датчики  $D_1 \dots D_i$  распознавания границ слоев горных пород, жесткие фиксаторы  $\Phi_1 \dots \Phi_n$  и гидроцилиндры  $\Gamma_1 \dots \Gamma_n$  поворота комбинированных режущих инструментов.



**Рис. 2. Схема фрезерного рабочего органа с комбинированным режущим инструментом:** а - в рабочем положении режущие инструменты для разработки крепких горных пород; б - в рабочем положении режущие инструменты для разработки горных пород малой крепости



**Рис. 3. Блок-схема управления фрезерным рабочим органом**

Использование машин послойного фрезерования с исполнительными органами оснащенными комбинированным режущим инструментом, на разработке вскрышных пород, сложенных песчаниками, сланцами, алевролитами, аргиллитами, мерзлыми мелкозернистыми породами, имеющими большой разброс по крепости от 2 до 6 единиц по шкале М. М. Протодьяконова и более, повысит коэффициент извлечения полезных ископаемых из недр, улучшит их качество за счет селективной выемки и повысит экологическую безопасность за счет исключения буровзрывных работ.

Исследования в области совершенствования горного оборудования непрерывного действия для открытой разработки месторождений, в том числе автоматизация всего

рабочего процесса машины, является актуальной проблемой. Предлагаемая конструкция рабочего органа карьерного комбайна, оснащенного комбинированным режущим инструментом, позволяет эффективно разрабатывать сложноструктурные месторождения, состоящие из чередующихся прослоев различных горных пород.

### Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Корнилков С.В., Яковлев В.Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. 2012. №1. С. 15-19.
2. Мельников Н.Н., Бусырев В.М. Концепция ресурсобалансированного освоения минерально-сырьевой базы // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2005. №2. С. 58-64.
3. Яковлев В.Л. Состояние, проблемы и пути совершенствования открытых горных разработок // Горный журнал. 2009. №11. С. 11-14.
4. Мельников Н.Н., Козырев А.А., Лукичев С.В. Новая концепция разработки месторождений глубокими карьерами // Горный журнал. 2009. №11. С. 7-11.
5. Чебан А.Ю. Способ доработки глубокого карьера с применением фрезерных машин // Маркшейдерия и недропользование. 2017. №4. С. 23-29.
6. Яковлев В.Л., Бахтурин Ю.А., Журавлев А.Г. Основные аспекты формирования и новые научные направления исследований транспортных систем карьеров // Наука и образование. 2015. №4. С. 67-72.
7. Чебан А.Ю. Способ подготовки прочных горных пород к выемке при ведении строительных и добычных работ // Механизация строительства. 2017. №9. С. 20-23.
8. Щадов В.М. Открытая разработка сложноструктурных угольных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока. – 2-е изд., стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. 298 с.
9. Ермаков С.А., Гаврилов В.Л., Хосоев Д.В., Хоютанов Е.А. Улучшение качества угля за счет селективной разработки сложноструктурного Эльгинского каменноугольного месторождения // Наука и образование. 2012. № 1. С. 24-29.
10. Чебан А.Ю. Совершенствование оборудования и технологий безвзрывной выемки горных пород : моногр. / А. Ю. Чебан. - Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. - 260 с.
11. Чебан А.Ю. Совершенствование безвзрывных циклично-поточных технологий добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 5-9.
12. Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Wirtgen Surface Miner в Индии. Опыт селективной разработки угольных месторождений // Горная промышленность. 2003. №4. С. 40-47.
13. Ицков Я.Ю., Юдин С.В., Леоненко А.Н., Майнагашев А.С., Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Применение карьерного комбайна Wirtgen 2200SM при разработке Восточно-Бейского каменноугольного месторождения // Горная промышленность. 2002. №2. С. 43-45.
14. Чебан А.Ю. Классификация технологических схем применения карьерных комбайнов // Системы. Методы. Технологии. 2015. №2. С. 159-163.
15. Чебан А.Ю. Экспериментальные исследования процесса разрушения породы резцами фрезерного рабочего органа // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. №1. С. 125-128.

# ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФРЕЗЕРНЫХ МАШИН И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ СКРЕПЕРОВ

ЯКИМЕНКО Д. В.

ФГБУН Институт горного дела ДВО РАН

**Аннотация.** Область применения механического рыхления горных пород при разработке месторождений твердых полезных ископаемых постепенно расширяется. Перспективным оборудованием для механического рыхления относительно прочных горных пород являются фрезерные машины. В статье предлагается комплекс горного оборудования, включающий фрезерную машину и колесные скреперы, оборудованные интенсификаторами загрузки кусковой горной массы. Применение усовершенствованных колесных скреперов для транспортировки горной массы в сравнении с автосамосвалами и погрузчиками экономически целесообразно при расстояниях транспортировки до 1,5 км.

**Ключевые слова:** механическое рыхление, горная масса, интенсификатор загрузки, коэффициент наполнения, ковш скрепера.

## TECHNOLOGY FOR DEVELOPING DEPOSITS WITH APPLICATION MILLING MACHINES AND IMPROVED SCRAPERS

YAKIMENKO D. V.

Mining Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences

**Abstract.** The application of mechanical loosening of rocks in the development of deposits of solid minerals is gradually expanding. The most promising equipment for mechanical loosening of relatively strong rocks is milling machines. The article suggests a complex of mining equipment, including a milling machine and wheel scrapers, equipped with intensifiers for the loading of lump rock mass. The use of improved wheel scrapers for transportation of rock mass in comparison with dump trucks and loaders is economically feasible at transportation distances up to 1.5 km.

**Keywords:** mechanical loosening, rock mass, loading intensifier, filling ratio, scraper bucket.

В настоящее время подготовка к выемке массивов сложенных прочными горными породами в основном ведется с помощью буровзрывных работ [1]. Данный способ рыхления имеет ряд недостатков, в частности: необходимость временного прекращения работ и отвода техники и людей на безопасное расстояние перед проведением взрыва; перемешивание полезного ископаемого с пустой породой, ведущее к снижению качества получаемого сырья; невозможность использования конвейерного транспорта для перемещения полученной горной массы без предварительного крупного дробления; нарушение целостности массива горных пород, что отрицательно влияет на устойчивость борта карьера [2].

По причине ужесточения экологических требований при добыче полезных ископаемых, на производство взрывных работ накладываются все большие ограничения, а в случае приближения фронта работ вплотную к населенным пунктам, особо охраняемым территориям или объектам инфраструктуры, ведение взрывного рыхления вообще исключается [3-4]. В тоже время на ряде давно эксплуатируемых месторождений основные и наиболее качественные запасы (по причине выработки других запасов) полезных ископаемых оказываются в непосредственной близости к жилью и другим объектам.

Механическое рыхление с применением бульдозерно-рыхлительных агрегатов и навесного оборудования на гидравлических одноковшовых экскаваторах позволяет устранить большинство недостатков взрывного рыхления [5-6]. Перспективным оборудованием, позволяющим вести высокопроизводительное рыхление и выемку полускальных и легко разрабатываемых скальных горных пород, являются фрезерные машины и карьерные комбайны. С помощью карьерных комбайнов и фрезерных машин разрабатываются месторождения угля, бокситов, фосфоритов, мергелей, гипса, известняков и других полезных ископаемых [7-9]. Масштабы механического разрушения горных пород постепенно расширяются, охватывая новые месторождения сложенные все более прочными горными породами.

Карьерные комбайны ведут выемку породы из массива и погрузку полученной горной массы с помощью ленточных конвейеров в транспортные средства. Недостатками карьерных комбайнов являются: сложность конструкции; громоздкость, что затрудняет возможность их маневрирования на рабочей площадке; проблемы с намерзанием и налипанием горной массы на ленты транспортеров. Кроме того, при погрузке горной массы в автотранспорт возникают простои карьерных комбайнов при обмене автосамосвалов, которые могут достигать 12-28% от времени фрезерования, что значительно снижает производительность комбайнов [10]. У фрезерных машин отсутствуют ленточные конвейеры, поэтому данное оборудование является более легким, компактным, маневренным и простым в эксплуатации и обслуживании. Стоимость фрезерных машин по сравнению с карьерными комбайнами равной производительности более низкая. Фрезерная машина разрабатывает массив и оставляет вынутую горную массу в отрытой траншее. Последующая выемка и транспортировка полученной горной массы может вестись различными комплектами машин, в том числе и с применением колесных скреперов, использование которых целесообразно при небольшой дальности транспортировки горной массы (до 1,0-1,5км).

Недостатком технологической схемы с применением фрезерных машин и традиционных колесных скреперов, заполняющихся только за счет силы тяги, является невысокий коэффициент наполнения ковша кусковой горной массой составляющий всего 0,6-0,8. Для улучшения заполнения ковша могут применяться интенсификаторы загрузки различных конструкций, однако большинство из них рассчитано на работу с рыхлой мелкозернистой горной массой [11-14].

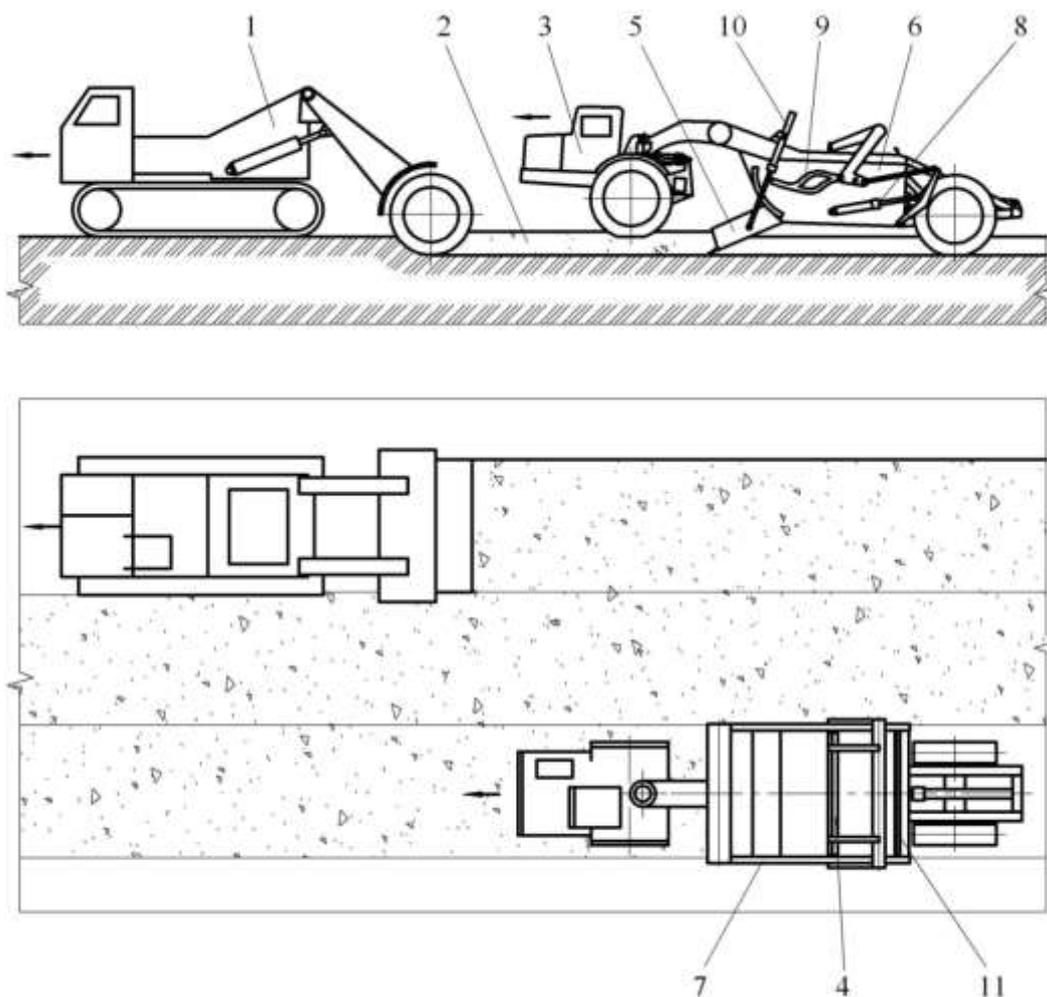
Предлагаемый способ разработки месторождений твердых полезных ископаемых с применением фрезерной машины и усовершенствованных колесных скреперов осуществляется следующим образом. Фрезерная машина 1 производит рыхление массива с размещением отфрезерованной горной массы в отрытой траншее 2, из которой осуществляется ее выемка усовершенствованными колесными скреперами 3, следующим вслед за фрезерной машиной 1 (рис.). Усовершенствованные колесные скреперы оборудованы удлиненным ковшом с интенсификаторами загрузки горной массы в виде подгребающей стенки 4 и загрузочного лотка 5.

Так как при черпании из траншеи горной массы, полученной в результате работы фрезерной машины, не возникает значительного сопротивления резанию, а основное сопротивление связано с продвижением горной массы внутрь ковша, появляется возможность вести выемку с помощью загрузочного лотка 5. В усовершенствованной конструкции скрепера предлагается отказаться от опускания ковша 6 и выполнить его как одно целое с тяговой рамой 7, в результате чего снизится металлоемкость скрепера, и несколько уменьшится его ширина. После заполнения передней части удлиненного ковша в работу включается подгребающая стенка 4, которая перемещает горную массу

из передней части удлиненного ковша в заднюю, при помощи гидроцилиндров 8. Подгребающая стенка 4, на каретках перемещается по нижним ветвям криволинейных направляющих 9, установленных на внешних сторонах боковых стенок удлиненного ковша. Освободившаяся передняя часть удлиненного ковша 6 вновь заполняется горной массой.

На заключительном этапе загрузки гидроцилиндры 10 поднимают загрузочный лоток 5 с находящейся в нем горной массой для окончательного заполнения передней части удлиненного ковша 6. Скрепер осуществляет транспортирование горной массы к месту разгрузки. Осуществление интенсификации загрузки позволяет загружать удлиненный ковш разрыхленной горной массой с высоким коэффициентом наполнения равным 1,05-1,10 (с «шапкой»), что значительно увеличивает производительность колесного скрепера.

Для разгрузки удлиненного ковша 6 скрепера 3 гидроцилиндрами 10 производится дополнительный подъем загрузочного лотка 5 в направляющих 9. Разгрузка ковша осуществляется через образовавшийся зев между днищем ковша и поднятым загрузочным лотком 5. Горная масса принудительно выталкивается из удлиненного ковша посредством задней стенки 11, которая перемещается в переднюю часть ковша. Одновременно при помощи гидроцилиндров 8 в исходное положение в передней части удлиненного ковша возвращается подгребающая стенка 4, частично помогая выгрузке горной массы, при этом каретки подгребающей стенки, перемещаются по верхним ветвям криволинейных направляющих 9, от задних тупиковых участков к передним через переводные упоры.



**Схема разработки месторождения с применением фрезерной машины  
и усовершенствованных колесных скреперов**

Повысить эффективность поточно-циклических технологий разработки месторождений возможно за счет совершенствования транспортных схем при перемещении полезного ископаемого на расстоянии до 1,0-1,5км, путем замены автосамосвалов, работающих в комплекте с погрузочным оборудованием, на усовершенствованные колесные скреперы, предназначенные для выемки рыхлой кусковой горной массы. Предлагаемое совершенствование технологической схемы ведения горных работ позволит сократить издержки на выемку и транспортирование горной массы, что повысит рентабельность производства.

**Список литературы**

1. Буткевич Г.Р. Взрывные и безвзрывные способы разрушения скальных пород на карьерах // Строительные материалы. 2011. №2. С. 33-34.
2. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 18-23.
3. Панкевич Ю.Б. Применение мощных гидромолотов фирмы Krupp на безвзрывной разработке месторождений полезных ископаемых решает вопросы экологии и качества продукции // Горная промышленность. 1997. №2. С. 45-48.

4. Чебан А.Ю. К вопросу об определении производительности карьерных комбайнов в различных условиях эксплуатации // Системы. Методы. Технологии. – 2014. № 3. С. 145-148.
5. Анистратов К.Ю. Безвзрывная выемка полускальных пород на карьерах стройматериалов гидравлическими экскаваторами фирмы Liebherr // Горная промышленность. 1998. №2. С. 41-45.
6. Монсини К.Р., Мазманян А.О. Повышение эффективности механического рыхления горных пород // Горный журнал. 1998. №1. С. 39-43.
7. Чебан А.Ю. Классификация конструкций карьерных комбайнов // Недропользование XXI век. 2015. №5 (55). С. 64-69.
8. Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Комбайны Wirtgen Surfase Miner на открытых горных работах: история развития, масштабы применения и перспективы расширения // Горная промышленность. 2009. № 2. С. 54-57.
9. Чебан А.Ю. Совершенствование технологий открытой разработки месторождений с использованием карьерных комбайнов и отвалообразователей // Записки горного института. 2015. Т. 214. С. 23-27.
10. Шемякин С.А., Чебан А.Ю., Клигунов Е.С. Повышение эффективности послойно-полосовой технологии открытых горных работ с применением выемочных машин фрезерного типа и скреперов // Горный журнал. 2003. №4-5. С. 48-50.
11. Чебан А.Ю., Шемякин С.А. Сопротивление разгрузке удлиненных ковшей скреперов // Строительные и дорожные машины. 2008. №6. С. 45-48.
12. Caterpillar Inc. 1998. Making the most of scraper potential. Peoria, IL: Caterpillar.
13. Alshibani A., Moselhi O. O Least cost optimization of scraper - pusher fleet operations // Can. J. Civ. Eng. 2012. № 39. P. 313 – 322.
14. Чебан А.Ю., Шемякин С.А. Параметры скреперов для внедрения послойно-полосовые технологии открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. Т. 10. №12. С. 285-294.

УДК.622.224: 622.271.7: 624.138.3

**К РАСЧЕТУ НАМЫВОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА  
ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТУРА РОССЫПИ  
В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ**

КОРОСТОВЕНКО В. В., МОРОЗОВА Н. В., ЕГОРОВА Е. Л., МОРОЗОВ В. Н.  
Сибирский федеральный университет

**Аннотация.** В работе рассматривается комплексное влияние осадки торфов при разработке высокольдистых россыпей на выделение промышленного контура в вертикальной плоскости и годовой намыв металла при управляемом теплообмене. Проведенные в работе исследования показали, что при снятии поверхностного теплоизолирующего слоя происходит оттайка торфов, что приводит к их осадке. Это обстоятельство позволило реализовать идею выделения контура россыпи в вертикальной плоскости с учетом осадки торфов с целью снижения глубины вскрыши и уменьшения затрат на вскрышные работы.

**Ключевые слова:** россыпь, осадка торфов, намыв металла, вскрыша, промышленный контур россыпи в вертикальной плоскости, грохочение, промывочная установка, водно-тепловая мелиорация.

## TO CALCULATE PROMYVOCHNYJ COEFFICIENT IN THE ALLOCATION OF INDUSTRIAL CONTOUR PLACER IN THE VERTICAL PLANE

KOROSTOVENKO V. V., MOROZOVA N. V., EGOROVA E. L., MOROZOV V. N.  
Siberian Federal University

**Annotation.** This paper considers the integrated effect of precipitation of peat in the development of high icy deposits on the allocation of industrial contour in the vertical plane and alluvium, the annual metal for controlled heat transfer. Carried out researches have shown that when removing the surface insulating layer is thawing of the peat that causes them to precipitate. This fact made identification of contours of deposits in the vertical plane taking into account precipitation of peat to reduce the depth of overburden and reducing Stripping costs.

**Keywords:** placer, sludge peat, alluvium metal stripping, industrial circuit placers in the vertical plane, screening, wash plant, water and heat reclamation.

В процессе наблюдений за состоянием многолетнемерзлых торфов с высоким содержанием льда было выявлено, что при снятии поверхностного теплоизолирующего слоя происходит интенсивная оттайка за счет нарушения теплового обмена, что приводит к осадке торфов.

В связи с этим возникла идея при выделении промышленного контура россыпи в вертикальной плоскости использовать это обстоятельство с целью снижения глубины вскрыши и уменьшения затрат на вскрышные работы [1].

Тепловая мелиорация считается наиболее экономичной, так как рассматривает оттайку многолетнемерзлых песков, основанную на использование естественной тепловой энергии солнца. Однако всестороннего теплофизического обоснования явление осадки торфов не имеет.

Актуальность научных исследований, направленных на изучение осадки торфов под воздействием солнечной радиации обуславливается значительными объемами разведанных запасов мерзлых россыпей с высоким содержанием льда.

Величину осадки торфов в настоящее время в лучшем случае учитывают введением в маркшейдерские замеры поправочных коэффициентов или не учитывают совсем. Имеющиеся формулы для расчета глубины протаивания мало приспособлены или вообще непригодны для расчета величины осадки торфов. Они основаны на рассмотрении процессов передачи тепла в самих породах под влиянием нагретой поверхности и воздуха, когда на глубину осадки торфов влияют только свойства пород и почвенного слоя. Теплообмен с атмосферой при этом учитывается с помощью поправок

[2]. Такой подход не соответствует основным тепло физическим процессам, происходящим в породах.

В теплый период года основной целью является увеличение теплового потока в породы, а тем самым и величины осадки торфов. Это достигается за счет уборки поверхностного теплоизолирующего слоя и перераспределения тепла, приходящего в торфа и уходящего в атмосферу.

Открытие закона теплопроводности (закон Фурье) выражающего соотношение между потоком тепла, распределением температур и свойствами среды,

$$g = - \lambda \cdot \text{grad } T, \quad (1)$$

где  $g$  - вектор плотности теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;

$\lambda$ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·град);

$\text{grad } T$  - градиент температуры, град/м;

позволило определить полный тепловой поток при конвективном теплопереносе [3].

$$g = - \text{grad } T + C_v \cdot \gamma_v \cdot V_\phi \cdot T, \quad (2)$$

где  $C_v$  - удельная теплоемкость воды, Вт·ч/(кг ·град);

$\gamma_v$  - плотность воды, кг/куб.м;

$T$  - температура пород, град;

$V_\phi$  - скорость фильтрации, м/ч.

Исключительно важную роль при прогнозе и регулировании осадки торфов играет кондуктивный теплоперенос. Скорость движения границы раздела фаз зависит от взаимодействия их температурных полей. Задача состоит в нахождении закона движения границы раздела фаз в зависимости от краевых условий.

Математическая формулировка задачи была поставлена Г.З. Перльштейном [3], в которой фазовые переходы совершаются при постоянной температуре и образуется фронт оттаивания.

Для решения задачи о глубине оттаивания был проведен промышленные эксперименты на полигонах драг № 230, № 2, № 24 ЗАО «Прииск Удерецкий» [1].

#### **Методика проведения промышленных исследований**

Изучение влияния льдистости пород на их осадку в зависимости от продолжительности воздействия солнечной радиации производились по результатам маркшейдерских замеров исследуемой поверхности. Для обеспечения точности выполнения высотной съемки применялось нивелирование площадей по квадратной сетке [1]. В зависимости от размера, формы и расположения исследуемой поверхности, сетка сориентирована параллельно координатным осям. Сетку предварительно построили на плане, а затем перенесли на натуру. Для этого от ближайшего пункта съемочного обоснования аналитическим способом определили разбивочные элементы двух- трех вершин сетки. После их перенесения на местность полярным способом остальные вершины сетки определялись при помощи рулетки по створам. Линии сетки пронумерованы в единой системе, в основе которой сторона квадрата - 10 м. По одному из направлений сетки (У) линии пронумерованы четными цифрами, по-другому (Х) - нечетными. Съемка контуров блоков производилась от ближайших вершин сетки методом ординат. Так как площадь исследуемых блоков небольшая, то их контуры снимали с точностью, соответствующей масштабу 1:1000.

Период наблюдения за осадкой торфов в исследуемых блоках составил 6 лет. Льдистость горных пород находилась в пределах от 30 до 60 %.

В период исследований фиксировалась температура воздуха. Средняя температура воздуха составила: последняя декада мая +5 С; июнь +15 С; июль +20 С; август +10 С; первая декада сентября +3 С.

Объем осадки протаявших горных пород определялся по результатам горизонтальной и вертикальной съемок. Основным методом подсчета явился способ среднего арифметического, при котором объем вычисляют по формуле,

$$V_m = S_6 \cdot h_{cp}, \quad (3)$$

где  $S_6$  - площадь исследуемого блока в среднем его сечении, м<sup>2</sup>;  
 $h_{cp}$  - средняя высота осадки торфов, м.

Площади исследуемых блоков измерялись по замерным калькам вскрыши торфов с помощью планиметра по верхней и нижней бровкам блоков. Средняя площадь определялась как среднее арифметическое из полученных результатов.

Замерные кальки вскрыши торфов представляют собой светокопию с рабочего плана горных работ, на которые нанесены квадратные сетки с оцифровкой и положение разведочных линий. Против соответствующих вершин сетки указана высота осадки торфов, которая равна разности высотных отметок на начало и конец периода наблюдений. Среднее значение глубины осадки пород,

$$h_{cp} = \sum_{i=1}^n h_i / n, \quad (4)$$

где  $h_i$  - разность высотных отметок в отдельных вершинах сетки на начало и конец наблюдений, м;

$n$  - число вершин сетки, принятых для определения средней высоты осадки породы.

#### Результаты промышленных исследований

В результате промышленных исследований установлено, что увеличение льдистости с 30 до 50 % приводит к росту глубины осадки торфов от 2,07 до 4,64 м.

На первый взгляд, результаты проведенных исследований достаточно неожиданные. Как известно накопление талого слоя резко снижает последующую оттайку. Для объяснения выявленных закономерностей необходимо коснуться некоторых особенностей физико-механических свойств высокольдистых пород. Учитывая низкие коэффициенты фильтрации мерзлых торфов, т.е. медленное проникновение воды в массив, следует ожидать высокие градиенты потенциала почвенной влаги в поверхностном слое.

Следовательно, образование этих градиентов приводит к формированию напряженного состояния в контактном слое между уже талой и мерзлой породой, что вызывает развитие зон микротрещиноватости. Последнее обуславливает более интенсивное проникновение воды в породу по трещинам и распространение расклинивающего давления. Подобное явление обеспечивает интенсивную оттайку мерзлой породы при накоплении талого слоя результатом чего и является большой объем осадки торфов.

Следует обратить внимание, что понижение интенсивности осадки торфов приурочено к снижению уровня льдистости до 30 %.

Результаты промышленных исследований обработаны на ПК по программе полинома 2-ой степени и получены следующие уравнения регрессии:

- по блоку 3 с содержанием льда 50 % объем осадки составит (в м<sup>3</sup>/ м<sup>2</sup>),

$$V_3 = 3,34 \cdot [(T' - 16,45)^2] - 2,78 \cdot [(t' - 13,81)^2] + 514,93, \quad (5)$$

где  $T'$ ,  $t'$  - эмпирические значения, зависящие от продолжительности воздействия солнечной радиации и температуры воздуха.

$$T' = 0,96 \cdot T + 0,29 \cdot t, \quad (6)$$

$$t' = -0,31 \cdot T + 0,95 \cdot t, \quad (7)$$

где  $T$  - температура воздуха, град.;

$t$  - продолжительность осадки торфов, сут.

- по блоку 2 с содержанием льда 40 % объем осадки торфов можно определить по формуле (в  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ),

$$V_2 = 45,38 \cdot [(T')^2 + 2,87 \cdot T' + 2,05] - 35,38 \cdot [(t')^2 - 17,82 \cdot t' + 79,4] + 15702,14, \quad (8)$$

где  $T' = 0,97 \cdot T + 0,022 \cdot t, \quad (9)$

$$t' = -0,23 \cdot T + 0,97 \cdot t, \quad (10)$$

- по блоку 1 с содержанием льда 30 % объем осадки составит (в  $\text{м}^3/\text{м}^2$ )

$$V_1 = 9,79 \cdot (T' + 8,1)^2 - 1,95 \cdot (t' - 24,11)^2 + 614,21, \quad (11)$$

где

$$T' = 0,99 \cdot T + 0,16 \cdot t, \quad (12)$$

$$t' = -0,16 \cdot T + 0,99 \cdot t, \quad (13)$$

При вовлечении в разработку части торфов, остающихся после протаивания в вертикальной плоскости, возникает необходимость в более точном планировании годового намыва металла, вследствие резкого изменения объема разрабатываемых песков и содержания металла в них.

Объем геологических запасов песков, подлежащих отработке в планируемом году, определится по формуле (в  $\text{м}^3$ ) [4]

$$V_n = A_d / \varepsilon, \quad (14)$$

где  $A_d$  - годовой объем промываемых песков,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$\varepsilon$  - коэффициент изменения объема песков, вследствие разубоживания и потерь, доли ед.

Тогда годовой объем вскрыши составит,

$$V_g = V_n \cdot \delta, \quad (15)$$

где  $\delta$  - коэффициент вскрыши.  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Но в объеме  $V_g$  не отражена осадка торфов и необходимое опережение вскрышных работ. В общем виде вскрышные работы в этом случае могут быть представлены в виде баланса,

$$V' = V_1 - K_1 \cdot V_1 + K_2 \cdot V_2 + V_3, \quad (16)$$

где  $V_1, V_2$  - соответственно объем вскрышных работ, подлежащих погашению за счет добычи песков текущего года и за счет добычи последующего года,  $\text{м}^3$ ;

$K_1, K_2$  - соответственно коэффициенты опережения вскрышных работ, выполненных за предыдущий год и в текущем году;

$V_3$  - объем вскрышных работ, связанных со снятием поверхностного теплоизолирующего слоя,  $\text{м}^3$ .

Полученные результаты промышленных экспериментов позволили сделать очень важный вывод. Опережение вскрышных работ должно быть всегда больше объема, определяемого излишней мощностью торфов, которая не может быть отработана в блоке в год добычи песков по годовому понижению.

Это опережение является теоретическим и наименьшим допустимым, поскольку для его соблюдения необходимо начать вскрышные работы одновременно во всех блоках. Из этих положений наименьший коэффициент опережения при мощности россыпи, превышающей выемку годового понижения, определяется известным уравнением

$$K = 1 - (H_r - P) / T, \quad (17)$$

где  $H$  - среднегодовое понижение забоя, м;  
 $P$  - мощность пласта песков, м;  
 $T$  - мощность торфов, м.

При выделении промышленного контура россыпи в вертикальной плоскости производится оценка экономической эффективности вариантов с учетом показателей качества песков и устанавливается экономически целесообразная глубина вскрыши торфов ( $H'$ ). Используя полученные зависимости осадки торфов необходимая глубина вскрыши определяется по уравнению (в м),

$$H' = H - H_{oc}, \quad (18)$$

Тогда коэффициент опережения вскрышных работ можно записать в виде

$$K = 1 - (H_r - P) / H', \quad (19)$$

В действительности добычу песков в отдельных блоках производят в определенной последовательности по мере их отработки. Поэтому и вскрышные работы в блоках начинают через определенные промежутки времени, соответствующие продолжительности добычи песков на отдельных блоках. Этим обеспечивают не только равномерную добычу, но и равномерную вскрышу, что позволяет провести эти работы меньшим оборудованием. Исходя из этого, коэффициент опережения предлагается определять по формуле,

$$K_o = (H' - P) / T, \quad (20)$$

Объем  $V_3$  должен производиться на площади равной (в кв. м)

$$S = V_3' / H', \quad (21)$$

Поверхностный теплоизолирующий слой, как правило, находится в пределах 0,5-1,0 м [3]. Тогда, объем  $V_3$  составит (в м<sup>3</sup>),

$$V_3 = (0,5 \div 1) \cdot S, \quad (22)$$

Вовлечение в разработку более бедных песков потребовало более точного планирования намыва металла.

Плановый годовой намыв металла определяется исходя из количества металла, находящегося на подготавливаемом участке полигона по данным геологоразведки и среднего намывочного коэффициента за предыдущие годы отработки [4]

$$M_e = C_{cp} \cdot A_d \cdot v_{cp}, \quad (23)$$

где  $A_d$  - годовой объем промываемых песков, м<sup>3</sup>/год;

$C_{cp}$  - среднее содержание металла в промышленном контуре россыпи, г/м<sup>3</sup>;

$v_{cp}$  - средний намывочный коэффициент за предыдущие годы отработки, доли ед.

Теоретически величину намывочного коэффициента, используя выявленные закономерности можно выразить следующим образом,

$$v = \varepsilon \cdot \mu \cdot (\eta + \Delta\gamma_{и}) / 100, \quad (24)$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент изменения объема песков вследствие разубоживания и потерь, доли ед.;

$\mu$  - коэффициент изменения содержания вследствие разубоживания и потерь, доли ед.;

$\eta$  - извлечение металла при обогащении, %;

$\Delta\gamma_{и}$  - степень повышения извлечения при выемке песков, %.

На основании многочисленных опробований хвостов отработки песков и анализа отработанных блоков нами установлено, что наиболее точно производить планирование по намыву металла при выделении контура россыпи в вертикальной плоскости можно исходя из теоретического намывочного коэффициента [4]

$$M_z = C_{\text{ср}} \cdot A_d \cdot \varepsilon \cdot \mu \cdot (\eta + \Delta\gamma_{\text{и}}) / 100, \quad (25)$$

Выражение (24) позволяет учитывать изменение объема и содержания металла исходя из принятой технологии усреднения песков и снижения объемов вскрыши вследствие осадки торфов. Исходя из нормального баланса вскрышных работ строится график. Для этого определяют объемы вскрыши с учетом глубины осадки торфов, а также площадь, где необходимо произвести снятие поверхностного теплоизолирующего слоя. Устанавливаются теоретические значения объемов осадки и строится календарный план вскрышных работ.

Апробация данной методики производилась на полигонах драг № 230, № 2, № 24 ЗАО «Прииск Удерецкий». Разработанная технология снижения объемов вскрыши, вследствие осадки торфов, позволила снизить затраты на 20 -30 %. Ожидаемый экономический эффект составляет 40 рублей с каждого кубического метра торфов.

#### **Заключение**

Проведенные исследования показали, что при снятии поверхностного теплоизолирующего слоя происходит оттайка торфов, что приводит к их осадке. Это обстоятельство позволило реализовать идею выделения контура россыпи в вертикальной плоскости с учетом осадки торфов с целью снижения глубины вскрыши и уменьшения затрат на вскрышные работы.

Установлено, что основными факторами, определяющими глубину осадки торфов, являются температура воздуха, продолжительность водно-тепловой мелиорации, льдистость торфов, объемная теплоемкость талых пород, количество скрытой теплоты плавления льда в единице объема торфов.

Результаты наблюдений за изменением объемов осадки торфов показали, что увеличение льдистости с 30 до 50 % приводит к росту глубины осадки торфов от 2 до 4,6 м на 1 м<sup>2</sup> площади.

Предложенный коэффициент опережения вскрышных работ, учитывающий величину осадки торфов позволяет создать необходимый фронт добычных работ и снизить затраты на вскрышные работы. Разработанная технология снижения объемов вскрыши, вследствие осадки торфов, позволила в ином аспекте рассмотреть вопрос планирования годового намыва металла. Установлено, что более точно производить планирование по намыву металла можно исходя из теоретического намывочного коэффициента.

Разработанная методика планирования годового намыва металла позволяет учитывать изменение объема и содержания металла исходя из принятой технологии обогащения песков и снижения объемов вскрыши вследствие осадки торфов. При календарном планировании вскрышных работ определяются объемы вскрыши с учетом глубины осадки торфов, а также площадь, где необходимо произвести снятие поверхностного теплоизолирующего слоя.

#### **Список литературы**

1. Морозов В.Н., Морозова Е.Л. Обоснование экономически целесообразной глубины вскрыши торфов в зоне контактной неопределенности при разработке россыпей // В кн.: Современные технологии освоения минеральных ресурсов. / Сб. материалов 7-ой международной научно-технической конференции, 2009, Ч. 1. – Красноярск: СФУ, с. 297-302.

2. Балобаев В.Т. Методы расчета глубины протаивания и промерзания грунтов при тепловой мелиорации // Всесоюзный семинар по обмену опытом подготовки драж-

ных полигонов к эксплуатации в районе Крайнего Севера: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции/ - Магадан: ЦБТИ, 1964. -с.93-103.

3. Перльштейн Г.З. Водно-тепловая мелиорация мерзлых пород на Северо-Востоке СССР. - Новосибирск: Наука, 1979. - 232 с.

4. Korostovenko V.V., Morozova N.V., Egorova E.L. Planning annual inwash of metal under uncertainty of background information//Materials of the XIV international research and practice conference, Munich, December 28th - 29th, 2016 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg - Munich - Germany, 2016., стр.38-44.

УДК 622.271.1

## ДЛИНА СТРУИ ГИДРОМОНИТОРА ПРИ НАЛИЧИИ В ВОДЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВЫХ ЧАСТИЦ

ШКАРУБА Н. А., КИСЛЯКОВ В. Е., ШАРЫПОВ Н. А.  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

**Аннотация.** Большая часть запасов золота в России сосредоточена в россыпных месторождениях. Чаще всего такие месторождения отрабатываются средствами гидромеханизации, в том числе при помощи гидромониторной отбойки, водоснабжение которой ведется из специальных прудов-отстойников. Скорость оседания тонкодисперсных грунтовых частиц очень низкая, что приводит к увеличению плотности напорной воды.

Для технологического расчета гидромонитора, в том числе, необходимо определить длину струи. Различными авторами предлагаются варианты вычисления длины струи гидромонитора. В статье произведена оценка возможности применения уравнений в разных условиях работы гидромонитора, обусловленных технологическими схемами отработки, в частности при подрезке уступа, когда угол наклона ствола гидромонитора к горизонту равен нулю. Рассмотрено влияние содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде в этих же условиях на длину струи гидромонитора, показаны результаты моделирования в лабораторных условиях, произведено сравнение с известными зависимостями.

**Ключевые слова:** россыпное месторождение, гидромонитор, струя гидромонитора, тонкодисперсные грунтовые частицы, длина струи, подрезка уступа, напорная вода, моделирование, расчет длины струи гидромонитора.

## LENGTH OF THE HYDROMONITOR JET WITH CONTENT IN THE WATER FINELY DISPERSED GROUND PARTICLES

SHKARUBA N. A., KISLYAKOV V. E., SHARYPOV N. A.  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk

**Abstract.** A significant part of gold reserves in Russia is concentrated in placer deposits. Most often, such deposits are worked out by means of hydromechanization, including by means of jetting, water supply is carried out from special sedimentation tanks. The rapidity of precipitation of finely dispersed ground particles is very low, which leads to an increase in the density of the pressure water.

For the technological calculation of the hydromonitor, including, it is necessary to determine the length of the jet. Different authors offer options for calculating the length of the jet stream. This paper presents the possibility of applying the equations under different operating conditions of the hydraulic monitor due to the technological schemes of working off, in particular when cutting the ledge, when the angle of inclination of the barrel of the hydraulic monitor to the horizon is zero. The influence of the content of fine-dispersed ground particles in the pressure water under the same conditions

on the pressure water length is considered, the results of simulation in laboratory conditions are shown, a comparison with the known dependences is made.

**Keywords:** placer deposit, hydromonitor, jet stream, finely dispersed ground particles, pressure water, impact force, sidewall.

Отработка россыпных месторождений золота чаще всего ведется средствами гидромеханизации, в том числе, при помощи гидромониторной отбойки, водоснабжение которой осуществляют из специальных прудов-отстойников. Так как скорость осаждения тонкодисперсных грунтовых частиц в воде очень низкая, на гидромонитор неизбежно подается напорная вода со значительным количеством этих частиц. В результате увеличивается вес единицы объема воды – то есть ее плотность.

При выполнении различных технологических операций, таких, как, например, подрезка уступа, ствол гидромонитора располагают горизонтально. Для технологического расчета гидромониторной отбойки необходимо знать, в том числе, длину струи гидромонитора.

Целью настоящего исследования является определение длины струи гидромонитора при содержании в напорной воде тонкодисперсных грунтовых частиц и горизонтальной установке его ствола.

Для расчета длины струи ( $l_c$ , м) в различных источниках [1-8, 10-20] предлагаются следующие основные уравнения:

$$l_c = \frac{k_{\text{воз}} \cdot v_o^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}, \quad (1)$$

$$l_c = 2\varphi \sqrt{H_o \cdot h_y}, \quad (2)$$

$$l_c = 0,415 \sqrt[3]{\alpha \cdot d_n \cdot H_o^2}. \quad (3)$$

где  $k_{\text{воз}}$  – коэффициент, учитывающий сопротивление воздуха;  $v_o$  – скорость истечения струи из насадки, м/с;  $\alpha$  – угол наклона струи (ствола гидромонитора) к горизонту, град.;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\varphi$  – коэффициент скорости,  $\varphi = 0,935$ ;  $H_o$  – напор перед насадкой, м;  $h_y$  – высота установки ствола гидромонитора, м,

Уравнения 1 и 3 имеют значительные ограничения, в том числе, неприменимы при  $\alpha = 0^\circ$ . Уравнение 2 предназначено для расчета длины горизонтальных струй, но не учитывает плотность напорной воды.

Для определения влияния наличия в напорной воде тонкодисперсных грунтовых частиц проведена серия экспериментов в масштабе 1:10 при помощи лабораторной установки [9], исходные данные показаны в таблице.

Эксперименты проведены в случайной последовательности, при соблюдении геометрического подобия и подобия процессов, протекающих в системах модели и натурального образца – критерий подобия Рейнольдса и критерий подобия Фруда.

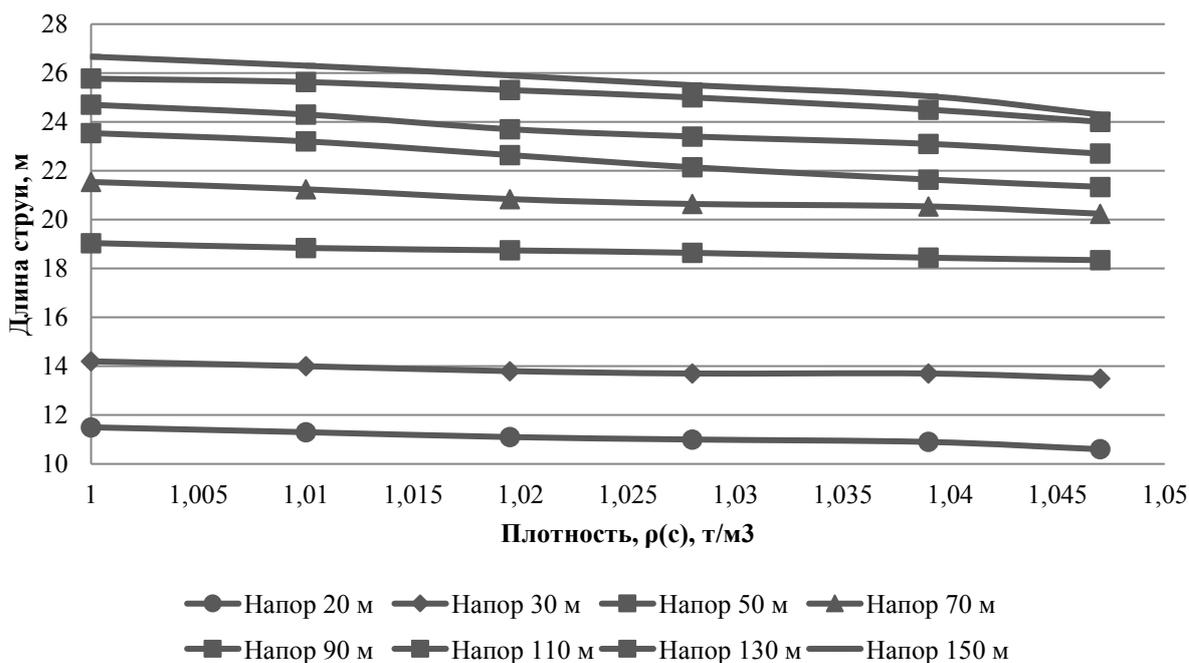
Содержание тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде соотнесено с плотностью воды, так как вмещающие породы на месторождениях различны (имеют различную плотность) и при одинаковом содержании тонкодисперсных грунтовых частиц в воде, ее плотность будет неодинаковой. Содержание твердых частиц в воде  $c$  и ее плотности  $\rho$  произведено для случая, когда удельный вес грунтовых частиц  $\gamma = 1,6 \text{ т/м}^3$  (таблица).

### Исходные данные моделирования

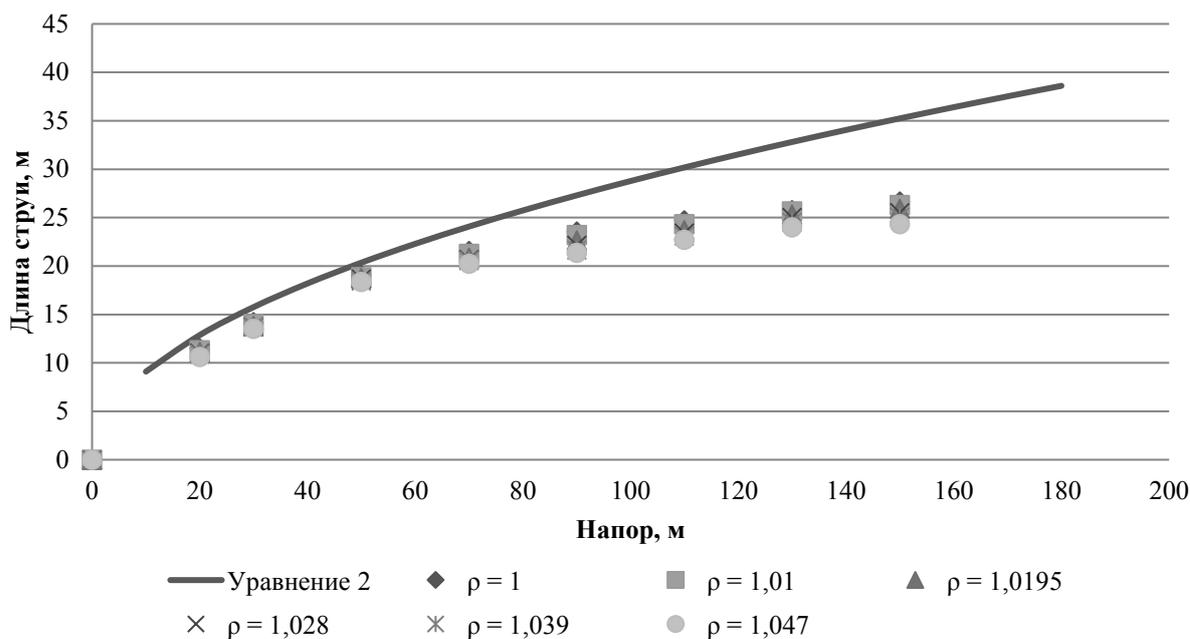
|   |               |            |
|---|---------------|------------|
| Диаметры насадок, мм  | $d_n$         | 5          |
|   |               | 8          |
|   |               | 10         |
| Напор на насадке, м   | $H_0$         | 2-15       |
| Плотность технологической воды $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> , (содержание тонкодисперсных грунтовых частиц $c$ , г/л) | $\rho_1(c_1)$ | 1000(0)    |
|   | $\rho_2(c_2)$ | 1010(25)   |
|   | $\rho_3(c_3)$ | 1019,5(50) |
|   | $\rho_4(c_4)$ | 1028(75)   |
|   | $\rho_5(c_5)$ | 1039(100)  |
|   | $\rho_6(c_6)$ | 1047(125)  |

Результаты экспериментов показаны на рис. 2 (для условий, когда  $d_n = 0,8$  м), где видно, что наличие тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде уменьшает длину струи гидромонитора, при этом, чем выше напор, тем это влияние значительнее, максимальное его значение достигает порядка 9%.

Сравнение полученных опытным путем результатов с расчетными (рис. 3) показывает, что при больших напорах длина струи увеличивается менее интенсивно по сравнению с теоретическим прогнозом.



**Рис. 2. Результаты опытов. Зависимость длины струи гидромонитора от содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде**



**Рис. 3. Зависимость длины струи гидромонитора от напора при различной плотности напорной воды,  $\rho$ , т/м<sup>3</sup>**

Таким образом, из вышесказанного можно сделать выводы: 1. что известные уравнения не позволяют рассчитать длину струи гидромонитора при горизонтальном расположении его ствола и наличии в напорной воде тонкодисперсных грунтовых частиц; 2. что наличие в напорной воде тонкодисперсных грунтовых частиц оказывает негативное влияние на длину струи гидромонитора; 3. при больших напорах увеличение длины струи фактически происходит менее интенсивно, чем предполагает теоретический расчет.

#### Список литературы

1. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т. Пикалов Ф.И. Гидравлика. Под общей редакцией И.И. Агроскина, изд. 4-ое. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 352 с.
2. Бессонов Е.А. Энциклопедия гидромеханизированных работ: Словарь-справочник. – М.: 1989.ру, 2005. – 520 с.
3. Гавырин Н.П. Исследование работы гидромониторов: Диссертация. – М.: архив МГМИ, 1939. – 244 с.
4. Дерюшева Н.Л. Оптимизация работы снегоплавильных сооружений // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2016. – №1. – С. 46 - 51.
5. Иванов Е.Н. Противопожарное водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
6. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: справочник / под общ. ред. А.М. Курганова. -3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ие, 1986. – 440 с.
7. Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений: учебник для вузов. – М.: Горная книга, Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 906 с.

8. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 471 с.
9. Пат. 169574 РФ Стенд для исследования интенсивности гидромониторной отбойки / Кисляков В.Е., Шкаруба Н.А., Калмаков М.В. и др. // Бюл. – 2017. – № 9.
10. Потемкин С.В. Разработка россыпных месторождений. – М.: Недра, 1995. – 337 с.
11. Прозоров И.В., Николадзе Г.И., Минаев А.В. Гидравлика, водоснабжение и канализация: учеб. пособие для строит. спец. Вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 447 с.
12. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – Киев: издательское объединение «Вища школа», 1977. – 279 с.
13. Справочник по гидравлике – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.А. Большакова. – Киев: Вища школа, головное изд-во, 1984. – 344 с.
14. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П.Г. Киселева: Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
15. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам, изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Некрасова Б.Б. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – 385 с.
16. Тимофеева С.С., Кустов О.М.. Противопожарное водоснабжение: практикум. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. – 69 с.
17. Фридман Б.Э. Разработка россыпных месторождений гидромеханизацией. – М.: Металлургиздат, 1957. – 472 с.
18. Шорохов С.М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Недра, 1973. – 768 с.
19. Юфин А.П. Гидромеханизация. Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1974. – 223 с.
20. Ялтанец И.М., Егоров В.К. Гидромеханизация. Справочный материал. – М.: Издательство МГГУ, 1999. – 338 с.

УДК 622.271.32

## **АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА ВСКРЫШНЫХ РАБОТ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ ЧЕРНОГОРСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

РОМАШКИН Ю. В.<sup>1</sup>, СИДОРОВ В. В.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный университет»

**Аннотация.** Представлен анализ производства вскрышных работ при комбинированной системе разработки - бестранспортная с применением экскаваторов-драглайнов и транспортная с использованием карьерных автосамосвалов. Обоснована необходимость интенсификации вскрышных работ при освоении Черногорского месторождения, представленного свитой толстых пластов.

**Ключевые слова:** вскрышной уступ, драглайн, переэкскавация, комбинированная система разработки, интенсификация вскрышных работ.

**ANALYSIS OF THE PRODUCTION OVERBURDEN REMOVING UNDER THE  
COMBINED MINING SYSTEM OF THE CHERNOGORSK COAL DEPOSIT**

**Abstract.** The analysis of production overburden removing under the combined mining system is presented. It is a non-transport system with the use of walking dragline and transport system using mining tipper. The necessity of intensification of overburden removing during the development of the Chernogorsk coal deposit, is presented by a series of sloping strata.

**Keywords:** overburden bench, walking dragline, rehandling, combined mining system, intensification of overburden removing.

Многие годы уголь был самым потребляемым видом органического топлива в мире. Однако в 2014 -2015 гг., вслед за падением цен на нефть и газ, снизились и цены на уголь, что привело к падению спроса и потребления этого вида топлива во многих странах мира, приведя к созданию избыточных мощностей. По прогнозам, в ближайшие годы падение спроса на уголь продолжится. Тем не менее, несмотря на то, что уголь признан, с точки зрения экологии, одним из самых «грязных» источников энергии, пока не будут разработаны и внедрены в массовое производство новые технологии получения нетрадиционной энергии, в период до 2023 г. может произойти выравнивание доли потребления газа и угля в мировом энергетическом балансе, за исключением тех стран, в которых уголь в большей степени замещен газом [2].

В сложившихся условиях необходимо непрерывное повышение конкурентоспособности и эффективности угледобывающего предприятия.

На Черногорском каменноугольном месторождении, представленным свитой сложно-структурных пластов пологого падения (3-5°), применяется комбинированная система разработки – бестранспортная с применением экскаваторов-драглайнов и транспортная с использованием карьерных автосамосвалов.

На современном этапе освоения месторождения наблюдается снижение эффективности бестранспортной технологии за счет ряда факторов.

### 1. Увеличение коэффициента переэкскавации.

За период 2007-2016 гг. рост объемов переэкскавации составил 127,8 %, в том числе бестранспортной переэкскавации на 73,1 %, автотранспортной переэкскавации на 1008,4 %.

Объемы бестранспортной вскрыши снизились на 22,4 %, при общем росте объемов вскрышных работ на 77 %.

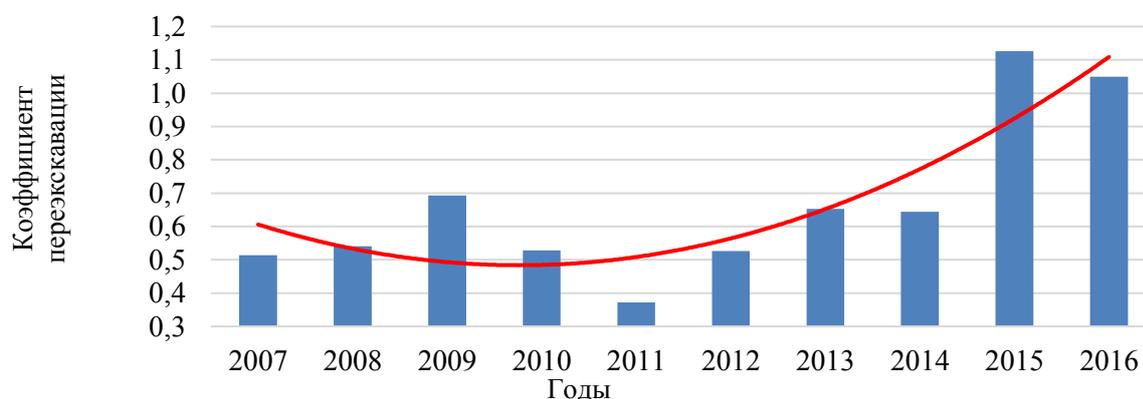
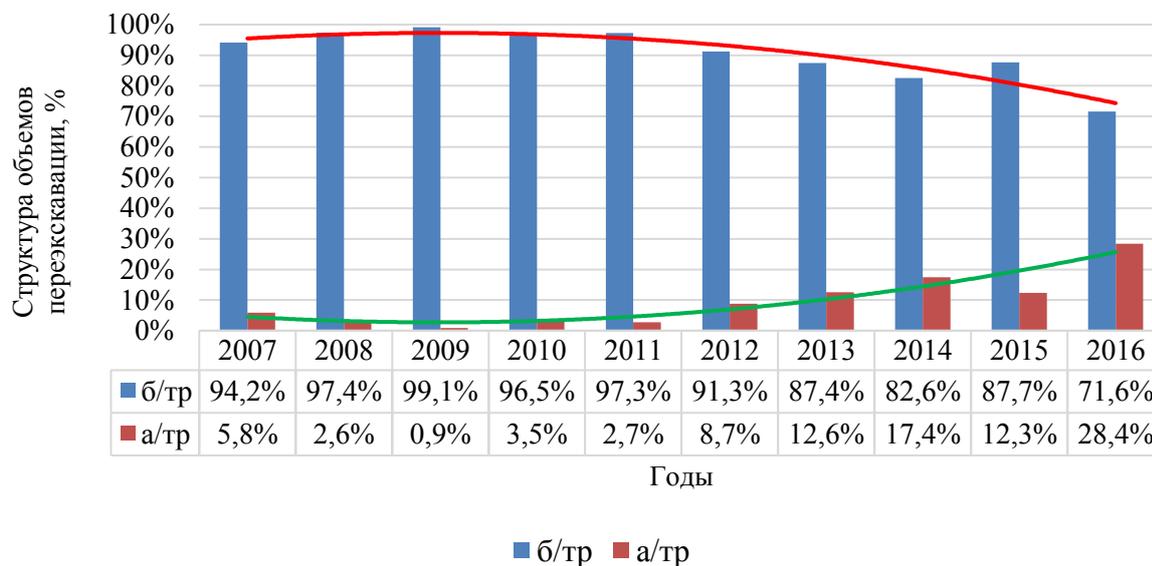


Рис. 1. Коэффициент переэкскавации



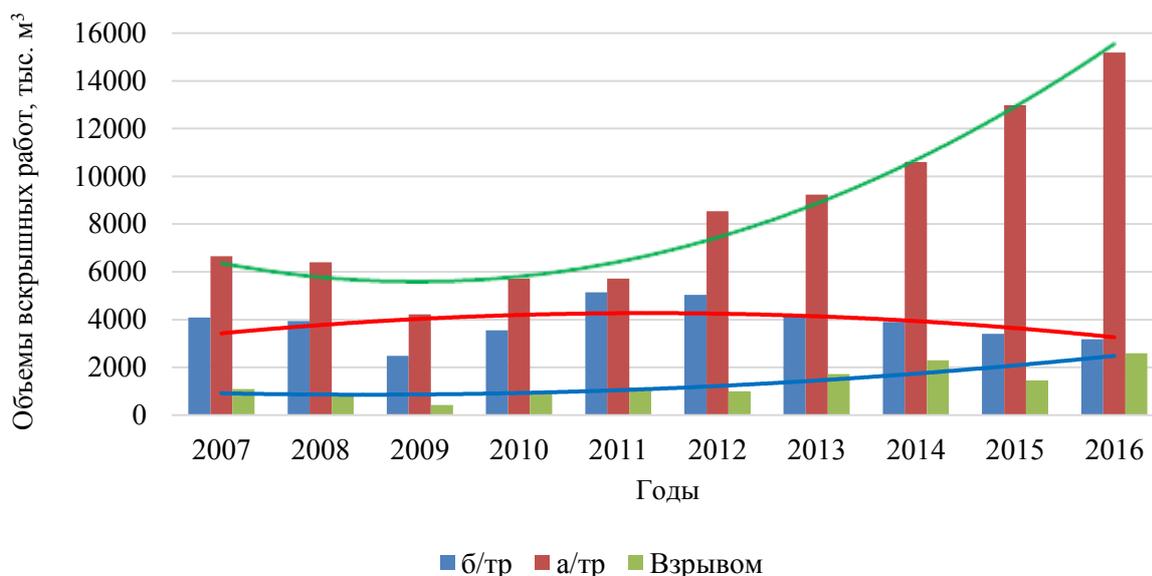
**Рис. 2. Объемы бестранспортной вскрыши и перезкавкации**

**2. Изменение структуры перезкавкации в сторону увеличения автотранспортной перезкавкации.**



**Рис. 3. Изменение структуры перезкавкации**

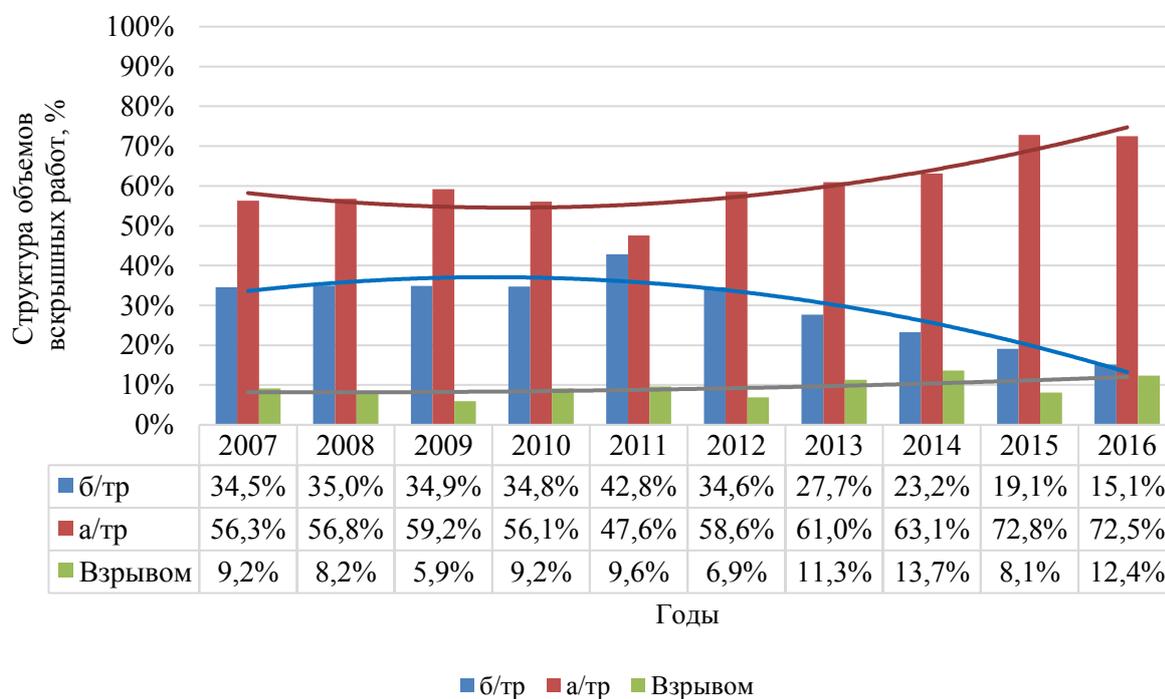
**3. Рост объемов вскрышных работ с погрузкой в автосамосвалы: обусловлено горно-геологическими факторами.**



**Рис. 4. Вскрышные работы по видам**

Повышение эффективности работы предприятия возможно за счет интенсификации вскрышных работ.

Комбинированная технология разработки Черногорского каменноугольного месторождения предопределяет рассмотрение интенсификации вскрышных работ в комплексе, как для бестранспортной технологии, так и для автотранспортной.



**Рис. 5. Динамика изменения структуры вскрышных работ**

Приоритетное значение бестранспортной технологии обусловлено ее специфическими особенностями, связанными с исключением транспортного звена из технологического процесса и использованием выработанного пространства для размещения бестранспортных отвалов. Относительная простота работы по выемке и перевалке породы, отсутствие сложных взаимосвязей создают условия для высокопроизводительного использования мощных экскаваторов-драглайнов. Большие линейные параметры применяемых машин способствуют выполнению вспомогательных работ в сравнительно меньших объемах.

Бестранспортная технология наиболее гибка в перестройке и изменении технологических параметров, легко может быть приспособлена к часто изменяющимся горно-геологическим условиям и параметрам системы разработки.

При бестранспортной технологии угол откоса уступа и его высота имеют максимально возможные (по параметрам экскаватора) значения, которые наиболее близки к предельным по устойчивости, благодаря чему крутой угол рабочей зоны позволяет поддерживать минимальный текущий коэффициент вскрыши и минимально необходимое опережение вскрышными работами добычи угля.

Немаловажным фактором, определяющим эффективность применения бестранспортной технологии, является более низкая себестоимость вскрышных работ по сравнению с автотранспортной технологией.

На Черногорском месторождении бестранспортная система разработки имеет усложненный вид, т.е. с переэкскавацией и отсыпкой двухъярусного отвала. Для повышения эффективности бестранспортной системы разработки используется «подрезка» драглайном нижнего яруса отвала. По данным практики угол откоса «подрезанного» предотвала достигает 45-55°. Возможность «подрезки» откоса обусловлена наличием достаточно прочных пород отвала и контакта «отвал-основание», а также благоприятные гидрогеологические условия.

Для сокращения текущего коэффициента вскрыши и переноса части вскрыши к отработке на более поздний период, первоначально разрабатываются участки с большей угленасыщенностью (с меньшим коэффициентом вскрыши).

Исходя из этого свита пластов и покрывающие их породы разрабатываются отдельными блоками, при этом верхние угольные пласты свиты вскрываются сооружением транспортных перемычек. Сооружение транспортных перемычек по фронту горных работ способствует сокращению расстояния транспортирования вскрышных пород на бульдозерные отвалы. Горные работы в данных блоках представлены в виде обособленных зон с самостоятельными коммуникациями. По мере развития горных работ уступы этих зон соединяются между собой и образуют единый по протяженности разреза уступ со сплошным фронтом горных работ.

Недостатком применения данного способа вскрытия верхних горизонтов в угленасыщенной зоне, является проблематичность размещения бестранспортных отвалов в местах сооружения перемычек, а также дополнительные объемы переэкскавации. Эффективность работы экскаваторов-драглайнов снижается.

В сложившихся горнотехнических условиях на Черногорском месторождении, при малой мощности разрабатываемых угольных пластов и относительно малой высоте разрабатываемых вскрышных уступов, росте производительности комплексов оборудования, растет и скорость перемещения забоев по фронту работ. Лимитирующим звеном в технологической цепи является бестранспортная вскрыша (в т.ч. переэкскавация). Вследствие чего идет отставание по скорости перемещения забоев, разрабатываемых по бестранспортной технологии, а также скорость подвигания забоев переэкскавации.

Данные факторы способствуют перераспределению структуры переэкскавации в сторону роста объемов автотранспортной переэкскавации и снижению объема бестранспортной.

Данное отставание по скорости подвигания фронта горных работ возможно компенсировать за счет оптимизации высоты бестранспортного уступа. Однако недостатком данной оптимизации будет перераспределение вскрышных работ в сторону увеличения объемов, обрабатываемых на автотранспорт. Следовательно, для повышения экономической эффективности угледобывающего предприятия, способы интенсификации бестранспортной технологии при комбинированной системе разработки следует рассматривать в комплексе с повышением эффективности работы автотранспорта.

В свою очередь эффективность работы автотранспорта в большей мере зависит от расстояния транспортирования горной массы. Так при увеличении объемов автотранспортной вскрыши затраты на транспортирование дополнительных объемов возможно компенсировать сокращением плеча откатки. Реализовать это возможно замещением высвободившихся объемов бестранспортных отвалов в выработанном пространстве, отсыпкой бульдозерных отвалов.

Задачи, которые необходимо решить для определения оптимальной высоты бестранспортного уступа:

- установить закономерность изменения основных технико-экономических показателей вскрышных работ при распределении объемов между транспортной зоной и бестранспортной, с варьированием расстояния транспортировки;
- разработать математическую модель технологических схем ведения вскрышных работ в заданных динамических условиях.

#### Список литературы

1. Кузнецов В.И. Управление горными работами на разрезах Кузбасса / В.И Кузнецов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1997. – 164 с.
2. Плакиткина Л.С. Потребление угля в основных регионах и странах мира в период 2000-2015 гг. – анализ, тенденции и перспективы / Л.С. Плакиткина, Ю.А. Плакиткин // Уголь. – 2017. – №1. – С. 57–61.
3. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация: учебное пособие / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 549 с.

УДК 622.221.03

## РАЗВИТИЕ ПРИНЦИПОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ НА МОЩНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

БИЛИН А. Л.<sup>1,2</sup>, БЕЛОГОРОДЦЕВ О. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук

<sup>2</sup> Мурманский арктический государственный университет

**Аннотация.** Разработан и на примере Ковдорского железорудного месторождения апробирован методологический подход к определению границ карьеров, предполагающий совмест-

ное использование двух существенно различающихся граничных коэффициента вскрыши: экономически допустимого и сравнительного с подземными горными работами.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, границы карьеров, граничные коэффициенты вскрыши.

## THE DEVELOPMENT OF PRINCIPLES FOR DETERMINING THE OPEN PIT BOUNDARIES FOR THICK STEEPLYDIPPING DEPOSITS

BILIN A. L.<sup>1,2</sup>, BELOGORODTSEV O. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Science

<sup>2</sup>Murmansk Arctic State University

**Abstract.** A methodological approach to the determination of the open pit boundaries was developed and approved, using the case study of the Kovdor ore deposit. The approach proposes the joint use of two significantly different limiting stripping ratios: an economically feasible ratio and a comparative ratio with underground mining operations.

**Keywords:** open mining, open pit boundaries, limiting stripping ratio.

Отметим, что рассмотренный аспект уточнения методологии определения границ карьера был выполнен в ходе работ по уточнению параметров нового пространственного этапа отработки Ковдорского железорудного месторождения при использовании новой конструкции борта карьера с уступами, имеющими субвертикальные откосы [1].

На мощных рудных месторождениях полезных ископаемых, разработка которых предполагается в течение многих десятков лет, проектирование открытых горных работ часто осуществляется без учета дальнейшей разработки месторождения подземным способом – сначала проектируется карьер, а затем, когда стадия выбытия карьера из эксплуатации становится уже довольно близкой перспективой, проектируется подземный рудник. Примером такого подхода стало проектирование нового пространственного этапа расширения карьера Ковдорского ГОКа в проекте V очереди расширения (при увеличении глубины карьера с 560 до 870 м относительно замкнутого контура на отметке 210 м – отметки дна -350 и -560 м) [2]. Не смотря на то, что срок функционирования карьера к этому времени составил уже около 50 лет, вопрос о параметрах и схеме вскрытия подземного рудника при проектировании даже не был поставлен.

Это нарушает один из главных исходных принципов проектирования, требующего оптимизации заложенных в проект решений на период отработки всего месторождения. В связи с этим, и учитывая неизбежность и относительную близость перехода на подземные горные работы, в Горном институте Кольского научного центра была поставлена и разносторонне рассмотрена проблема формирования рациональной стратегии перехода с открытых на подземные горные работы.

Определение границ карьера на мощных рудных крутопадающих месторождениях необходимо осуществлять с учетом строительства будущего подземного рудника. Оценка основных параметров подземного рудника необходима не только для разработки стратегии перехода на подземные горные работы (ПГР), т.е. для наиболее полного совмещения вскрывающих выработок глубоких горизонтов карьера и подземного рудника, но и для более точного обоснования границ перехода с открытых горных работ (ОГР) на ПГР.

На месторождениях относительно бедных руд, на которых подземный способ добычи проблематичен ввиду убыточности, границы карьера определяют по граничному допустимому (или экономически допустимому) коэффициенту вскрыши:

$$KB_{ГД} = \frac{C_{Д} - C_{р}}{C_{в}} \quad , \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (1)$$

где  $C_{Д}$  – допустимая (предельно большая) себестоимость руды при нулевой рентабельности переработки полезного ископаемого, руб./м<sup>3</sup>;  $C_{р}$  – себестоимость (собственно добычи) руды, руб./м<sup>3</sup>;  $C_{в}$  – себестоимость извлечения вскрыши, руб./м<sup>3</sup>.

Для Ковдорского месторождения комплексных железных руд подземный рудник рентабелен и глубину перехода с ОГР на ПГР следует определять по принципу равенства контурного и граничного сравнительного коэффициентов вскрыши (2) или (с учетом разного уровня извлечения полезного ископаемого из недр) по принципу равенства контурного и граничного уточненного коэффициента вскрыши (3).

$$KB_{ГС} = \frac{C_{П} - C_{О}}{C_{в}} \quad , \text{ м}^3 / \text{ м}^3, \quad (2)$$

где  $C_{П}$  – себестоимость добычи руды на том же месторождении подземным способом, руб./м<sup>3</sup>.

$$KB_{ГУ} = \frac{C_{у} - C_{О}}{C_{в}} \quad , \text{ м}^3 / \text{ м}^3, \quad (3)$$

где  $C_{у}$  – «приведенная» (уточненная) себестоимость по равенству извлекаемой из недр ОГР и ПГР ценности:

$$C_{у} = C_{Д} - (C_{Д} - C_{П}) \times I_{ПД} / I_{НО} \times K_{рп} / K_{ро} \quad , \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (4)$$

где  $I_{ПД}$  и  $I_{НО}$  – извлечение из недр при добыче, соответственно, подземным и открытым способами, с учетом потерь при подземном способе в недрах из-за более высокого бортового содержания и в общерудничных целиках, %;  $K_{рп} = 1 - P_{П}/100$  и  $K_{ро} = 1 - P_{О}/100$ , доли ед. – поправочные коэффициенты, учитывающие разубоживание при подземной ( $P_{П}$ , %) и открытой ( $P_{О}$ , %) добыче.

Для экономических условий Ковдорского ГОКа граничный сравнительный коэффициент вскрыши составил 7 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, в то время как граничный допустимый – 18 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Однако, кроме обоснования глубины рационального перехода с ОГР на ПГР на мощных месторождениях, к каковым можно отнести Ковдорское месторождение железосодержащих руд, проявляется еще один немаловажный дополнительный аспект. Для дорабатываемых оставшиеся запасы ПГР самостоятельной проблемой является отработка прибортовых запасов руды выше отметки проектного дна карьера, т.е. в его бортах. Работы по отработке этих запасов начинаются (в случае применения наиболее эффективных систем разработки с обрушением) только после полного завершения горных работ на карьере. Отрабатываемые площади рудных тел при этом относительно малы и постепенно нарастают по мере приближения к конечной отметке дна карьера. Но в то же самое время отработка этих запасов требует проведения больших объемов подготовительных и нарезных работ. При этом дополнительно предполагается наличие довольно длительного периода нарастания производительности подземного рудника при повышенных затратах в переходный период, как за счет масштабного фактора, так и за счет фактора большего удельного веса горно-подготовительных работ [3, 4].

Таким образом, горно-геологические условия крупномасштабных месторождений приводят к тому, что для определения границ карьера следует применять сразу два коэффициента вскрыши:

1) граничный уточненный коэффициент вскрыши – для определения глубины перехода с ОГР на ПГР;

2) граничный допустимый коэффициент вскрыши – для определения условий вовлечения рудных блоков в карьер на боках и в торцах рудной залежи.

Рудные тела ковдорского месторождения отличаются очень высокой «контрастностью», т.е. изменчивостью содержания полезных компонентов. Из-за этого определение границ карьера с помощью коэффициента вскрыши, который превращается во вспомогательный проверочный принцип, способно привести к небольшим локальным смещениям борта карьера относительно истинного оптимума. В нашем случае была использована разработанная ранее блочная модель месторождения, в которой определены индивидуальные для каждого блока руды содержания полезных компонентов. В целом, задача обоснования рациональных границ карьера разбивается на четыре последовательных подзадачи:

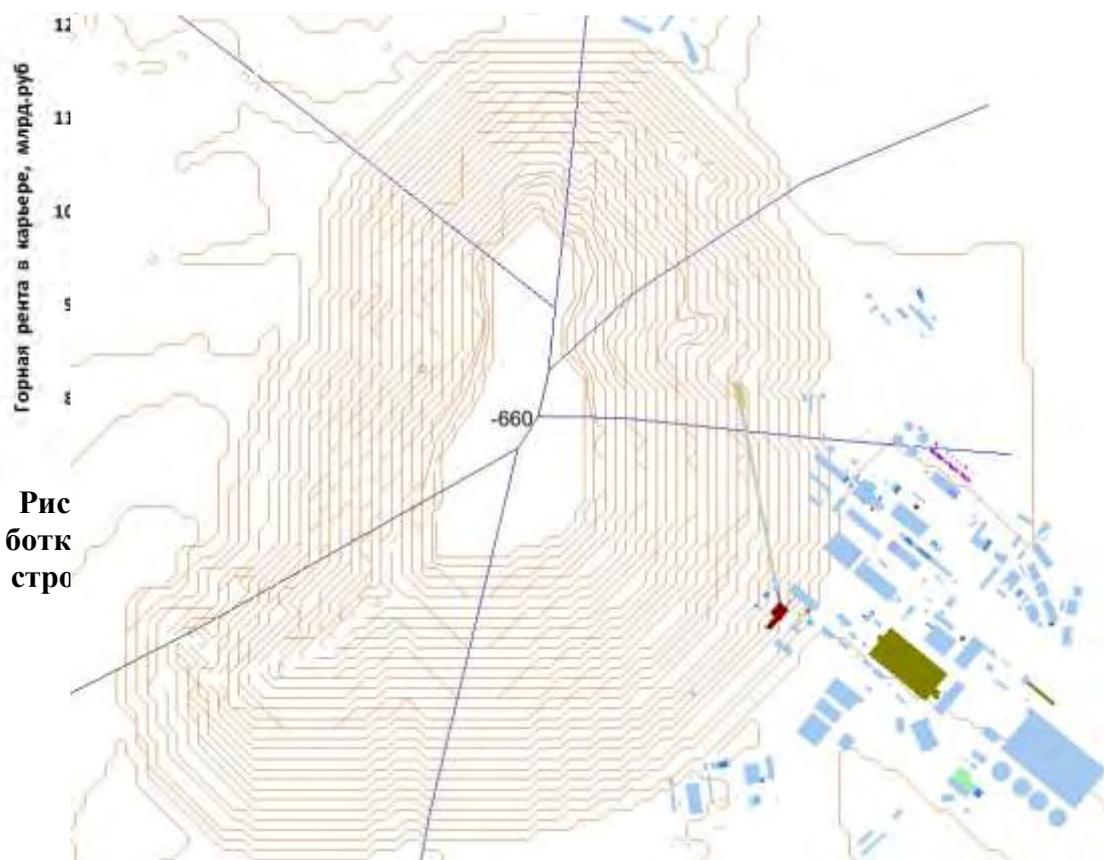
- 1) Создание экономической модели месторождения.
- 2) Обоснование базовой глубины перехода на подземные горные работы.
- 3) Определение условий вовлечения рудных блоков в ОГР в боках и торцах залежи.
- 4) Уточнение глубины карьера при его доуглубке в центральной зоне.

Следует отметить, что экономическая модель была выполнена в двух вариантах: для базового с автомобильным транспортированием руды и с транспортированием руды подземным транспортным комплексом со скиповыми стволами и перепуском руды на единый концентрационный горизонт первой очереди подземного рудника.

После создания экономических моделей ОГР и ПГР для каждого блока была определена ожидаемая ценность руды и вскрыши в недрах. Полученная экономическая модель, содержащая набор рудных (с положительной ценностью) и породных (с отрицательной ценностью) блоков была импортирована в программное приложение OptiKog в программе GeoTech-3D и была использована для автоматизированного определения границ карьера. Границы карьера определялись разработанным ранее в ГоИ КНЦ РАН методом автоматизированного горно-геометрического анализа границ карьера по алгоритму проф. С.Д. Коробова [5] для отметок дна -564, -660, -780 и -900 м (глубин, соответственно, – 750, 870, 990 и 1110 м). Чтобы запасы руды ниже отметок дна не оказывали влияние на границы карьера, положительные (по ценности) значения рудных блоков ниже заданных вариантов дна карьера заменялись на отрицательные (породные). В результате были получены четыре математических контура (рис. 1).

Фактически, данные математические контуры были построены по граничному допустимому коэффициенту вскрыши, но для директивно ограниченных глубин. При этом у всех вариантов контуров карьера сформировалось довольно обширное дно.

Необходимо отметить, что с точки зрения исключительно открытых горных работ оставление такого широкого дна нерационально, т.к. имеется возможность доуглубиться еще на несколько 30-м-уступов, если вскрышные работы уже осуществлены и вскрытые рудные площади позволяют это осуществить. Если достроить карьеры в глубину, то появляется возможность, например, от базового дна -660 доуглубиться до -810 м (рис. 2), т.е. на пять уступов по 30 м.



**Рис  
ботк  
стро**

**Рис. 1. Математический контур для отметки дна – 660 м с инженерно-геологическими секторами [6]**

Однако необходимо иметь в виду, что доуглубка карьера нарушает целостность запасов горизонтов подземного рудника и существенно ухудшает условия доработки запасов в борту карьера (т.е. выше дна карьера) подземным рудником. Аналогичная работа была выполнена и для других трех вариантов карьеров. Для каждого базового и дополнительных (достроенных) вариантов с помощью математической модели (суммированием попавших в карьерное пространство блоков математических моделей чистых ценностей ОГР и ПГР) был оценен уровень валового дохода от разработки карьером в конкретных контурах (рис. 3). График демонстрирует, что ценность отработки месторождения с ростом глубины карьера возрастает и пока еще далека от экстремума. Это указывает на то, что глубина карьера, если рассматривать его без учета доработки законтурных запасов подземным рудником, может быть увеличена еще больше. При этом по мере углубки карьера дополнительные запасы, естественно, добываются с все большими затратами из-за постоянно возрастающих объемов прирезки вскрышных пород и ухудшения условий проветривания. Одновременно с этим все более ухудшаются средние условия первого этапа разработки подземного рудника. Поэтому необходимо оценить зависимость себестоимости добычи руды подземным рудником от глубины карьера и определить, как будет вести себя совместная валовая прибыль (дифференциальная горная рента). Т.е. для обоснования рациональных границ карьера следует рассматривать не только карьер, а систему карьер-подземный рудник.

Обоснование базовой глубины перехода на подземные горные работы осуществлялось по максимуму общего валового дохода (дифференциальной горной ренты) от работы карьера и подземного рудника. Суммарная величина совокупного дохода при отработке месторождения открыто-подземным способом конечной глубины карьера показала (рис. 3), что рациональная отметка дна карьера для автомобильного транспорта составляет -690 м, а при использовании транспортной схемы подземного рудника - 720 м. Следует отметить, что подземные вскрывающие выработки глубоких горизонтов карьера будут использоваться в дальнейшем при отработке прибортовых и подкарьерных запасов подземным способом, а также при строительстве подземного рудника [7]. При этом даже в случае доуглубки карьера с отметки -660 м до -690 или -720 м у карьера продолжает оставаться довольно широкое дно.

Такой карьер, по сравнению с карьером, имеющим узкое дно, включает в себя запасы по контурному торцевому коэффициенту вскрыши до  $18 \text{ м}^3/\text{м}^3$  по граничному допустимому коэффициенту вскрыши при граничном сравнительном (с ПГР) коэффициенте вскрыши  $7 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

При использовании в качестве исходной модели Математического контура с отметкой дна -660 м (см. рис. 1) была построена модель Технологического контура карьера на конец отработки (рис. 4) без учета нахождения вблизи карьера промплощадки комбината.

В зону отработки попадают не только первые две очереди рудного дробильно-конвейерного комплекса с корпусами среднего и мелкого дробления, но и теплоэнергетическая, ремонтный цех, электроцех, автотранспортный и бульдозерный цеха. Гараж и ремонтные боксы цеха технологического транспорта оказываются практически на борту карьера. В 150 м от карьера оказывается магнитно-обогащительная фабрика и еще ряд корпусов промплощадки комбината. В возможном контуре, предполагающем перенос

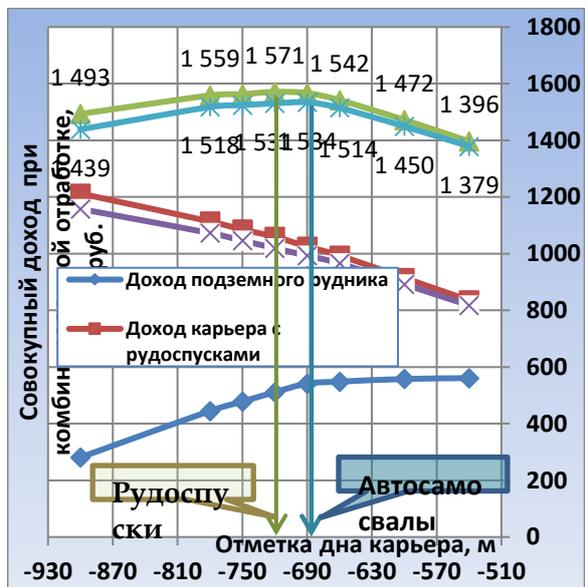


Рис. 3. Зависимости суммарной величины совокупного дохода от конечной глубины карьера при использовании автомобильного транспорта и подземного конвейерного комплекса

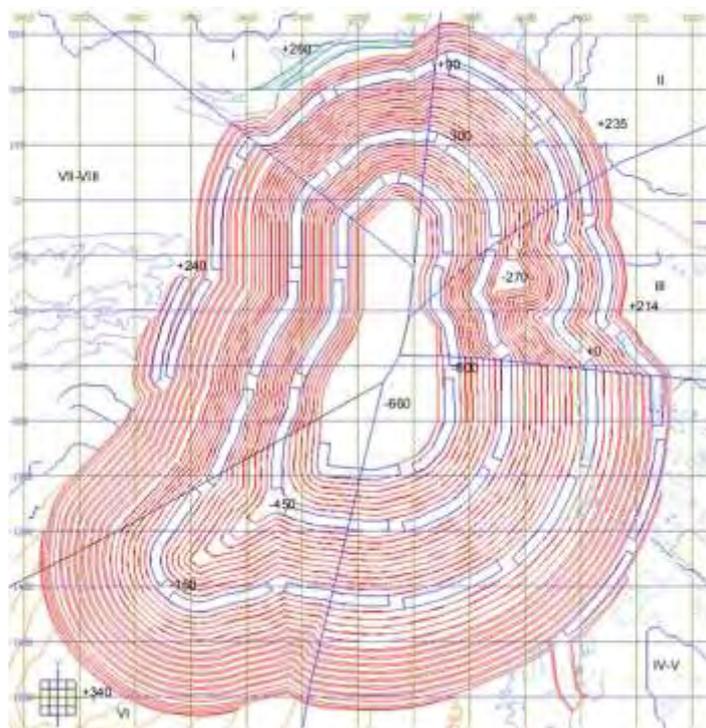
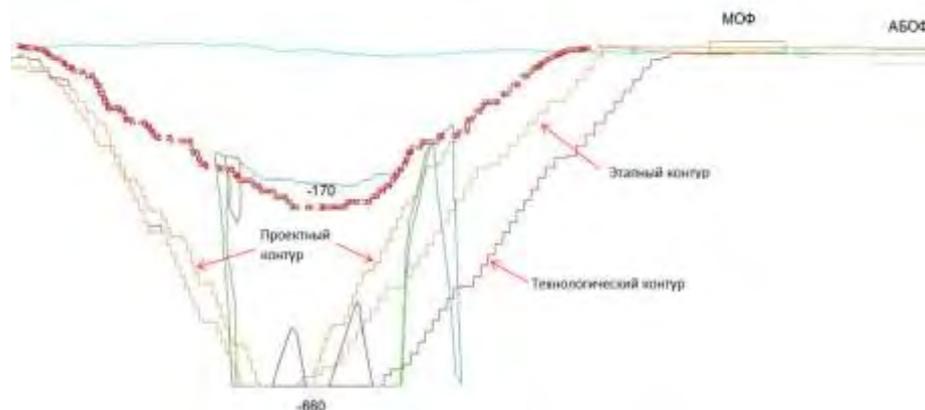


Рис. 4. Контур карьера на конец отработки

части сооружений промплощадки комбината в новые положения, содержится около 1040 млн. т руды, что на 289 млн. т больше, чем в предложенном проектировщиками (793 млн. т) ТЭО кондиций 2011 года карьере.

В Этапном контуре (с отм. дна карьера -660 м), предусматривающем сохранение значительного количества объектов промплощадки (рис. 5), эксплуатационные запасы руды составили 1004 млн. т при объеме вскрыши 645 млн. м<sup>3</sup> (таблица), что в сравнении с Проектным контуром [2] Гипроруда обеспечивает прирост валового дохода с 793 млрд. рублей до 966.

Переход с Проектного контура на Этапный способен продлить срок функционирования карьера: с 2057 года до 2070 года при производительности 16 млн. т руды в год. Кроме того, данный контур обеспечивает существенное сокращение относительно более затратного переходного периода освоения проектной мощности подземного рудника.



**Рис. 5. Поперечный разрез карьера в направлении промплощадки комбината**

Таким образом, в работе был апробирован методологический подход к определению границ карьеров, предполагающий совместное использование двух существенно различающихся граничных коэффициента вскрыши.

### **Сравнение показателей карьеров**

| Показатели                       | Ед. изм.          | в Проектном [1] | в Технологическом | в Этапном |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| Эксплуатационные запасы руды     | млн. т            | 753,29          | 1039,93           | 1004      |
| Средний коэффициент вскрыши      | м <sup>3</sup> /т | 0,41            | 0,73              | 0,64      |
| Валовый доход карьера при:       |                   |                 |                   |           |
| наземном транспортном комплексе  | млрд. руб.        | 793,54          | 976,1             | 941       |
| подземном транспортном комплексе | млрд. руб.        |                 | 1003,6            | 966       |

### **Список литературы**

1. Билин А.Л., Наговицын Г.О. Концепция безбермовой конструкции борта карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015, № 7. – С. 138-150.
2. Техничко-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов магнетитовых и апатитовых руд Ковдорского месторождения для открытой разработки. В пяти томах. Проект. Том 1 Геологическая, горно-механическая и горная части. Генеральный план. – С.П.: Гипроруда. 2011 г. – 257 с.

3. Лукичев С.В., Леонтьев А.А., Белгородцев О.В., Громов Е.В. Исследование технологических особенностей и схем вскрытия нижних горизонтов карьера и отработки запасов руды открыто-подземного яруса на мощных месторождениях // Раздел 1.2 монографии «Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых»: под науч. ред. акад. Трубецкого К.Н. -М.: ИПКОН РАН; МедиаМир, 2014. -196 с. (с.24-31).
4. Лукичев С.В., Белгородцев О.В., Громов Е.В. Обоснование способов вскрытия рудных месторождений с применением различных комбинаций конвейерного транспорта//Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2015. -№3.-С. 72-82.
5. Наговицын О.В, Билин А.Л., Смагин А.В. Оптимизация границ карьеров на основе алгоритма проф. С.Д. Коробова // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2002, № 7. – М.: МГГУ. – С. 244-246.
6. Рыбин В.В. Методика расчёта и результаты оценки устойчивости борта карьера Ковдорского ГОКа по секторам с учетом инженерно-геологических особенностей строения массива горных пород // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов. – Апатиты. – СПб.: Реноме, 2014. – С. 104-112.
7. Громов Е.В., Леонтьев А.А., Белгородцев О.В. Выбор транспортной схемы для выдачи руды при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых (на примере рудника «Железный» Ковдорского ГОКа)//Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 2013.-№ 8. -С. 10-17.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ КАРЬЕРНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

ЛЕЛЬ Ю. И.<sup>1</sup>, ИВАНОВА О. А.<sup>2</sup>, МУСИХИНА О. В.<sup>1</sup>, ГЛЕБОВ И. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

<sup>2</sup>Уральское управление Ростехнадзора

**Аннотация.** Проведен анализ удельного расхода дизельного топлива на отечественных карьерах. Предложена методика оценки энергетической эффективности автотранспорта глубоких карьеров. Установлены показатели энергоемкости электрифицированных карьерных автосамосвалов и перспективы их применения. Проведена оценка перспектив применения на карьерном автотранспорте возобновляемых источников энергии, природного газа и синтетического жидкого топлива, производимого из угля. Установлено, что наибольшие перспективы в обозримом будущем имеет использование на карьерном автотранспорте сжиженного газа (СПГ).

**Ключевые слова:** карьер, автотранспорт, расход топлива, коэффициент полезного использования энергии, дизель-троллейвоз, природный газ, уголь, возобновляемые источник энергии.

## ENERGY PERSPECTIVES OF CAREER ROAD TRANSPORT

LEL' Y. I.<sup>1</sup>, IVANOVA O. A.<sup>2</sup>, MUSIKHINA O. V.<sup>1</sup>, GLEBOV I. A.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Ural State Mining University

<sup>2</sup>Ural Department of Rostekhnadzor (Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia)

**Abstract.** The analysis of specific consumption of diesel fuel in domestic quarries is carried out. The technique of an estimation of power efficiency of motor transport of deep open-cast mines is offered. Indicators of energy intensity of electrified career dump trucks and prospects of their application are established. An assessment was made of the prospects for using renewable energy sources, natural gas and synthetic liquid fuels produced from coal on the quarry. It has been established that the greatest prospects in the foreseeable future are the use of liquefied gas (LNG) on quarry trucks.

**Keywords:** quarry, motor transport, fuel consumption, energy efficiency, diesel-trolley, natural gas, coal, renewable energy.

Энергия жидкого, в основном дизельного, топлива является вторым по значимости видом энергии, используемой в горнорудном производстве. Годовой расход дизельного топлива на карьерах черной металлургии составляет 1,0–1,1 млн. т. Если принять годовое потребление этого топлива горнорудными предприятиями с открытым способом разработки за 100 %, то окажется, что основной его расход (около 95 %) связан с транспортированием горной массы и перемещением различных грузов. При этом в целом по горнорудным предприятиям доля потребления автомобильным и железнодорожным транспортом составляет, соответственно, 56,0 % и 20,5 % общего расхода, а 22,5 % используется на вспомогательных работах.

Энергетические затраты являются одним из важнейших критериев эффективности применения автомобильного транспорта на карьерах. Общепринятым показателем энергопотребления карьерных автосамосвалов является удельный расход дизельного

топлива на единицу грузооборота (г/ткм) или на 1 т перевезенной горной массы (г/т). На современных карьерах он изменяется от 70...80 (АК «АЛРОСА» (ПАО), СП «Эрдэнэт») до 110...120 г/ткм (ОАО «Ураласбест», Ковдорский ГОК, ССГПО) и определяется факторами, которые можно разделить на две основные группы:

- горнотехнические и организационные условия эксплуатации;
- конструктивные параметры, включающие удельную мощность автосамосвала, коэффициент тары, коэффициент полезного действия трансмиссии, удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя и др.

Следует отметить, что за последние годы достигнут значительный прогресс в энергетической эффективности карьерного автотранспорта. ПО «БелАЗ» за сравнительно короткий период разработаны новые модели автосамосвалов и их модификаций грузоподъемностью 30, 45, 55...65, 130, 220, 280 и 320 т. На заводе разработан план модернизации и внедрения новой техники на перспективу до 2020 г. При этом осваиваемые производством модели соответствуют мировым тенденциям развития карьерного транспорта, в их конструкциях используются достижения российских и зарубежных фирм, поставляющих надежные агрегаты, узлы и материалы. Так, если в 1957 г. на меднорудных карьерах Урала средний удельный расход дизтоплива составлял 146..187 г/ткм (автосамосвалы МА3-205, ЯА3-210Е, МА3-525) то в 2017 г. на карьерах ОАО «Рудпром» он равнялся 100...105 г/ткм. Среднегодовой темп снижения удельного расхода дизтоплива автосамосвалами на отечественных карьерах составил 0,8...1,2 %.

Вместе с тем, показатель расхода топлива на единицу грузооборота (г/ткм) малоинформативен и недостаточно отражает специфику работы автотранспорта, особенно в глубоких карьерах. Исходя из основных функций транспорта глубоких карьеров в качестве критерия может быть принята величина удельных затрат энергии на подъем 1 т горной массы из карьера, приведенных к первичным энергоресурсам – условному топливу (у.т.). Данный критерий позволяет не только оценивать энергетическую эффективность автомобильного транспорта глубоких карьеров, но и производить сравнение автотранспортных средств, работающих на различных источниках энергии. Коэффициент полезного использования энергии ( $\eta$ ) определится из выражения [1]

$$\eta = (P_T/P_\Phi)100\%, \quad (1)$$

где  $P_T$  – теоретически необходимая величина расхода энергии на подъем 1 т горной массы на высоту 1 м ( $P_T = 9,81$  кДж/т·м = 0,335 г у.т./т·м);  $P_\Phi$  – фактические затраты энергии автотранспортом, г у.т./т·м.

Приведение фактических затрат энергии к расходу первичных энергоресурсов (у.т.) осуществляется с использованием следующих выражений:

$$P_{\Phi,д} = gk_пk_тk_д; \quad P_{\Phi,э} = \omega k_эk_{пот}k_д, \quad (2)$$

где  $P_{\Phi,д}$ ,  $P_{\Phi,э}$  – удельные затраты условного топлива на подъем 1 т горной массы на 1 м, соответственно, автосамосвалами, работающими на дизельном топливе и электроэнергии, г у.т./т·м;  $g$  – удельный расход дизтоплива автосамосвалами, г/т·м;  $\omega$  – удельный расход электроэнергии электрифицированными автосамосвалами, кВт·ч/т·м;  $k_п$  – коэффициент, учитывающий затраты энергии на получение дизтоплива из нефти ( $k_п = 1,18...1,20$ );  $k_д$  – коэффициент, учитывающий затраты энергии на добычу и транспортирование топлива ( $k_д = 1,04...1,10$ );  $k_т$  – коэффициент, учитывающий разницу удельной теплоты сгорания дизельного и условного топлива ( $k_т = 1,5$ );  $k_э$  – показатель, учитывающий затраты условного топлива на получение 1 кВт·ч электроэнергии ( $k_э = 310...330$  г/кВт·ч);  $k_{пот}$  – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии при передаче и распределении ( $k_{пот} \approx 1,09$ ).

С использованием разработанной методики установлены показатели энергетической эффективности автотранспорта глубоких железорудных карьеров:  $P_{ф.д} = 2,4...2,8$  г/т·м). Таким образом, фактические значения коэффициентов полезного использования энергии на автоперевозках глубоких железорудных карьеров составляют 6,5–7,5 %. Предельные значения  $\eta$  при руководящем уклоне автодорог могут достигать 8,8–10 %.

В последние годы большие надежды в области энергосбережения возлагаются на электромобили. Причем, в горной промышленности такими автомобилями являются троллейбусы и дизель-троллейбусы, значительный опыт эксплуатации которых имеется на зарубежных карьерах. Расчетные показатели энергетической эффективности дизель-троллейвозного транспорта (дизель-троллейбусы на базе автосамосвалов БелАЗ-7519) на карьерах черной металлургии приведены в таблице [2].

### Показатели энергетической эффективности дизель-троллейвозного транспорта

| Карьер                     | Показатели энергетической эффективности |            |
|----------------------------|---|------------|
|                            | $P_{ф.д}$ , г у.т./т·м                  | $\eta$ , % |
| Костомукшский              | 5,29                                    | 6,3        |
| Ингулецкий                 | 4,43                                    | 7,6        |
| «Малый Куйбас» (ММК)       | 5,39                                    | 6,2        |
| № 21 Донского ГОКа         | 4,90                                    | 6,8        |
| Карагайский ОАО «Магnezит» | 5,07                                    | 6,6        |

Установлено, что коэффициент полезного использования энергии дизель-троллейвозным транспортом изменяется в пределах 6,2–7,6 % при среднем значении 6,7 %.

Таким образом, энергетические показатели дизель-троллейвозного транспорта находятся в тех же пределах, что и автомобильного. Данный вывод может показаться парадоксальным, поскольку в технической литературе распространено мнение о высокой энергетической эффективности данного вида транспорта. Однако в последние годы полученные результаты подтверждаются и зарубежными исследованиями [3]. Переход к полностью электрическим автомобилям не приведет к общей экономии первичной энергии и сокращению выбросов углекислого газа. Широкое применение таких автомобилей не дает никаких преимуществ по сравнению с дизельными автосамосвалами, по крайней мере до тех пор, пока вся электроэнергия, потребляемая электрическими автомобилями, будет производиться на основе существующей смешанной системы генерации электроэнергии (одновременное применение угля, природного газа, реакции ядерного деления и выработки энергии с помощью воды), а не из возобновляемых источников энергии. Широкое внедрение дизель-троллейвозного транспорта на карьерах США в 1980-х годах было обусловлено не энергетической эффективностью данного вида транспорта, а конъюнктурой цен на дизтопливо и электроэнергию. Экологическая эффективность электрификации автомобильного транспорта также весьма сомнительна. Здесь мы наблюдаем перенос источника загрязнения окружающей среды из района горного предприятия в район электростанции, а не его снижение. Это, конечно, не означает, что данный вид транспорта не имеет перспектив в отечественном горном производстве. Предварительную экспресс-оценку эффективности дизель-троллейвозного транспорта предлагается оценивать соотношением цен на дизтопливо и электроэнергию  $\mu$

$$\mu = P_T / P_E, \quad (3)$$

где  $P_T$  – стоимость дизельного топлива, руб/кг;

$P_3$  – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч.

Установлено, что предельное соотношение для опытных образцов отечественных дизель-троллейбусов составляло  $\mu_n = 3,5 \dots 4,0$  кВт·ч/кг. При  $\mu \leq \mu_n$  вариант дизель-троллейбусного транспорта отклоняется как неэффективный. При  $\mu > \mu_n$  вариант дизель-троллейбусного транспорта принимается к детальной экономической оценке.

В период создания первых опытных образцов отечественных дизель-троллейбусов (1986 г.) соотношение между стоимостью дизельного топлива и электроэнергией на большинстве горнодобывающих предприятий находилось на уровне 4,0–5,3 кВт·ч/кг, т. е. незначительно превышало предельное соотношение  $\mu_n$ . На ряде карьеров (Донской ГОК) фактическое соотношение было ниже предельного. Этот факт, а также конструктивные недостатки опытных образцов явились основными причинами, по которым указанный вид транспорта не был внедрен на отечественных карьерах. В настоящее время фактическое соотношение между стоимостью дизтоплива и электроэнергией увеличилось до 12–14 кВт·ч/кг. Это свидетельствует об определенных перспективах дизель-троллейбусного транспорта на отечественных карьерах, особенно в регионах с низкой стоимостью электроэнергии.

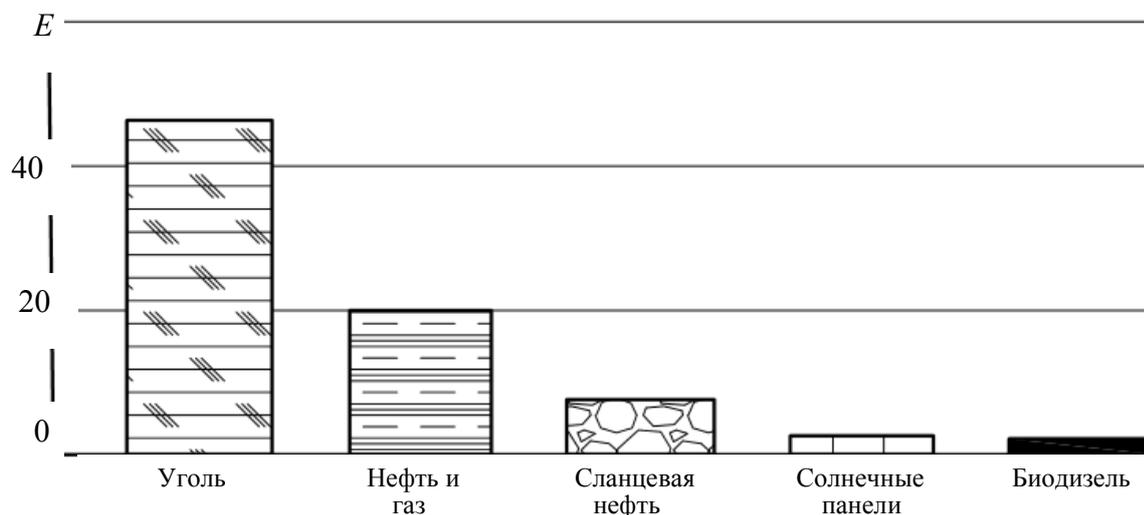
Рассмотрим альтернативные возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Возможности всех альтернативных источников, включая солнечную, ветровую и биоэнергетику, вклад которых даже в энергетику наиболее технологически развитых стран не превышает 2–3 %, принципиально ограничены низкой плотностью потока преобразуемой ими энергии и высокой себестоимостью. В зарубежной практике используется показатель отношения полученной полезной энергии к затраченной на её получение, который можно рассматривать как некий аналог к.п.д., но не для отдельного процесса, а для всей энергетической цепочки [4]. Он имеет английскую аббревиатуру EROEI от Energy Return On Energy Invested (отношение энергии полученной к энергии затраченной). Обозначим его  $E$ . Этот показатель учитывает все затраты, включая производство, обслуживание в течение всего срока эксплуатации и утилизацию отработанного оборудования, используемого для получения, переработки и транспортировки энергии, восстановление и рекультивацию нарушенных природных объектов, затраты на ликвидацию аварий и экологического ущерба окружающей среде. Если для некоторого источника энергии показатели  $E$  меньше единицы, то такой ресурс превращается в «потребителя» энергии и не может рассматриваться как её первичный источник.

На рисунке приведены средние значения показателя  $E$  для различных источников энергии. Пороговое значение  $E$ , при котором человечество еще может продолжить свое развитие, находится в районе 3, что однозначно исключает биотопливо, да и солнечную энергетику из числа перспективных источников энергии для автотранспорта, в том числе карьерного.

Наибольшее значение показателя  $E$ , как видно из рисунка, имеет уголь. Каковы перспективы производства жидкого топлива для карьерного автотранспорта из угля. Исследования показывают, что себестоимость дизельного топлива из угля сравнивается с себестоимостью моторного топлива из нефти тогда, когда себестоимость нефти увеличится примерно в четыре раза [5]. Поэтому, скорее всего в производстве дизельного топлива уголь может составить конкуренцию нефти не ранее чем через 40–60 лет.

Обратимся к природному газу. Природный газ – один из наиболее перспективных видов моторного топлива. Россия является страной наиболее обеспеченной ресурсами природного газа. Около четверти доказанных и более 40 % вероятных запасов традиционного природного газа приходится на территорию России. Запасы газа многократно превышают запасы нефти, а его добыча и переработка намного дешевле производства

других видов моторного топлива, в качестве которого он может использоваться в двух видах – сжатом (СПГ) и сжиженном (СПГ). Наибольший интерес представляет метан – самое дешевое моторное топлива в мире. При использовании природного газа вместо нефтяного топлива выброс токсических веществ в окружающую среду снижается приблизительно в 8 раз по оксиду углерода, в 2 раза – по окислам азота, в 3 раза – по углеводородам, в 9 раз – по задымленности. Кроме того, перевод карьерного автотранспорта на газ позволит вдвое снизить шумовое воздействие.



**Среднее значение  $E$  для различных источников энергии [4]**

ОАО «БелАЗ» в 2017 г. выпущен опытный образец газомоторного автосамосвала БелАЗ-75476 грузоподъемностью 45 т. Автосамосвал оснащен газопоршневым двигателем «Кунгур-550», который разработан уральской компанией «Технология 1604» на базе дизельного двигателя ЯМЗ-240. Новый двигатель имеет газотурбинный наддув и развивает мощность 405 кВт. В качестве топлива используется сжиженный природный газ (метан), размещаемый в специальном криобаке на раме автосамосвала. Снаряженная масса и грузоподъемность БелАЗ-75476 остались такими же, как у базового автосамосвала – БелАЗ-7547 при увеличении мощности двигателя на 10 %.

Газодизельный двигатель TRIOL для карьерных автосамосвалов БелАЗ разработан шведской фирмой Scania, а фирма MTU предложила газовые двигатели для автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 130 т.

В настоящее время многие горные предприятия проявляют интерес к переводу карьерного автотранспорта на природный газ. Так, в 2014 г. В АК «АЛРОСА» (ПАО) стартовал комплексный проект по переводу автотранспорта на СПГ. По предварительным расчетам ежегодная экономия компании от перевода технологического автотранспорта на СПГ (2017-2024 гг.) будет составлять от 40 млн. до 1,5 млрд. руб. [6].

Перевод карьерного автотранспорта на природный газ, вероятно, будет осуществляться в два этапа. В ближайшей перспективе будет происходить переход на СПГ на основе метана. В более отдаленной перспективе будет осуществляться переход на синтетическое жидкое топливо (СЖТ), производимое из природного газа. Уже несколько десятилетий существуют промышленные технологии конверсии природного газа в жидкие углеводороды, то есть синтетическую нефть и жидкие моторные топлива. Пока еще экономика производства СЖТ проигрывает экономике на основе природной нефти.

Но технология производства СЖТ постоянно совершенствуется, а себестоимость добычи нефти растет, так что ситуация неизбежно изменится. Основной энергетической перспективой карьерного автотранспорта является перевод на природный газ.

#### Список литературы

1. Смирнов В. П. Теория карьерного большегрузного автотранспорта / Смирнов В. П., Лель Ю. И. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 355 с.
2. Яковлев В. Л. Дизель-троллейвозный транспорт на карьерах /Яковлев В.П., Смирнов В.П., Лель Ю. И., Горшков Э. В. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. – 1991. – 104 с.
3. Смирн В. Энергетика: мифы и реальность /Смирн В. М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА. – 2012. – 272 с.
4. Артюнов В. С. Нефть XXI. Мифы и реальность альтернативной энергетики / Арутюнов В.С. М.: Алгоритм. 2016. – 208 с.
5. Степанов С. Г. Проблемы производства жидкого топлива из угля / Степанов С. Г., Исламов С. Р. // Уголь. 2015. – № 7. – С. 50-53.
6. Зырянов И. В. Альтернативное топливо для «АЛРОСА» // Вестник «АЛРОСА». – № 10 (231). – Октябрь 2015.

УДК [622.012.013.3:622.683]:004.94

### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАРЬЕРА ОАО «УРАЛАСБЕСТ»

БАХТУРИН Ю. А.  
Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В статье приводятся результаты имитационного моделирования по определению сменной производительности карьерного железнодорожного транспорта для условий комбината «Ураласбест». Установлены зависимости сменных объемов перевозок по видам горной массы от количества локомотивосоставов в работе для различных вариантов размещения и числа мест погрузки и разгрузки как для свободного, так и замкнутого циклов организации работы. Обоснована возможность разбиения общего числа локомотивосоставов на условно потребные для перевозки каждого вида горной массы.

**Ключевые слова:** планирование, имитационное моделирование, карьерный железнодорожный транспорт, сменная производительность.

### SIMULATION OF SIMULATION OF THE RAILWAY TRANSPORT SYSTEM OF THE CARRELE SYSTEM OF URALASBEST OJSC

BAKHTURIN Yu. A.  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Abstract.** The article presents the results of simulation modeling to determine the change in productivity of a quarry railway transport for the conditions of the Uralasbest Combine. Dependences of the replacement volumes of transportation by type of rock mass on the number of locomotives in work for different accommodation variants and the number of loading and unloading places for both

free and closed cycles of work organization are established. The possibility of dividing the total number of locomotives into conditionally necessary for transportation of each type of mountain mass is substantiated.

**Keywords:** planning, simulation modeling, career-railway transport, changeable productivity.

#### *Постановка задачи.*

Основным показателем эффективности системы планирования на карьере является степень сходимости плановых объемов работ с фактически реализуемыми на предприятии. Основой оперативного планирования горных и транспортных работ является эксплуатационная сменная производительность. Разнообразие природных, технологических, организационных условий эксплуатации карьерного автотранспорта и предложений на рынке техники обуславливает необходимость дифференцированного подхода к прогнозу производительности карьерного транспорта как при годовом, среднесрочном и долгосрочном планировании, так и оперативном управлении. Вместе с тем, достоверность получаемых в процессе расчета данных о производительности горнотранспортного оборудования в современной практике управления горнотранспортными комплексами практически не учитывается, вследствие чего поставленный план по выемке и транспортированию горной массы может быть заведомо невыполнимым. Это связано с тем, что при расчете производительности горнотранспортного комплекса используются средневзвешенные показатели продолжительности элементов циклов погрузки и транспортирования горной массы, взаимосвязь которых с горнотехническими условиями карьера не учтена. Неопределенность исходной информации может привести к изменению основных выходных характеристик и снижению эффективности работы карьерного транспорта в период эксплуатации, росту риска невыполнения сменного задания. Для учета фактора неопределенности исходной информации разработаны соответствующие методики. В частности, предложен принцип планирования, основанный на учете технологического риска невыполнения сменных заданий в процессе работы горнотранспортного комплекса [1], разработан упрощенный способ оценки оптимальных значений параметров, определяющих производительность карьерного транспорта. Для определения оптимальной производительности карьерного транспорта принята расчетная схема построения обобщенной функции желательности Харрингтона [2]. Эти и подобные методики носят опосредованный характер и предусматривают введение дополнительных условных расчетных характеристик. Кроме того, они не учитывают взаимодействие элементов транспортных систем, что особенно важно при эксплуатации карьерного железнодорожного транспорта [3]. Таким образом, задача адекватного определения возможностей транспортных систем при различных сочетаниях основного технологического оборудования в конкретных горнотехнических условиях является одним из определяющих факторов эффективного оперативного и перспективного планирования и управления, позволяет формировать стабильно функционирующие, адаптивные горнотранспортные системы.

#### *Методы исследований.*

Наиболее универсальным, позволяющим реализовать основные требования к определению характеристик функционирования сложных транспортных систем, можно считать метод имитационного моделирования, сущность которого состоит в компьютерном воспроизведении реальных процессов с учетом их вероятностного характера с помощью специально построенной математической модели. Целесообразность применения имитационных моделей обусловлена следующим [4-11]:

1. Структурной и функциональной сложностью систем, аналитическое описание которых затруднено. Имитационные модели могут быть построены без привлечения сложного математического аппарата при обязательном сохранении их логической структуры.

2. В отличие от аналитических моделей, где допускается определенная условность учета взаимодействия транспортных элементов системы вследствие того, что они, как правило, разрабатываются для объекта, вырванного из общей системы, имитационные модели непосредственно воспроизводят реальный процесс при помощи вычислительно-логических алгоритмов, обеспечивая учет взаимодействия элементов горнотранспортной системы.

3. Имитационные модели наиболее результативны при исследовании системы в динамике.

4. В отличие от других моделей имитационные позволяют решать не только узкие задачи, они могут применяться для решения широкого круга вопросов на основе подхода к горнотранспортной системе как единому целому.

5. Поскольку имитационное моделирование воспроизводит реальный процесс, оно подходит для придания автоматизированным системам управления горнотранспортным процессом в дополнении к мониторинговым и учетным еще и функции оптимизации прогнозирования и оперативного планирования.

В ИГД уро РАН проведены работы по построению модели горнотранспортного процесса, которая может использоваться для оптимизации технологии горнотранспортных работ в реальных условиях действующих предприятий и проектировании основных параметров горнорудных предприятий. Разработана и реализована универсальная имитационная модель функционирования горнотранспортной системы карьера [12], позволяющей решать широкий круг задач горнорудного производства. При моделировании вся путевая схема представляется в виде последовательных и параллельных участков, непосредственно примыкающих друг к другу. Поезда в процессе работы переходят с одного участка на другой в соответствии с определенным порядком организации движения поездов. Моделирование заключается в дискретном воспроизведении (шаг дискретизации 1 с) процесса функционирования горнотранспортной системы карьера. Путем соответствующего «проигрывания» различных вариантов можно исследовать ее параметры, установить их рациональные значения для различных условий эксплуатации и сочетаний горнотранспортного оборудования. Для оперативного планирования показателей работы горнотранспортной системы горнорудного предприятия практический интерес представляют 2 задачи:

- адекватное определение потребного количества локомотивосоставов для выполнения показателей плана производства;

- установление зависимости от объемов и пропорций перевозимой горной массы при фиксированной расстановке и количестве экскаваторов на погрузке и разгрузке горной массы.

Для решения этих задач проведено моделирование работы горнотранспортной системы с железнодорожным транспортом ОАО «Ураласбест» с применением указанной имитационной модели. Для периода май-июнь 2017 г. - плановые показатели по перевозке горной массы приведены в табл. 1. Характеристики мест погрузки и разгрузки горной массы, отражающие тип погрузочных и разгрузочных устройств, их размещение, номера экскаваторов, вид горной массы, принятое время погрузки и разгрузки приведены в табл. 2 и 3.

**Таблица 1 – Плановые показатели по перевозке горной массы на май-июнь**

|  |      |
|--|------|
| Среднесуточные объемы перевозок горной массы, тыс. т         | 51,8 |
| Среднесуточные объемы перевозок руды, тыс. т                 | 39,0 |
| Среднесуточные объемы перевозок скальной горной массы тыс. т | 10,0 |
| Среднесуточные объемы перевозок породы в отвал тыс. т        | 2,8  |

**Таблица 2 – Характеристика мест погрузки горной массы (для условий мая-июня 2017 г.)**

| № п/п | Тип погрузочного устройства, вместимость ковша | Вид горной массы | Время погрузки, мин | Размещение (раздельный пункт), № экскаватора |
|-------|--|------------------|---------------------|--|
| 1     | Экскаватор ЭКГ-6,3 УС                          | руда             | 61                  | ст. Западная. Экс. №308.                     |
| 2     | Экскаватор ЭКГ-8, 10 м <sup>3</sup>            | порода           | 59                  | ст. Западная. Экс. №338.                     |
| 3     | Экскаватор ЭКГ-8, 10 м <sup>3</sup>            | руда             | 50                  | ст. Звезда. Экс. №335.                       |
| 4     | Экскаватор 10 м <sup>3</sup>                   | порода           | 59                  | Ст. Звезда. Экс. №333.                       |
| 5     | Экскаватор 10 м <sup>3</sup>                   | руда             | 78                  | Ст. Звезда. Экс. №323.                       |
| 6     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>                    | руда             | 60                  | Нижний, Экс. №330                            |
| 7     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>                    | скала            | 65                  | Нижний, Экс. №311.                           |
| 8     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>                    | руда             | 63                  | Резервный склад. Экс. №327                   |

**Таблица 3 – Характеристики мест разгрузки горной массы (для условий мая 2017 г.)**

| № п/п | Тип разгрузочного устройства, вместимость ковша экскаватора | Вид горной массы | Время погрузки, мин | Размещение (раздельный пункт), № экскаватора |
|-------|---|------------------|---------------------|--|
| 1     | Приемный бункер ДСК-1                                       | руда             | 46,5                | ст. Гигант                                   |
| 2     | Приемный бункер ДСК-1                                       | руда             | 46,5                | ст. Гигант                                   |
| 3     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>                                 | руда             | 40                  | Резервный склад. Экс. №327                   |
| 4     | Приемный бункер ДСК-2                                       | скала            | 190                 | ДСК-2  |
| 5     | Приемный бункер ДСК-2                                       | скала            | 190                 | ДСК-2  |
| 6     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>                                 | порода           | 40                  | ст. Западная. Экс. №276.                     |
| 7     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>                                 | порода           | 40                  | ст. Звезда. Экс. №318.                       |
| 8     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>                                 | порода           | 40                  | Восточная                                    |

Рассмотрено 8 вариантов сочетаний горнотранспортного оборудования при 4, 6, 9, 11, 13, 14, 15 и 17 локомотивосоставах в работе. На основе результатов моделирования установлена зависимость сменных объемов перевозки по видам горной массы от количества локомотивосоставов в работе, график которой приведен на рис. 1. Приведенная зависимость позволяет определять необходимое количество локомотивосоставов для различных сменных заданных (плановых) объемов перевозок по видам горной массы. Например, плановые среднесменные объемы перевозок на май составляли по горной массе 25,9 тыс. т, в том числе по руде – 19,5 тыс. т, по скальной горной массе – 5 тысяч тонн, по породе в отвал - 1,4 тыс. т. Как следует из графика, эти объемы реализуются при работе 10 локомотивосоставов для указанных выше условий. Проведенное моделирование отражает условия функционирования горнотранспортной системы, сложившейся на май - июнь 2017 г. Вместе с тем, возможности горнотранспортной системы по объемам перевозок могут значительно превосходить приведенные выше.

Проведено моделирование работы горнотранспортной системы карьерного железнодорожного транспорта ОАО «Ураласбест» для вариантов с наибольшим количеством мест погрузки и разгрузки по видам горной массы за рассматриваемый календарный период (для условий, сложившихся в октябре-ноябре 2016 г.). Характеристики мест погрузки и разгрузки горной массы для этих условий, отражающие тип погрузочных и разгрузочных устройств их размещение, номера экскаваторов вид горной массы, принятое время погрузки и разгрузки приведены в табл. 4 и 5.



**Рис. 1. Зависимость сменных объемов перевозок от количества поездов в работе**

**Таблица 4 – Характеристика мест погрузки горной массы (для условий октября 2017 г.)**

| № п/п | Тип, марка погрузочного устройства  | Вид груза | Время погрузки, мин | Размещение, № экскаватора |
|-------|-------------------------------------|-----------|---------------------|---------------------------|
| 1     | Экскаватор ЭКГ-6,3 УС               | руда      | 61                  | ст. Западная, Экс №308    |
| 2     | Экскаватор ЭКГ-8, 10 м <sup>3</sup> | порода    | 59                  | ст. Западная, Экс №338    |
| 3     | Экскаватор ЭКГ-8, 8 м <sup>3</sup>  | порода    | 62                  | ст. Западная, Экс №276    |
| 4     | Погрузчик САТ 98811                 | руда      | 78                  | ст. Западная              |
| 5     | Экскаватор ЭКГ-8, 8 м <sup>3</sup>  | порода    | 62                  | ст. Западная              |
| 6     | Экскаватор ЭКГ-8, 10 м <sup>3</sup> | руда      | 50                  | ст. Звезда                |
| 7     | Экскаватор ЭКГ-8, 10 м <sup>3</sup> | порода    | 59                  | ст. Звезда                |
| 8     | Экскаватор ЭКГ-8, 10 м <sup>3</sup> | скала     | 78                  | ст. Звезда, Экс 323,      |
| 9     | Экскаватор ЭКГ-8, 8 м <sup>3</sup>  | руда      | 60                  | пост Нижний               |
| 10    | Экскаватор ЭКГ-8, 8 м <sup>3</sup>  | скала     | 58                  | пост Нижний, экс.311      |
| 11    | Экскаватор ЭКГ-8, 10 м <sup>3</sup> | руда      | 50                  | пост Нижний, экс.326      |
| 12    | Экскаватор ЭКГ-8, 8 м <sup>3</sup>  | руда      | 63                  | ст. Восточная             |
| 13    | Экскаватор ЭКГ-8, 8 м <sup>3</sup>  | руда      | 61                  | ст. Звезда                |
| 14    | Погрузчик САТ 98811                 | скала     | 78                  | ст. Глубокая              |
| 15    | Погрузчик САТ 98811                 | руда      | 78                  | ст. Глубокая              |
| 16    | Бункерная погрузка                  | пыль      | 240                 | Фабрика № 6               |
| 17    | Бункерная погрузка                  | пыль      | 28                  |                           |
| 18    | Бункерная погрузка                  | пыль      | 28                  |                           |

**Таблица 5 – Характеристика мест разгрузки горной массы (для условий октября 2017 г.)**

| № п/п | Тип разгрузочного устройства       | Тип горной массы | Время разгрузки состава, мин | Размещение      |
|-------|------------------------------------|------------------|------------------------------|-----------------|
| 1     | Приемный бункер ДСК-1              | руда             | 46,5                         | ст. Гигант      |
| 2     | Приемный бункер ДСК-1              | руда             | 46,5                         | ст. Гигант      |
| 3     | Экскаватор ЭКГ-8, 8 м <sup>3</sup> | руда             | 40                           | Резервный склад |
| 4     | Приемный бункер ДСК-2              | скала            | 190                          | ДСК-2           |
| 5     | Приемный бункер ДСК-2              | скала            | 190                          |                 |
| 6     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | порода           | 40                           | ст. Западная    |
| 7     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | порода           | 40                           | ст. Звезда      |
| 8     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | порода           | 40                           | ст. Восточная   |
| 9     | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | пыль             | 40                           | ст. Каменская   |
| 10    | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | пыль             | 40                           | ст. Каменская   |
| 11    | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | пыль             | 40                           | ст. Каменская   |
| 12    | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | пыль             | 40                           | Каменская       |
| 13    | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | пыль             | 40                           | Каменская       |
| 14    | Экскаватор 8 м <sup>3</sup>        | пыль             | 40                           | Каменская       |

Известно, что движение вскрышных и добычных составов организуется по свободному и замкнутому циклам. На комбинате «Ураласбест» движение локомотивосоставов организовано преимущественно по свободному циклу. Для полноты исследований проведено моделирование как для вариантов со свободным циклом организации движения локомотивосоставов, так и для замкнутого цикла. Исследованы следующие варианты сочетаний локомотивосоставов для замкнутого цикла: 1 вариант - 2 состава на перевозке руды, 1 – на перевозке скальной горной массы, 1- на перевозке пустой породы, 1 - на перевозке пыльных отходов; 2 вариант - 4 состава на перевозке руды, 2 – на перевозке скальной горной массы, 2- на перевозке пустой породы, 2 - на перевозке пыльных отходов; 3 вариант - 6 составов на перевозке руды, 3 – на перевозке скальной горной массы, 3- на перевозке пустой породы, 3 - на перевозке пыльных отходов; 4 вариант - 8 составов на перевозке руды, – 4 - на перевозке скальной горной массы, 4 - на перевозке пустой породы, 5 - на перевозке пыльных отходов; 5 вариант - 10 составов на перевозке руды, – 5 - на перевозке скальной горной массы, 5 - на перевозке пустой породы, 7 - на перевозке пыльных отходов. На основе обработки результатов моделирования получена зависимость сменных объемов перевозок от количества и для различных сочетаний поездов в работе по видам горной массы. График зависимости приведен на рисунке 2. Соответствующие исследования проведены для вариантов моделирования со свободным циклом организации движения поездов. При этом в указанных вариантах полностью повторялась расстановка локомотивосоставов на начало смены, как для вариантов с организацией движения поездов по замкнутому циклу. На основе обработки результатов моделирования получена зависимость сменных объемов перевозок от количества и для различных сочетаний поездов в работе по видам горной массы для вариантов со свободным циклом организации движения поездов. График зависимости приведен на рисунке 3. Сравнение графиков, приведенных на рис. 2 и 3, показывает, что соответствующие кривые зависимости роста сменных объемов грузоперевозок в обоих вариантах практически эквидистантны (равноудалены), а увеличение сменных объемов перевозок при свободном цикле организации движения поездов по сравнению со сменными объемами перевозок при замкнутом цикле не превышает 10-15%. Это позволяет

не только определить общее количество поездов в зависимости от количества перевозимой горной массы, но и разбить общее число локомотивосоставов на те, которые условно нужны для перевозки соответственно руды, пустой породы, скальной горной массы и пыльных отходов отдельно. Это существенно упрощает планирование горно-рудного производства.

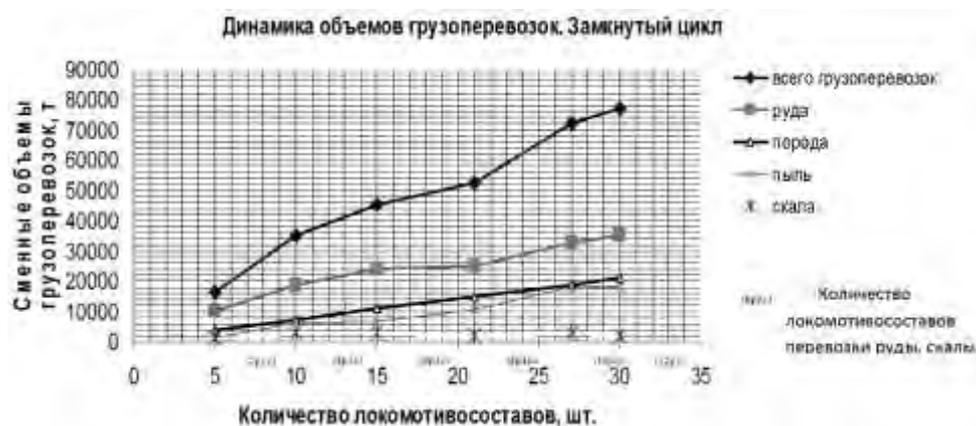


Рис. 2. Зависимость сменных объемов перевозок от количества и сочетаний поездов в работе для условий октября 2017 г. Замкнутый цикл



Рис. 3. Зависимость сменных объемов перевозок от количества и сочетаний поездов в работе для условий октября 2017 г. Свободный цикл

Практический интерес представляет задача моделирования работы горнотранспортной системы при остановке производства обогатительной фабрики №1, когда работает только производство № 2, т. е. транспортируется только скальная горная масса, пустая порода и пыльные отходы. Для решения задачи проведено моделирование работы горнотранспортной системы карьерного железнодорожного транспорта ОАО «Ураласбест» для вариантов с наибольшим количеством мест погрузки и разгрузки по видам горной массы за рассматриваемый календарный период (октябрь-декабрь 1916 г.)

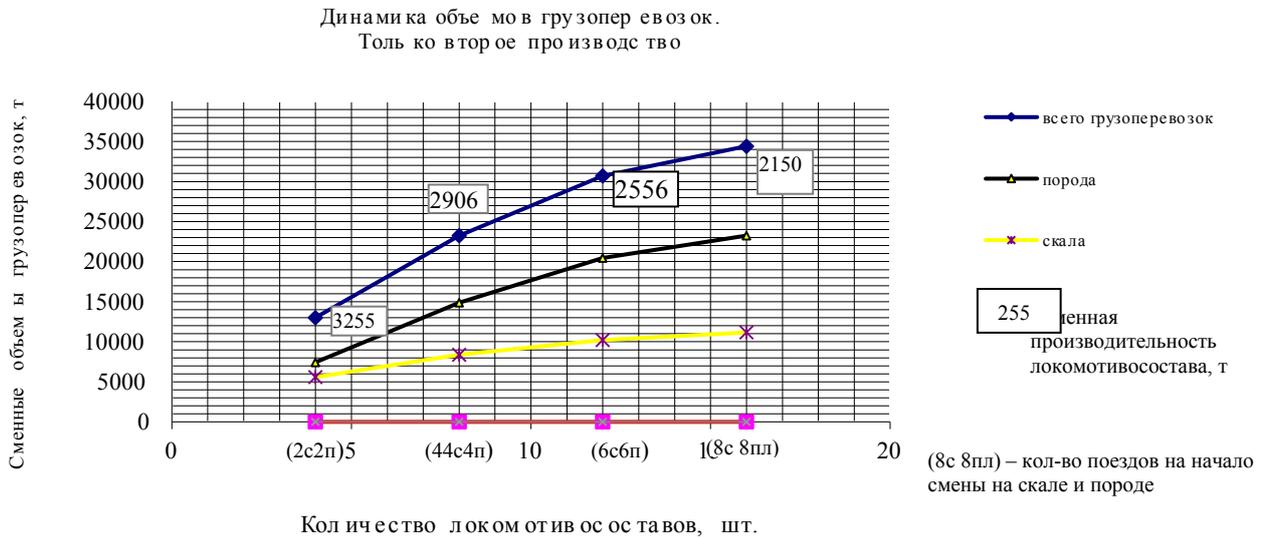
Исследованы следующие варианты сочетаний локомотивосоставов:

- 1 вариант - 2 состава на перевозке пустой породы 2 – на перевозке скальной горной массы;
- 2 вариант - 4 состава на перевозке пустой породы 4 – на перевозке скальной горной массы;

- 3 вариант - 6 составов на перевозке пустой породы 6 – на перевозке скальной горной массы;

- 4 вариант - 8 составов на перевозке пустой породы 8 – на перевозке скальной горной массы;

На основе обработки результатов моделирования получена зависимость сменных объемов перевозок от количества и для различных сочетаний поездов в работе по видам горной массы. График зависимости приведен на рис. 4.



**Рис. 4. Зависимость сменных объемов перевозок от количества и сочетаний поездов в работе. Работает только производство № 2**

### Заключение

Для условий карьера ОАО «Ураласбест» установлены зависимости сменных объемов перевозок по видам горной массы от количества локомотивосоставов в работе для различных вариантов размещения и числа мест погрузки и разгрузки как для свободного, так и замкнутого циклов организации работы, как для нормального режима работы, так и при остановке обогатительной фабрики. Обоснована возможность разбиения общего числа локомотивосоставов на условно потребные для перевозки отдельно каждого вида горной массы и пыльных отходов. Это позволяет адекватно определять сменную производительность горнотранспортных систем при различных сочетаниях основного технологического оборудования в конкретных горнотехнических условиях. В дальнейшем целесообразно создание системы моделирования движения карьерного железнодорожного транспорта, в которой логика организации движения поездов, порядок принятия решений дежурными по станциям задается интерактивно. Интерактивное задание правил организации движения означает, что эти правила сформулированы в явном виде и на основе этих правил осуществляется оперативный прогноз движения поездов. При работе с такой системой диспетчер имеет возможность «видеть» правила, на основе которых осуществляется моделирование перевозочного процесса, и тем самым возможно обоснование и объяснение результата прогнозирования набором используемых правил.

### **Список литературы**

1. Лаптев Ю. В. Титов Р. С. Яковлев А. М. Математическая модель оптимизации производительности карьерного автомобильного транспорта / Ю. В. Лаптев // Известия вузов. Горный журнал. 2013. №4. – 126-135.
2. Стенин Ю. В. Ганиев Р. С. Учет технологического риска при планировании производительности экскаваторно-автомобильного карьера / Ю. В. Стенин // Известия вузов. Горный журнал. 2015. №1. – 16-22.
3. Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А. Определение параметров парков и горловин станций с учетом их взаимодействия / П.А. Козлов // Транспорт Урала. 2017. №1 (52). – С. 3-7.
4. Бахтурин Ю. А. Моделирование работы сложных транспортных систем карьеров / Ю. А. Бахтурин // Горно-информ. аналитический бюллетень. -2011.- №.1 - С.82-90.
5. Бахтурин Ю. А. Управление режимами движения горной массы на складе при циклично-поточной технологии / Ю. А. Бахтурин // Проблемы недропользования». [электронный ресурс]: рецензируемое периодическое научное издание /Игд Уро РАН - 2015. № 4- С. 44-49. Режим доступа // [trud.igdur.ru](http://trud.igdur.ru). doi:10.18454/2313-1586.2015.04.041.
6. Яковлев В.Л., Журавлев А.Г., Бахтурин Ю.А. Особенности решения транспортных проблем на современном этапе развития горного производства / В.Л. Яковлев // Горное оборудование и электромеханика. № 2. - 2017. - С. 11 – 18.
7. Козлов П. А. О системах и системности на транспорте / П.А. Козлов // Транспорт Урала. 2016. №2 (49). – С. 3-8.
8. Козлов П. А. Колокольников В.С., Сорокин В.И. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей / П.А. Козлов // Транспорт Урала. 2016. №3 (50). – С. 3-8.
9. Козлов П.А., Тушин Н.А., Слободянюк В.И. Макромоделирование железнодорожных станций и узлов/ П.А. Козлов // Наука и техника транспорта. 2015. №2 – С. 82-88.
10. Козлов П.А., Колокольников В.С., Тушин Н.А. О загрузке стрелок и пропускной способности горловин / П.А. Козлов // Транспорт Урала. 2016. №4 (51). – С. 3-7.
11. Козлов П.А. О методах расчета систем железнодорожного транспорта / П.А. Козлов // Железнодорожный транспорт. - 2014. №1. – С. 28-32.
12. Салахияев Р.Г., Бахтурин Ю.А., Дедюхин А.В., Журавлев А.Г. Имитационное моделирование и автоматизированное управление горнотранспортными работами в карьерах / Р.Г. Салахияев // Горный журнал. - 2012. – № 1. – С. 82-85.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА КАРЬЕРНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

БАХТУРИН Ю. А.  
Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В статье приводятся результаты испытаний тормозных колодок с улучшенными эксплуатационными характеристиками, применение которых позволяет повысить безопасность эксплуатации тяговых средств за счет снижения тормозного пути по сравнению с применением стандартных колодок, а также уменьшения опасности возникновения пожара за счет низкого уровня искрообразования. Время торможения сокращается на 25% , тормозного пути тяговых средств на 30%. При этом срок службы высокофосфористых колодок в 2,5- 4,0 раза превышает аналогичный показатель стандартных колодок, также улучшаются ряд других эксплуатационных показателей.

**Ключевые слова:** карьерный железнодорожный транспорт, безопасность движения, тормозные колодки, тормозной путь, эксплуатационные испытания.

## INNOVATIVE TECHNICAL SOLUTIONS ENSURE SAFE OPERATION OF QUARRY RAILWAY TRANSPORT

BAKHTURIN Yu. A.  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Abstract.** The article presents the results of testing brake pads with improved performance characteristics, the use of which allows to increase the safety of traction by reducing the braking distance in comparison with the use of standard pads, as well as reducing the risk of fire due to a low level of sparking. The deceleration time is reduced by 25%, the braking distance of traction means by 30%. At the same time, the service life of high-phosphor pads is 2.5 to 4.0 times higher than that of standard pads, and a number of other performance indicators are also improving.

**Keywords:** quarry railway transport, traffic safety, brake pads, braking distances, performance testing

В современных условиях на крупных железорудных, угольных и асбестовых карьерах России и стран СНГ одним из основных видов технологического транспорта остается железнодорожный. Многолетний опыт применения электрифицированного железнодорожного транспорта на карьерах показывает его высокую эффективность при использовании в предпочтительных горнотехнических условиях эксплуатации. Известно, что развитие открытого способа добычи полезных ископаемых характеризуется усложнением горнотехнических условий, связанным с увеличением глубины карьеров. Это приводит к необходимости расширения области применения технологического железнодорожного транспорта за счет его более глубокого ввода в карьеры. Основным направлением развития и совершенствования карьерного транспорта на данном этапе считается увеличение уклонов путей до 60 – 80 ‰. Одним из определяющих ограничений расширенного применения железнодорожного транспорта с повышенными уклонами путей является значительная величина нормативного тормозного пути. В целях сокращения тормозных путей и эффективной эксплуатации карьерного желез-

нодорожного транспорта на существующих уклонах, а также на уклонах 60 – 80 % необходимо совершенствование как всей тормозной системы карьерных поездов, так и отдельных ее элементов. Основным способом торможения, применяемым на карьерном железнодорожном транспорте, является торможение фрикционными тормозными колодками по рабочей поверхности колес. Задача повышения эффективности работы автотормозов карьерного железнодорожного транспорта может быть решена путем применения тормозных колодок с повышенными эксплуатационными характеристиками (коэффициентом трения и износостойкостью).

В настоящее время колодки изготавливаются в основном из следующих материалов:

- обычного серого чугуна со вставками из белого, которые повышая износостойкость колодок, значительно снижают их фрикционные свойства, при этом установка вставок в форме приводит к усложнению технологического процесса при отливке колодок;

- серого чугуна с введением ванадия (0,05 – 0,15 %) в качестве легирующего элемента, что позволяет устранить вставки из белого чугуна, упростить технологию изготовления и увеличить прочность колодок за счет повышения их монолитности, увеличить тормозные свойства и износостойкость за счет образования в структуре колодок таких составляющих как карбиды ванадия и ванадиевой эвтектики.

Исследования и предварительные испытания на ряде карьеров, проведенные сотрудниками ТЦ ИГД УрО РАН, показали, что имеются возможности существенного совершенствования технологии отливки и свойств материала, из которого изготавливаются колодки. Впоследствии был запатентован чугун для тормозных колодок [1]. Техническим результатом изобретения является повышение прочностных характеристик на 40 – 50 %, снижение хрупкости чугуна в тормозных колодках при одновременном повышении износостойкости на 15 – 20 % за счет измененной структуры. В дальнейшем ООО «Пром-Техно» создана локомотивная тормозная колодка из чугуна, легированного фосфором (Технические условия ТУ 3184-001-70797974-2004) [2], которая в сопоставлении с зарубежным аналогом американской фирмы "Abex Corp" (колодка типа Самсон) по своим эксплуатационным характеристикам имеет улучшенные показатели. Изготовлены опытные партии указанных колодок, и проведена серия опытно-промышленных испытаний тормозных экспериментальных колодок в соответствии с разработанными и утвержденными в установленном порядке программой и методикой. Испытания проводились в условиях карьеров ОАО «Ураласбест», ОАО «СУМЗ», ОАО «ВГОК» и др. на технологических и маневровых локомотивах в зимних и летних условиях эксплуатации, в широком диапазоне скоростей и режимов торможения. Эксплуатационные характеристики тормозных колодок, изготовленных в соответствии с [2] (в дальнейшем экспериментальные колодки), оценивались в сравнении с существующими локомотивными тормозными колодками, применяемыми на федеральном железнодорожном транспорте и промышленном транспорте России колеи 1520 мм по следующим показателям:

1. Тормозная эффективность (тормозной путь и время торможения).

2. Тепловой режим бандажей.

3. Износостойкость (износ колодок и прокат бандажей колесных пар локомотива).

Кроме того, проверяется работоспособность типовой рычажной передачи в режиме экстремальных тормозных нагрузок при полном обеспечении безопасности движения.

4. Карьерные пути с максимальными уклонами до 40 % и малыми радиусами кривых 500 м и менее. При этом должна быть обеспечена возможность выхода локомо-

тива (поезда) на участок пути с противоуклоном не менее 500 м.

Испытания проводились на локомотивах (тяговых агрегатах и тепловозах), оборудованных экспериментальными тормозными колодками, затем эти же локомотивы оборудовались тормозными колодками, изготовленными по ГОСТ 30249-97. В соответствии с методикой, для проведения эксплуатационных испытаний на локомотивы, оборудованные соответствующими тормозными колодками, устанавливается измерительно-регистрирующая аппаратура. Наносятся контрольные метки (риски) на бандаж и обод колеса на всех осях экспериментального локомотива. Замеряется толщина (прокат) бандажей. При испытаниях на тепловой режим толщина бандажа должна быть не менее 80 мм. При испытаниях на тормозную эффективность регистрировались следующие параметры процессов торможения:

- скорость движения;
- тормозной путь;
- температура бандажей;
- давление в тормозных цилиндрах;
- давление в тормозной магистрали;
- время торможения (с момента начала торможения до полной остановки).

При этом скорость движения, тормозной путь регистрируются по показаниям локомотивного скоростемера с помощью мерной ленты, температура бандажей – контактным термометром, давление сжатого воздуха в тормозном цилиндре и магистрали – по показаниям локомотивных манометров. Начальная скорость торможения фиксируется по показаниям локомотивного скоростемера, время торможения – по показаниям секундомера. Проверяется тормозная эффективность колодок по тормозному пути для одиночно следующего локомотива в режиме применения прямодействующего тормоза при предельно допустимом давлении в тормозном цилиндре, допускаемом местной инструкцией. Начальная скорость торможения – 15, 20, 25, 30, 35 км/ч. Оценка тормозной эффективности экспериментальных колодок производилась относительно к сопоставимых величин тормозного пути при применении локомотивных колодок, изготовленных по ГОСТу 30249-97 в том же диапазоне скоростей. Средняя температура "нагрева" (перегрева) бандажей определяется как средняя из наиболее теплонагруженных локомотивных осей, устанавливаемых в ходе испытаний. Для ее определения замеряется контактным термометром температура бандажей до и после каждого опыта. Для оценки теплового режима бандажей в качестве основного режима испытаний принимается торможение с использованием крана машиниста груженого поезда при движении со средней скоростью 20 км/ч от верхней точки трассы до нижней на наиболее протяженном участке перегона. Количество опытов – 3. В ходе опытов регулярно проверяются контрольные риски на наличие сдвига бандажей на всех осях локомотива. Зарегистрированный в летних опытах тепловой режим (С°) бандажей считается допустимым, если наблюдения за контрольными рисками не выявили сдвиг (поворот) бандажей. В случае поворота бандажа фиксируется его толщина, прокат, температура нагрева, режим торможения и проверяется по технологической карте в локомотивном депо натяг, с которым производилась посадка бандажа. Для проверки износостойкости колодок и бандажей при установке колодок измеряется их толщина в двух заранее помеченных местах. В процессе опытной эксплуатации при каждом профилактическом осмотре опытных локомотивов производятся замеры толщины всех колодок и бандажей всех колес. Проверка работоспособности типовой рычажной передачи производится после окончания испытаний на тормозную эффективность и тепловой режим, а также периодически в течение проверки тормозных колодок и бандажей на износо-

стойкость. Типовая тормозная передача локомотива считается работоспособной при использовании экспериментальных колодок, если после проведенных опытов в летних и зимних условиях в результате комиссионного осмотра не обнаружены дефекты (деформации, поломки, повреждения) в системе тормозной рычажной передачи. Так, проведены эксплуатационные испытания локомотивных тормозных колодок в зимних условиях на карьере ОАО «Ураласбест» по методике, согласованной с техническим руководством ОАО «Ураласбест» и Уральским управлением по экологическому, технологическому и атомному надзору. Основная задача данного этапа испытаний состояла в сравнении эксплуатационных характеристик тормозных колодок с существующими локомотивными тормозными колодками, применяемыми на магистральном железнодорожном транспорте, изготавливаемыми в соответствии с ГОСТ 30249-97 в других погодных и температурных условиях окружающей среды. Для проведения ходовых испытаний на тормозную эффективность и тепловой режим бандажей были выделены тяговый агрегат ПЭ-2М №47 и тепловоз ТЭМ-2 № 108. В качестве полигона испытаний был предоставлен участок на перегоне станция Восточная – станция Глубокая. Средневзвешенный уклон составил 38 ‰. Тормозная рычажная передача тягового агрегата и тепловоза, участвующих в испытаниях – типовая. Выходы штоков тормозных цилиндров в процессе испытаний были отрегулированы у тягового агрегата в пределах 80 – 90 мм, у тепловоза в пределах 75 – 90 мм. Испытания на тормозную эффективность проводились на одиночно следующем тяговом агрегате и в составе поезда с груженными думпкарами 2ВС-105. Испытания на тепловозе проводились как на одиночно следующем, так и с прицепной массой из четырех порожних думпкаров. Для этого на полигоне испытаний были проведены серии остановочных торможений с применением крана машиниста № 395 и крана № 254 и на тепловозе с применением крана машиниста № 394 и № 254. Торможение осуществлялось в диапазоне скоростей 15, 20, 25, 30 и 35 км/ч до полной остановки, при этом в каждом опыте измерялись пути торможения и время тормозного процесса. Для примера в табл. 1, 2 приведены результаты испытаний тормозной эффективности сравниваемых колодок для остановочных торможений в режиме экстренного торможения тягового агрегата. В соответствии с программой и методикой испытаний наряду с замерами показателей эффективности торможения проводился постоянный контроль температурного режима бандажей колесных пар. Результаты, полученные в ходе испытаний, показывают, что перегрева колесных пар не происходит и температура существенно ниже, чем предусмотрено нормами эксплуатации. Для проверки износостойкости колодок обоих типов проводились их измерения до и после тормозных испытаний, измерялась толщина колодок на расстоянии 50 мм от верхних и нижних торцов.

Сравнительная оценка показала, что наибольшей износостойкостью обладает экспериментальная колодка по сравнению с ГОСТовской колодкой. По результатам всех этапов испытаний, износ колодок, изготовленных по ГОСТу, превышает износ экспериментальных колодок примерно на 50 %, соответственно, 2 – 2,5 мм и 1 – 1,5 мм.

При проведении серии экстренных торможений и испытаний на тормозную эффективность с использованием экспериментальных колодок наблюдалось плавное нарастание тормозного усилия во всем диапазоне скоростей. Отмечено сокращение времени торможения на 25 % и тормозного пути тяговых средств на 30 % при применении экспериментальных колодок.

По результатам летних и зимних этапов испытаний наблюдается сокращение времени торможения одиночно следующего тягового агрегата по отношению к тяговому агрегату в составе поезда на 10 – 15 %, а по тормозному пути на 15 – 20 %. Такое

уменьшение показателей обусловлено тем, что экспериментальные колодки устанавливались только на тяговый агрегат, а остальной состав был оборудован композитными колодками, которые, в свою очередь, требуют еще и предварительного прогрева для улучшения тормозных свойств. Таким образом, в случае оборудования всего состава экспериментальными колодками эффективность тормозных качеств может приблизиться к показателям одиночно следующего тягового агрегата. Такой же эффект наблюдается и при испытаниях на тепловозе.

**Таблица 1 – Остановочные торможения в режиме экстренного торможения тягового агрегата № 47 (одиночно следующего)**

| V,<br>км/ч | Время торможения, сек |               | Тормозной путь, м |               | Температура нагрева бандажей до опыта/после опыта, °С |               | Давление в тормозных цилиндрах(по ГОСТу /по ТУ), кг/см <sup>2</sup> |                        |
|------------|-----------------------|---------------|-------------------|---------------|---|---------------|---|------------------------|
|            | Колодки по ГОСТу      | Колодки по ТУ | Колодки по ГОСТу  | Колодки по ТУ | Колодки по ГОСТу                                      | Колодки по ТУ | Электроуправления (ЭУ)  | Моторные думпкары (МД) |
| 1          | 2                     | 3             | 4                 | 5             | 6   | 7             | 8   | 9                      |
| 15         | 10,0                  | 7,5           | 32,00             | 25,00         | 12,0/15,0   | 32,0/38,0     | 4,4/4,2   | 4,4/4,2                |
| 15         | 10,0                  | 7,6           | 32,00             | 25,00         | 13,0/15,0   | 36,0/40,0     | 4,3/4,2   | 4,3/4,2                |
| 20         | 11,2                  | 8,0           | 47,00             | 30,00         | 14,0/17,0   | 38,0/45,0     | 4,2/4,3   | 4,2/4,3                |
| 20         | 11,4                  | 8,0           | 48,00             | 30,00         | 15,0/18,0   | 43,0/48,0     | 4,3/4,3   | 4,3/4,3                |
| 25         | 13,2                  | 10,5          | 67,00             | 50,00         | 15,0/21,0   | 43,0/49,0     | 4,6/4,3   | 4,6/4,3                |
| 25         | 13,3                  | 9,8           | 68,00             | 46,00         | 16,0/21,0   | 44,0/49,0     | 4,5/4,3   | 4,5/4,3                |
| 30         | 15,4                  | 11,5          | 94,00             | 63,00         | 18,0/22,0   | 43,0/48,0     | 4,6/4,4   | 4,6/4,4                |
| 30         | 15,7                  | 11,0          | 97,00             | 64,50         | 19,0/24,0   | 45,0/50,0     | 4,6/4,4   | 4,6/4,4                |
| 35         | 17,5                  | 12,2          | 111,00            | 76,00         | 22,0/28,0   | 46,0/54,0     | 4,8/4,5   | 4,8/4,5                |
| 35         | 18,2                  | 13,6          | 127,00            | 88,00         | 23,0/27,0   | 50,0/53,0     | 4,6/4,4   | 4,6/4,4                |

**Таблица 2 - Остановочные торможения в режиме экстренного торможения тягового агрегата № 47 (в составе груженого поезда 8 думпкаров 2ВС-105)**

| V,<br>км/ч | Время торможения, с |               | Тормозной путь, м |               | Температура нагрева бандажей до опыта/после опыта, С <sup>0</sup> |               | Давление в тормозных цилиндрах (по ГОСТу/по ТУ) кг/см <sup>2</sup> |         |            |
|------------|---------------------|---------------|-------------------|---------------|---|---------------|--|---------|------------|
|            | Колодки по ГОСТу    | Колодки по ТУ | Колодки по ГОСТу  | Колодки по ТУ | Колодки по ГОСТу  | Колодки по ТУ | ЭУ   | МД      | Магистраль |
| 1          | 2                   | 3             | 4                 | 5             | 6   | 7             | 8  | 9       | 10         |
| 15         | 12,2                | 11,0          | 48,00             | 43,00         | 15,0/22,0   | 35,0/38,0     | 4,2/4,1  | 4,2/4,1 | 3,6/3,0    |
| 15         | 12,3                | 11,2          | 48,00             | 43,00         | 16,0/22,0   | 37,0/39,0     | 4,0/4,2  | 4,0/4,2 | 3,5/3,0    |
| 20         | 13,2                | 12,8          | 58,00             | 53,00         | 17,0/20,0   | 36,0/39,0     | 4,1/4,2  | 4,1/4,2 | 3,5/3,3    |
| 20         | 13,0                | 13,0          | 55,00             | 54,00         | 17,0/21,0   | 35,0/39,0     | 4,1/4,2  | 4,1/4,2 | 3,5/3,0    |
| 25         | 14,2                | 13,8          | 69,00             | 63,00         | 19,0/23,0   | 34,0/39,0     | 4,2/4,2  | 4,2/4,2 | 3,7/3,4    |
| 25         | 14,8                | 13,5          | 74,00             | 63,00         | 19,0/26,0   | 35,0/40,0     | 4,2/4,2  | 4,2/4,2 | 3,6/3,4    |
| 30         | 16,2                | 16,0          | 95,00             | 90,00         | 20,0/28,0   | 35,0/40,0     | 4,2/4,2  | 4,2/4,2 | 3,6/3,6    |
| 30         | 16,4                | 15,8          | 95,00             | 88,00         | 21,0/28,0   | 34,0/40,0     | 4,2/4,0  | 4,2/4,0 | 4,0/3,4    |
| 35         | 18,2                | 17,5          | 115,00            | 102,00        | 22,0/30,0   | 34,0/43,0     | 4,2/4,2  | 4,2/4,2 | 4,2/3,6    |
| 35         | 19,0                | 16,8          | 121,00            | 99,00         | 25,0/34,0   | 33,0/48,0     | 4,2/4,2  | 4,2/4,2 | 4,2/3,6    |

Комиссионной проверкой рычажной передачи после завершения тормозных испытаний установлено:

- рычажная передача находится в исправном состоянии (деформации и поломки отсутствуют);
- поверхности катания колесных пар не имеют повреждений (случаев сдвига бандажей не наблюдалось);
- случаи поломки колодок отсутствуют.

После проведения серии опытно-промышленных испытаний, результаты которых документально оформлены, проведена экспертиза промышленной безопасности локомотивной тормозной колодки из высокофосфористого чугуна [2]. В процессе экспертизы выявлено следующее:

1. При производстве локомотивных тормозных колодок контроль структуры и химического состава осуществляется сертифицированной лабораторией, что позволяет строго соблюдать требования технических условий.

2. Тормозные колодки обеспечивают выполнение технологического процесса торможения во всех предусмотренных паспортами локомотивов режимах, без ограничений по скорости движения, нагрузке на рабочие органы, тяговым режимам, области применения.

3. Локомотивные тормозные колодки с улучшенными эксплуатационными характеристиками из высокофосфористого чугуна соответствуют «Правилам безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» и другой нормативно-технической документации.

4. Применение тормозных колодок с улучшенными характеристиками из высокофосфористого чугуна позволяет повысить безопасность эксплуатации тяговых средств за счет снижения тормозного пути по сравнению с применением ГОСТовских колодок и уменьшения опасности возникновения пожара за счет низкого уровня искрообразования. При этом в сопоставлении с отечественными чугунными колодками из серого чугуна со вставками из белого получены следующие результаты:

- при проведении серии экстренных торможений и испытаний на тормозную эффективность с использованием колодок наблюдалось плавное нарастание тормозного усилия во всем диапазоне скоростей. Отмечено сокращение времени торможения на 25 % и тормозного пути тяговых средств на 30 %;

- срок службы высокофосфористых колодок в 2,5 – 4,0 раза превышает аналогичный показатель ГОСТовских колодок, при этом износ бандажей колесных пар сокращается в 1,5 – 2,0 раза и более;

- высокофосфористые тормозные колодки способствуют значительному снижению опасности возникновения пожаров, так как имеют исключительно низкий уровень искрообразования;

- высокофосфористые колодки повышают управляемость тормозного процесса.

На основании результатов проведенных испытаний и экспертизы промышленной безопасности Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору выдано разрешение на применение тормозной чугунной колодки для локомотивов по [2].

*Исследования выполнены в рамках Государственного задания 007-00293-18-00, тема № 0405-2018-0015.*

### Список литературы

1. Пат. 2122042/02 Российская федерация, МПК7. Чугун для тормозных колодок / Коснарев А. С. и др. - №97110768/02; заявл. 26.06.97; опубл. 20.11.98, Бюл. №32.
2. Колодка тормозная чугунная марки Р<sub>шв</sub> для локомотивов. Технические условия ТУ 3184-001-70797974-2004 [Электронный ресурс]. - Екатеринбург, 2004. – 6 с. – Режим доступа: <http://prom-tehno.com/rashodniki/kolodka>. - (12.01.2016).
3. ГОСТ 30249-97. Колодки тормозные чугунные для локомотивов межгосударственный стандарт. Технические условия. 01.06.2005 - Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации [Электронный ресурс]. - М.: Изд-во стандартов. - 7 с. – Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/27654>. - (12.01.2016).

УДК 622.271:625.7

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И РОЛЬ УПЛОТНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГ

СТЕНИН Ю. В., АРЕФЬЕВ С. А., ЯКУШЕВ П. Е.  
ФБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Рассмотрены варианты механизации уплотнения дорожных одежд. Обосновано применение для карьерных автодорог технологических карьерных автосамосвалов. Приведены основные принципы и параметры технологии уплотнения карьерных автодорог технологическими автосамосвалами.

**Ключевые слова:** карьерные автодороги, уплотнения, катки, технологические автосамосвалы.

## BASIC PRINCIPLES AND ROLE OF THE COMPACTION IN THE PROCESS OF CAREER ROADS CONSTRUCTION

STENIN Yu. V., AREF'EV S. A., YAKUSHEV P. E.  
Ural State Mining University

**Abstract.** This article contains information about various equipment for road surface compaction. It describes the application of dump trucks for career pavement compaction and examined the main principles and parameters of the compaction technology with using dump trucks for road surface compaction.

**Keywords:** career roads, compaction, compactors, dump trucks.

Уплотнение щебеночных слоев оснований или покрытий является одним из главных технологических процессов, от него зависит несущая способность дорожного слоя из рассматриваемых материалов.

Неуплотненная дорожная одежда быстро теряет свои прочностные свойства, деформируется с образованием неровностей и колеиностей, требует частой подсыпки щебня для выравнивания рабочей поверхности, значительных затрат на содержание автодорог.

Согласно [1–3] для уплотнения дорог в карьерных условиях их строительства в наибольшей степени подходят вибрационные катки и статические катки на пневмошинах.

Вибрационные катки уплотняют несвязные и малосвязные грунты, в том числе крупнообломочные и каменные наброски, на глубину до 1,0 – 1,5 м полосами шириной до 2,0 – 2,5 м при производительности 250 – 400 м<sup>3</sup>/ч.

Пневмокатками уплотняют преимущественно связные и малосвязные материалы, а также с применением тяжелых катков каменные материалы (щебень) и скальные грунты (каменные наброски). При этом обеспечивается глубина уплотнения до 0,4 – 0,5 м полосами шириной 2,5 – 3,0 м при производительности 200 – 300 м<sup>3</sup>/ч.

Из вышеприведенного видно, что вибрационные катки обеспечивают лучшие показатели уплотнения, однако существенным недостатком этих катков является невозможность применения для связных грунтов и низкая эффективность уплотнения в зимнее время, особенно малосвязных грунтов. Поэтому для строительства карьерных предпочтительнее применять статические катки на пневмошинах среднего и тяжелого типов. К положительным качествам таких катков, особенно прицепных, относятся простота устройства и ухода за ними, а также высокая надежность долговечность. Вместе с тем необходимо иметь в виду, что использование пневмокатков наиболее эффективно при достаточно большом объеме работ и ширине уплотняемой полосы не менее 10 – 12 м, при этом наименьшую стоимость работ обеспечивают прицепные и полуприцепные катки.

Степень и глубина уплотнения грунта определяется величиной необратимой деформации, которая при заданных свойствах грунтов зависит, прежде всего, от контактного давления на поверхности взаимодействия колеса с уплотняемым грунтом, длительности и количества взаимодействий (количества проходов по одному следу). Производительность уплотнения зависит от ширины уплотняемой полосы, толщины уплотняемого слоя и требуемого количества проходов по одному следу. В свою очередь значения перечисленных факторов зависят от параметров колес и автошин, а также от конструктивных параметров самих уплотняющих машин, в частности от их габаритов и веса. Анализ существующих математических моделей влияния эти факторов на эффективность уплотнения и их взаимозависимостей [4, 5] дает основание сделать предположение о возможности применения для уплотнения при строительстве карьерных автодорог, наряду с пневмокатками, современных автосамосвалов. А результаты сравнительных расчетов параметров уплотнения (табл. 1) показывают, что уплотнение автосамосвалами грузоподъемностью свыше 40 т будет более эффективно, чем современными катками. Благодаря, существенно более высоким нагрузкам на колесо и размерам автошин площадь контакта последних с поверхностью уплотняемого материала имеет значительно большие размеры при соизмеримых по сравнению с катками контактных давлениях

Большие нагрузки на колесо и размеры автошин обуславливают значительно увеличенные площади контакта последних с поверхностью уплотняемого материала при соизмеримых по сравнению с катками контактных давлениях. Одновременно в 1,5 – 3,0 увеличивается продолжительность контакта. Все это обеспечивает повышение в 2 – 3 раза глубины активной зоны уплотнения, позволяет снизить необходимое количество проходов по одному месту и значительно повысить производительность процесса уплотнения. Но для действенного и качественного уплотнения карьерными автосамосвалами необходимо соблюдать определенный режим движения автомобилей по уплотняемому участку, режим изменения загрузки автосамосвалов и равномерное распределение движения автосамосвалов по ширине проезжей части автодороги.

Технология уплотнения дорожной одежды автосамосвалами была разработана и испытана на опытном участке в карьере ОАО «Ураласбест». Она заключается в тща-

тельном соблюдении режима уплотнения путем регулирования проходов машин по ширине автодороги, скорости и загрузки автомобилей и состоит из трех стадий:

- подкатка на малой скорости и с минимальной нагрузкой (уплотнение поверхностного слоя и придание ему требуемой плотности);

- укатка или непосредственное уплотнение слоя дорожной одежды на глубину. Так как глубина проработки зависит от величины нагрузки и времени ее приложения, скорость движения автосамосвала по участку и его загрузка должны повышаться постепенно;

- расклиновка или окончательное уплотнение производится на минимальной скорости с максимальной загрузкой. При этом происходит завершение формирования окончательной структуры материалов дорожной одежды и поверхности придается максимальная ровность и прочность (при уплотнении верхнего слоя).

**Таблица 1 – Параметры уплотнения машинами на пневматических шинах**

| Наименование показателей   | Значение показателей            |                                  |                                 |                      |                     |                         |
|--|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
|  | Каток ДУ-21 при $p_w = 0,4$ МПа | Каток ДУ-21 при $p_w = 0,56$ МПа | Каток ДУ-21 при $p_w = 0,8$ МПа | БелАЗ-7523           | БелАЗ-7519          | БелАЗ-7521              |
| Модуль деформации грунта, $E$ , МПа                                      | 15                              | 15                               | 15                              | 15                   | 15                  | 15                      |
| Относительная влажность грунта, $w/w_0$                                  | 1                               | 1                                | 1                               | 1                    | 1                   | 1                       |
| Предел прочности грунта, $\sigma_p$ , МПа                                | 1,2                             | 1,2                              | 1,2                             | 1,2                  | 1,2                 | 1,2                     |
| Нагрузка на колесо, $P$ , кН   | 43                              | 43                               | 43                              | $\frac{118,7}{36,3}$ | $\frac{325,0}{104}$ | $\frac{550,0^*}{182,5}$ |
| Давление воздуха в шинах, $p_w$ , МПа                                    | 0,40                            | 0,56                             | 0,80                            | 0,56                 | 0,56                | 0,56                    |
| Линейная нагрузка по ширине колеса, $q$ , МПа                            | 11,6                            | 11,6                             | 11,6                            | $\frac{22,3}{6,8}$   | $\frac{38,8}{12,4}$ | $\frac{53,9}{17,9}$     |
| Максимальное контактное давление, $\sigma_{max}$ , МПа                   | 0,44                            | 0,51                             | 0,58                            | $\frac{0,56}{0,44}$  | $\frac{0,58}{0,47}$ | $\frac{0,61}{0,51}$     |
| Глубина активной зоны уплотнения, $h$ , см                               | 45                              | 46                               | 46                              | $\frac{76}{41}$      | $\frac{126}{70}$    | $\frac{164}{94}$        |
| Ширина площади контакта колеса с грунтом, $b$ , см                       | 38                              | 35                               | 33                              | $\frac{55}{34}$      | $\frac{90}{56}$     | $\frac{114}{72}$        |
| Длина площади контакта колеса с грунтом, $a$ , см                        | 50                              | 46                               | 43                              | $\frac{73}{45}$      | $\frac{119}{74}$    | $\frac{150}{95}$        |
| Длительность приложения нагрузки $t_d$ , с при скорости движения: 2 км/ч | 0,89                            | 0,83                             | 0,77                            | $\frac{1,32}{0,82}$  | $\frac{2,14}{1,34}$ | $\frac{2,71}{1,71}$     |
| 5 км/ч   | 0,36                            | 0,33                             | 0,31                            | $\frac{0,53}{0,33}$  | $\frac{0,86}{0,54}$ | $\frac{1,08}{0,68}$     |
| 10 км/ч  | 0,18                            | 0,17                             | 0,15                            | $\frac{0,26}{0,16}$  | $\frac{0,43}{0,27}$ | $\frac{0,54}{0,34}$     |

| Наименование показателей                                 | Значение показателей            |                                  |                                 |                     |                     |                     |
|--|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|  | Каток ДУ-21 при $p_w = 0,4$ МПа | Каток ДУ-21 при $p_w = 0,56$ МПа | Каток ДУ-21 при $p_w = 0,8$ МПа | БелАЗ-7523          | БелАЗ-7519          | БелАЗ-7521          |
| 15 км/ч  | -                               | -                                | -                               | $\frac{0,18}{0,11}$ | $\frac{0,29}{0,18}$ | $\frac{0,36}{0,23}$ |
| 20 км/ч  | -                               | --                               | -                               | $\frac{0,13}{0,08}$ | $\frac{0,21}{0,13}$ | $\frac{0,27}{0,17}$ |
| Необходимое количество проходов по ширине проезжей части | 6 - 7                           | 6 - 7                            | 6 - 7                           | 5 – 6               | 5 – 6               | 5 – 6               |
| Ширина уплотняемой полосы, м                             | 2,6                             | 2,6                              | 2,6                             | 2,5                 | 3,65                | 4,4                 |
| Производительность уплотнения, П, м <sup>3</sup> /ч      | 275                             | 290                              | 370                             | $\frac{700}{440}$   | $\frac{2640}{1360}$ | $\frac{3280}{2100}$ |

\* в числителе данные для груженого автосамосвала; в знаменателе – для порожнего.

Количество проходов по одному следу и максимальная толщина уплотняемого слоя определяются расчетом в зависимости от свойств грунтов и материалов дорожной одежды, массы уплотняющей машины, давления воздуха в шинах, влажности материалов и грунтов. Расчетное количество проходов уточняется в процессе строительства.

С целью достижения максимальной плотности материалов дорожной одежды и толщины уплотняемого слоя укатывать участок уплотнения должны автосамосвалы максимальной грузоподъемности. Перекрытие предыдущего прохода машины последующим проходом производится на ширину одного заднего наружного колеса.

В процессе реализации технологии выполняется разметка строящегося участка для регулирования движения автосамосвалов по ширине дороги. Управление загрузкой, направлением, скоростью движения автомобилей и количеством их проходов по одному следу осуществляется в соответствии с разработанными требованиями к технологии уплотнения.

Разработаны две схемы уплотнения технологическими автосамосвалами: движение автосамосвалов по участку без исключения их из процесса транспортирования горной массы и движение специально выделенных автосамосвалов с отрывом от транспортирования горной массы на время работ по уплотнению. Для каждой схемы определены режимы перемещения автосамосвалов по участку и предложены системы регулирующих дорожных знаков.

Визуальный контроль качества уплотнения осуществляется руководителем работ по величине просадок и наличию волнообразования от движущегося автосамосвала.

Количество проходов по одному следу и максимальная толщина уплотняемого слоя определяются расчетом в зависимости от свойств грунтов и материалов дорожной одежды, массы уплотняющей машины, давления воздуха в шинах, влажности материалов и грунтов. Значения этих параметров для условий карьера приведены в таблице 2.

С целью достижения максимальной плотности материалов дорожной одежды и толщины уплотняемого слоя укатывать участок уплотнения должны автосамосвалы

максимальной грузоподъемности.

В результате необходимости максимально точно направлять движение машин последующего прохода относительно предыдущего возникает потребность в разметке поверхности автодороги по ее ширине. Для этого предлагается способ разметки автодороги по ее ширине путем нанесения, поперек автодороги, полосы шириной 0,7-1,0 м. Расстояние между полосами должно быть таким, чтобы след автошины после проезда машины по полосе был отчетливо виден водителем из кабины (20-30 м). Материалами для нанесения полосы может служить светлый песок или глина из пород вскрыши, гашеная известь, мел.

За процессом уплотнения следит руководитель работ и регулирует движение автосамосвалов по направлению, скорости, загрузке и количеству проходов по одному следу в соответствии с данными таблицы 2. При необходимости сообщает водителям об изменении перечисленных параметров технологии уплотнения. В реализации рассмотренных схем уплотнения автодорог большегрузными автосамосвалами существенное значение имеет обеспечение безопасности выполнения работ, в особенности маневровых операций.

**Таблица 2 – Расчетные параметры уплотнения дорожных одежд постоянных автодорог в карьере ОАО «Ураласбест» автосамосвалами грузоподъемностью 120-130 т.**

| Стадия уплотнения                                 | Режим загрузки, %          | Протяженность участка - 200 м, ширина дороги - 20 м |                              |                                      |   |                              |
|---|----------------------------|---|------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------|
|   |                            | Скорость движения, км/час                           | Толщина уплотняемого слоя, м | Количество машин для уплотнения, шт. | Количество проходов по одному следу машины, шт. | Чистое время уплотнения, час |
| 1. Подкатка поверхностного слоя                   | 0<br>(движение порожняком) | 2   | 0,3                          | 2*                                   | 2   | 1,2                          |
| 2. Укатка или уплотнение на глубину (полив водой) | 50                         | 5   | до 0,5                       | 2                                    | 5   | 3,8                          |
|   | 75                         | 10  | до 0,7                       |                                      | 5   |                              |
|   | 100                        | 15  | до 1,0                       |                                      | 6   |                              |
| 3. Расклиновка или окончательное уплотнение       | 100                        | 2   | до 0,5                       | 2                                    | 3   | 1,2-3.0                      |

\* Примечание: для эффективного перекрытия предыдущего прохода автосамосвала последующим необходимо использовать не менее двух машин

#### Список литературы

1. Костельов М. П. Чем и как уплотнять грунты земляного полотна автомобильных дорог и аэродромов //Дорожная техника: каталог-справочник. СПб.: Славутич,

2000. С. 34-37.

2. Арефьев С. А. Повышение эксплуатационных свойств карьерных автодорог путем их уплотнения с использованием технологических автосамосвалов // Естественные и технические науки. 2015. № 1. С.42-45.

3. Костельов М. П. Возможности и эффективность уплотнения виброкатками грунтов различного типа и состояния / Дорожная техника: каталог-справочник. СПб.: Славутич, 2004. С. 72-82.

4 Калужский Я. А., Батраков О. Т. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд. М.: Транспорт, 1970. 160 с.

5 Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1975. 288 с.

УДК 622.271.4:004.413.2

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА КАРЬЕРОВ С АВТОТРАНСПОРТОМ

СТЕНИН Ю. В., ГАНИЕВ Р. С., ВЕТРОВ П. А.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Анотация.** В статье приведены теоретические положения оценки технологического риска в работе экскаваторно-автомобильных комплексов карьеров, изложены результаты исследований по установлению основных факторов, определяющих величину риска невыполнения сменной производительности ЭАК, выполнена оценка степени влияния отдельных факторов на величину риска.

**Ключевые слова:** риск, факторы риска, экскаваторно-автомобильный комплекс, карьер.

## ANALYSIS AND ESTIMATION OF TECHNOLOGICAL RISK IN THE PROCESS OF HANDLING AND TRANSPORT AT THE CAREER

STENIN Yu. V., GANIEV R. S., VETROV P. A.  
Ural State Mining University

**Abstract.** The article presents theoretical provisions for technological risk assessment in operation of excavator-car complexes (ECS). It presents results of research of determining the main risk factors which define the ECS productivity loss. Article authors evaluated an impact of individual factors to the magnitude of the risk.

**Keywords:** risk, factors of risk, excavator-car complex, career.

Целью погрузочно-транспортного процесса карьеров является доставка определенного объема горной массы от забоя в карьере до пункта её приема (ДСУ, отвал, перегрузочный пункт). Основным параметр процесса - сменная плановая (оптимальная) производительность погрузочно-транспортного оборудования (в нашем случае экскаваторно-автомобильного комплекса - ЭАК) в м<sup>3</sup> в смену.

В общем случае риск — это возможность возникновения неблагоприятной ситуации или неудачного исхода производственно-хозяйственной или какой-либо другой деятельности.

Тогда, технологическим риском погрузочно-транспортного процесса в конкретных условиях его осуществления является возможность недостижения сменной плановой производительности ЭАК. Это может привести к невыполнению обязательств потребителю, к экономическим, репутационным и другим потерям.

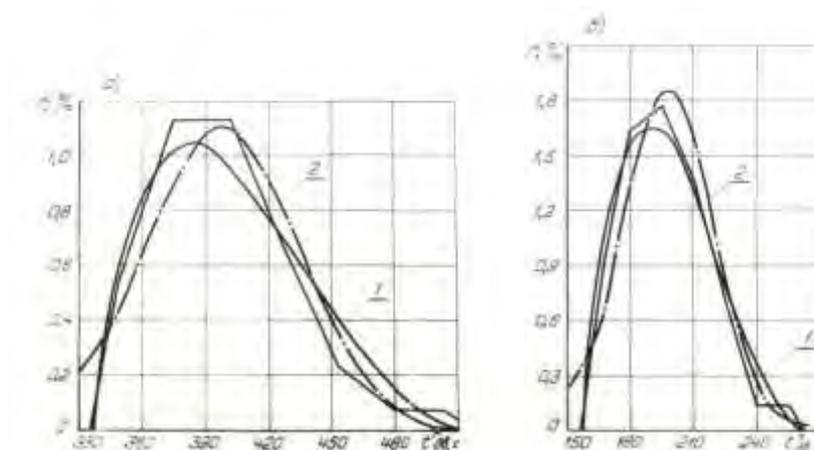
Функционирование погрузочно-транспортного процесса происходит в условиях неполной определенности геологических, горнотехнических, организационных и других условиях. Характеристики этих условий случайны, оцениваются вероятностью в некотором интервале их возможных значений, с помощью соответствующего закона изменения их вероятностей в данном интервале. Поэтому продолжительность процесса, его операций и значение достигнутой производительности - величины случайные и их значения изменяются согласно соответствующим вероятностным законам (рис 1, 2).

А значение технологического риска погрузочно-транспортного процесса – вероятность невыполнения сменной производительности ( $P(\Pi_n^-)$ ), определится произведением вероятностей независимых событий – превышение продолжительности операций процесса ( $P(\text{Пог}_n^+)$ ,  $P(\text{Раз}_n^+)$ ,  $P(\text{Пор}_n^+)$ ,  $P(\text{Груж}_n^+)$ ):

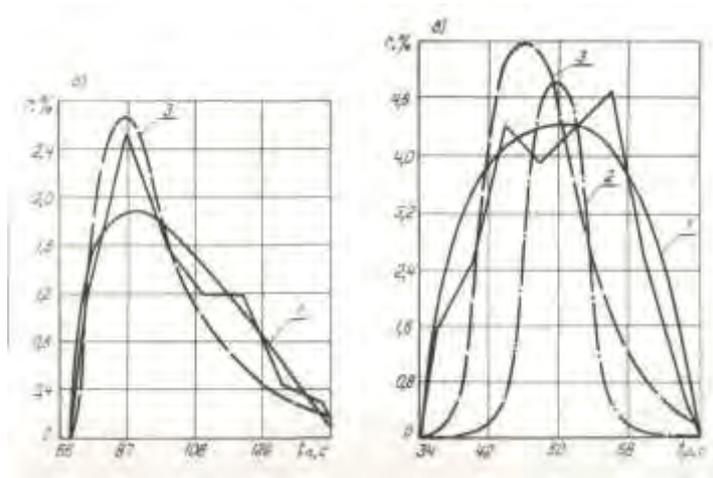
$$P(\Pi_n^-) = P(\text{Пог}_n^+) \times P(\text{Раз}_n^+) \times P(\text{Пор}_n^+) \times P(\text{Груж}_n^+), \quad (1)$$

где  $P(\text{Пог}_n^+)$ ,  $P(\text{Раз}_n^+)$ ,  $P(\text{Пор}_n^+)$ ,  $P(\text{Груж}_n^+)$  - вероятности превышения нормативов в данных горнотехнических условиях продолжительности операций погрузки, разгрузки автосамосвалов и операций движения в порожнем и грузовом направлении.

Приведенный на рисунке 3 график плотности вероятности сменной производительности экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭКГ – 8 - БелАЗ-755В) в карьере ОАО «Ураласбест» показывает большое рассеивание значений сменной производительности, которое характеризуется средним квадратическим отклонением  $\sigma = 0,21$  от носительных единицы и вариацией  $V = 0,5$ .

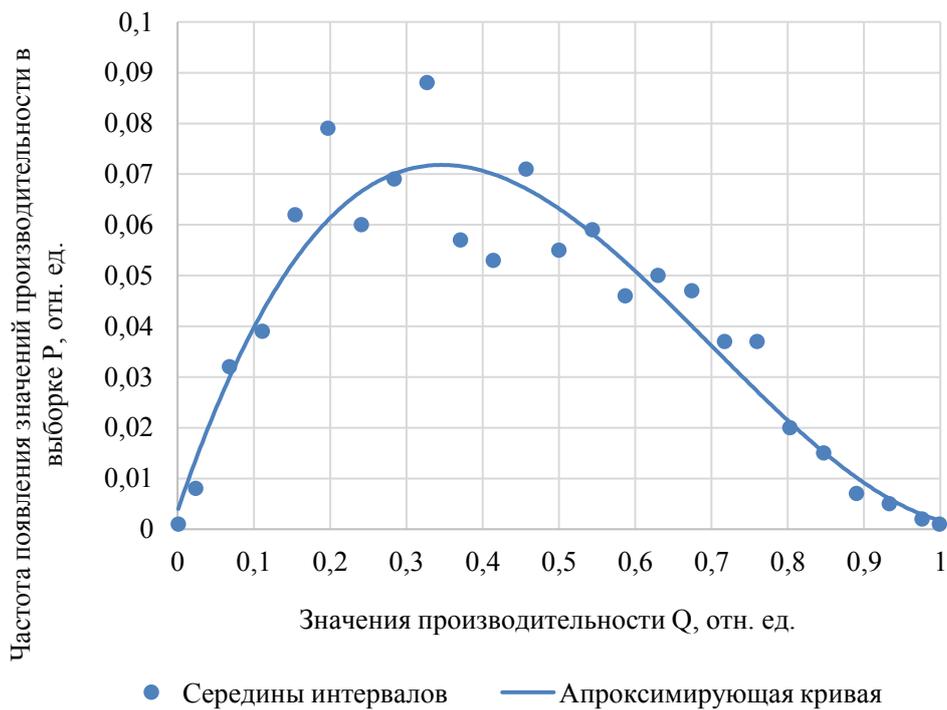


**Рис. 1. Распределение опытных замеров времени движения а – груженого и б – порожнего автосамосвала и аппроксимирующие его кривые: 1- бета-распределение; 2 – нормальное**



**Рис. 2. Распределение опытных замеров времени:** а - погрузки и б - разгрузки автосамосвалов и аппроксимирующие его кривые: 1- бета-распределение; 2 – нормальное распределение; 3 - логарифмически-нормальное распределение

Очевидно, чем больше рассеивание, тем больше вероятность невыполнения нормативной производительности и чем большая неравномерность и рассеивание продолжительности операций погрузочно-транспортного процесса, тем большее рассеивание и среднего квадратического отклонения сменной производительности ЭАК.



**Рис. 3. График плотности вероятности реализации производительности ЭАК**

В результате математического моделирования была получена линейная зависимость величины риска отклонения плановой производительности от фактической (R), описываемая формулой:

$$R = (0,029 - 1,15 \cdot D(T_{п}) \cdot 10^2 + 2,8 \cdot D(T_{дв}) + 1,59 \cdot 10^3 \cdot D(T_{ож})) \cdot 10^3 \quad (2)$$

где  $D(T_{п})$ ,  $D(T_{дв})$ ,  $D(T_{ож})$  - соответственно дисперсии длительности погрузки, движения по трассе, разгрузки автосамосвала

На основе представленной формулы были вычислены коэффициенты эластичности для рассматриваемых в качестве факторов риска элементов погрузочно-транспортного цикла (таблица 3).

**Таблица 3 – Коэффициенты эластичности для рассматриваемых факторов риска**

| Параметр                        | Усл. об. | Коэффициент эластичности Э |
|---------------------------------|----------|----------------------------|
| Длительность погрузки           | $T_{п}$  | 0,81                       |
| Длительность движения по трассе | $T_{дв}$ | 0,78                       |
| Ожидание погрузки               | $T_{ож}$ | 0,96                       |

Наибольшее влияние на величину риска оказывает дисперсия длительность ожидания автосамосвала экскаватором, поскольку она подвержена влиянию дисперсии других элементов цикла в силу принципа поточности. Второй по степени влияния величиной является длительность погрузки автосамосвала, третьей – длительность движения по трассе.

Результаты исследования показывают, что риск снижения производительности погрузочно-транспортного процесса преимущественно обусловлен вероятностным характером длительности движения, погрузки и ожидания автосамосвала, который определяется дисперсией физико-механических свойств пород в забое и среднетехнической скорости движения автосамосвала по трассе.

Приведенные в формуле 2 аргументы от функции  $R$  непосредственно определяют величину технологического риска в погрузочно-транспортном процессе. Кроме этого, существует ряд условий – факторов риска, влияющих на появление таких рисков и существование которых не зависит от действий специалистов занятых в процессе. Среди них различают внешние и внутренние факторы, по отношению к погрузочно-транспортному процессу.

**Внешние** – неточности и ошибки при планировании на уровне ГОКа;

- непредвиденное изменение конъюнктуры внутреннего и внешнего рынка;
- непредвиденные действия потребителей продукции ГОКа;
- ошибки в материально – техническом снабжении процесса;
- недостаточная определенность в развитии системы вскрытия и элементов системы разработки карьера;

- ошибки в оценке горно-геологических и технологических свойств горных пород

**Внутренние факторы** различают как субъективные и как объективные.

В общем, четкое осознание причин всех видов риска и определения размера их влияния на прогнозируемые результаты очень важно для своевременного и эффективного менеджмента.

**Таблица 1. Внутренние факторы риска**

| Факторы риска  | Как влияют   | Меры по снижению рисков   |
|--|--|---|
| <i>Объективные</i>   |  |   |
| Изменчивость схем транспортных коммуникаций;   | Изменяются основные параметры трассы - высота, дальность перемещения горных пород, сложность трассы, транспортно-эксплуатационные характеристики дорог.  | Повышать точность и определенность в планировании развития карьера, повышать качество строительства и содержания дорог.   |
| Изменчивость качества и параметров экскаваторных забоев;<br>Изменчивость качества подготовки горных пород к выемке;  | Изменяются производительность погрузочного оборудования, время на операции вемочно-погрузочного процесса; изменяются потери рабочего времени.  | Снизить неопределенность в оценке технологических свойств горных пород. совершенствование параметров взрывной подготовки пород к выемке.  |
| Квалификация специалистов, занятых в процессе;   | Снижение исполнительской дисциплины, качества и эффективности управления; неточности и ошибки в нормировании и планировании процесса.  | Систематическое проведение курсов повышения квалификации; обучение на местах; формирование мотивации к повышению квалификации.  |
| Недостаточно информации при планировании работы погрузочно-транспортных комплексов на конкретных технологических схемах.   | Снижение качества управленческих решений   | Улучшать систему контроля и учета за работой ЭАК.   |
| <i>Субъективные</i>  |  |   |
| Низкое качество управленческих решений, рабочих кадров и специалистов;<br>- отсутствие у персонала склонности к риску;<br>- ошибки при принятии решения;<br>- ошибки при реализации рискованных решений;<br>- несоблюдение правил безопасности;<br>- низкая трудовая и исполнительская дисциплина<br>- потеря ведущих сотрудников. | Неправильные, ошибочные решения специалистов и рабочих, занятых в процессе.<br>Повышение технологических рисков.<br><br>Вероятность возникновения аварийных ситуаций.<br><br>Снижение производительности труда | Систиматическое обучение, обмен опытом работы в процессе.<br>Повышать квалификацию и компетентность специалистов и рабочих, занятых в процессе.<br>Постоянный контроль за соблюдением правил безопасности.<br>Контроль за соблюдением дисциплины и создание системы мотивации.<br>Обеспечение взаимозаменяемости специалистов за счет обучения смежным профессиям и расширения зоны ответственности |

Одним из способов оценки риска невыполнения плановых заданий является вероятностная оценка процессов с точки зрения теории информации. Согласно концепциям этой теории, экскаваторно-автомобильный комплекс может быть представлен в виде управляемой системы, состоящей из совокупности событий. Поведение этой системы прогнозируется за счет данных о вероятности каждого из этих событий, оцениваемой различными статистическими расчетами на основе хронометражных наблюдений

### Список литературы

1. Трубецкой К. Н. и др. Современные системы управления горно-транспортными комплексами. Екатеринбург: Изд-во Наука, 2007.-306 с.
2. Арсентьев А.И., Константинов Г.П. Оценка риска, зависящего от достоверности запасов руды при определении производительности и границ карьеров. Горный журнал, 1975, №3. - С. 39-41.
3. Арсентьев А.И., Шитов Д.И. Учет уровня риска при определении производительности карьеров. Сб. Повышение качества извлечения руд на горнорудных предприятиях Средней Азии. Алмалык: 1976. -с.64-67.
4. Ганиев Р.С., Стенин Ю.В., Арефьев С.А. Влияние риска расхождения плановых и фактических условий работы на производительность карьеров ОАО «Ураласбест»: Журнал «Новые огнеупоры» №3-2014, Москва, Интернет Инжиниринг, 21.03.2014 г С.25.
5. Тэпман Л. М. «Риск в экономике»: Учеб. пособие для вузов / под ред. проф. В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 380 с.

УДК 622.271.53

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВЫХ ПЕСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЦЕНТРАЛЬНОЕ»

ВАЛИЕВ Н. Г., БОЙКОВ И. С.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Авторы обращают внимание на необходимость вовлечения в отработку запасов титан-циркониевых песков месторождения «Центральное», рассматриваются эффективные способы добычи песков. Описываются результаты лабораторных испытаний. Представлены фильтрационные расчеты.

**Ключевые слова:** земснарядная разработка, титан-циркониевые пески, коэффициент фильтрации, месторождение «Центральное».

## DEFINITION OF THE FILTRATION FACTOR TITAN-ZIRCONIUM SEMTS OF THE DEPOSIT «CENTRAL»

VALIEV N. G., BOYKOV I. S.

Ural State Mining University

**Abstract.** The authors draw attention to the need to involve in the development of titanium-zirconium sands reserves of the Tsentralnoye field, and to consider effective methods for extraction of sands. The results of laboratory tests are described. The filtration calculations are presented.

**Keywords:** dredging, titanium-zirconium sands, filtration factor, «Central» deposit.

Перспективным направлением увеличения добычи титанового минерального сырья является вовлечение в разработку месторождения «Центральное». Согласно сравнительному анализу [1], наиболее приемлемым и экономичным является открытый способ добычи песков, обеспечивающий большую производительность и позволяющий одновременно осуществлять технический этап рекультивации с последующим возвратом изъятых земель землепользователям. Вместе с тем, возможно использовать гидромеханизированный способ добычи с помощью работы земснарядов и специальной плавающей, добывающей и обогащающей пески техники. Он менее затратен и имеет ряд преимуществ. Например, с помощью земснарядов можно вести добычу сразу в нескольких небольших карьерах, на месте складировать отходы и экономить на их транспортировке. Для уточнения способа разработки месторождения и набора обогатительного оборудования принято решение о целесообразности проведения опытно-промышленных работ на месторождении [2].

Целью данной статьи является определение коэффициента фильтрации титан-циркониевых песков месторождения «Центральное». Задачи исследования: 1) изучение водопроницаемости титан-циркониевых песков; 2) проведение серии лабораторных опытов с технологической пробой песков при помощи трубки Каменского; 3) оценка фильтрационных потерь воды из котлована при земснарядной разработке месторождения. Для определения коэффициента фильтрации использовалась технологическая проба рудных песков Восточного участка месторождения «Центральное», которая была отобрана в интервале 4,5-9,7 метров в глубину. Пески серо-жёлтые, тонко-мелкозернистые, глинистые (рис. 1, а). Коэффициент фильтрации титан-циркониевых песков определялся методом, разработанным Г. Н. Каменским, при крупности песков – 1 + 0 мм, в соответствии с ГОСТ [3]. При исследовании использовалась стеклянная трубка (рис. 1, б), имеющая длину 29 см и диаметр 3,7 см. На трубке сверху вниз через 1 см были нанесены 20 делений. Нижний край трубки обвязывался марлей. Получение среднего значения коэффициента фильтрации производилось путем повторения опыта несколько раз при различных значениях понижения уровня воды в трубке Каменского от 0 до 5 деления за время  $t$ .

Коэффициент фильтрации вычислялся по формуле:

$$k_{\phi} = (l/t) f (S/h),$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, см/с;  $l$  – длина пути фильтрации, см;  $t$  – время понижения уровня воды в трубке от 0 до 3 или 5, с;  $S$  – понижение уровня воды в трубке (см) за время  $t$  (с);  $h$  – первоначальный напор, см; величина  $f (S/h)$  определялась по табл. IV-5 [3, стр. 170]. Результаты испытаний по определению коэффициента фильтрации песков отражены в табл. 1. По проведённым результатам  $k_{\phi} = 5,19$  м/сут., согласно [4] отмечаем, что пески относятся к сильноводопроницаемым (для конкретного участка россыпи).

**Таблица 1 – Результаты испытаний по определению коэффициента фильтрации песков**

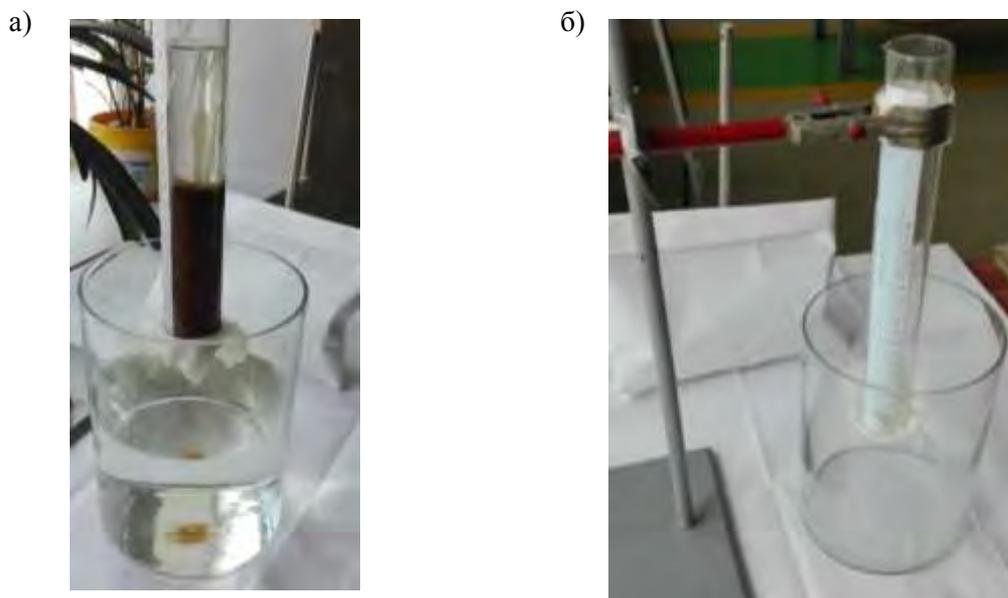
| Параметры | Номер опыта |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 1           | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| $f (S/h)$ | 0,288       | 0,288 | 0,288 | 0,223 | 0,105 | 0,163 | 0,051 | 0,163 | 0,105 | 0,163 |
| $l$ , см  | 10          | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |

| Параметры                               | Номер опыта |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 1           | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| $t, c$                                  | 473         | 682  | 407  | 353  | 173  | 271  | 84   | 261  | 165  | 292  |
| $k_{\phi}, \text{м/сут}$                | 5,26        | 3,65 | 6,11 | 5,46 | 5,24 | 5,20 | 5,25 | 5,40 | 5,50 | 4,82 |
| $k_{\phi} (\text{сред.}), \text{м/сут}$ | <b>5,19</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Эффективность работы земснарядов в значительной мере зависит от степени подготовленности горных пород к выемке и их физико-механических свойств. При разработке россыпных месторождений особое значение имеют обводнение россыпи и водоснабжение разреза, так как вода необходима для обеспечения стабильной и безопасной работы земснаряда, промывочно-обогачительных операций. Общее количество свежей воды, поступающей в разрез земснаряда от всех источников, должно обеспечивать восполнение утечки её вследствие фильтрации через затопленные поверхности бортов разреза, забоя и плотика, а также через эфельные и галечные отвалы, восполнение слива воды из разреза. Наибольшая часть суммарных суточных потерь воды приходится на фильтрацию, зависящую от характера пород и степени их водопроницаемости. Суммарные фильтрационные потери воды из разреза по уклону долины приближенно можно определить по формуле [5]:

$$P_{\phi} = 0,5 k_{\phi} B_{\text{заб}} H_{\text{под}},$$

где  $B_{\text{заб}}$  – ширина забоя добычной установки, м;  $H_{\text{под}}$  – подводная мощность россыпи, по данным разветки, м;  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации пород, характеризующий их водопроницаемость, м/сут.



**Рис. 1. Проведение лабораторных опытов по определению коэффициента фильтрации:** а) проба титан-циркониевых песков в трубке Каменского; б) трубка Г. Н. Каменского

Для условий Восточного участка месторождения «Центральное» фильтрационные потери воды будут составлять  $P_{\text{ф}} = 40287 \text{ м}^3/\text{сут} = 466,3 \text{ л/с}$ , при  $V_{\text{заб}} = 1150 \text{ м}$  (по блоку 19-С<sub>1</sub>) и  $H_{\text{под}} = 13,5 \text{ м}$  [6]. Учитывая тот факт, что месторождение значительно обводнено [6], при работе плавучих добычных установок с поверхностным стоком 466 л/с для создания благоприятных условий воды достаточно.

Таким образом, проведены лабораторные испытания технологической пробы титан-циркониевых песков при помощи трубки Каменского и оценены фильтрационные свойства песков, приближённо подсчитаны потери воды из разреза при земснарядной разработке месторождения. Полученные результаты будут использованы при проведении технологических исследований и разработке технологии добычи титан-циркониевых песков Восточного участка месторождения «Центральное».

### Список литературы

1. *Мусихин С. В., Захаров И. В.* Применение высокопроизводительной поточной технологии при разработке титан-циркониевых песков месторождения Центральное. Материалы VI Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» (18-19 апреля 2017 г.): сборник докладов. – Е.: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2017. – С. 152-155.
2. «Редакция газеты «Тамбовская жизнь». Новости Тамбова и области. [Электронный ресурс]: электрон. текстовые дан. – Тамбов: [б.и.], 2017. – Режим доступа: <http://tamlife.ru/obshhestvo/v-administraczii-oblasti-resheno-prodolzhit-rabotu-na-proektom-razrabotki-mestorozhdeniya-czentralnoe>, свободный.
3. *Ломтадзе В. Д.* Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1990. – 328 с.
4. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – Введ. 2013-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 30 с.
5. *Лешков В. Г.* Разработка россыпных месторождений. Учебник для техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 568 с.
6. Техникo-экономическая оценка освоения Восточного участка месторождения «Центральное». Екатеринбург: ОАО «Уралмеханобр», 2012.

УДК 622.271:622.333

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «50 ЛЕТ ОКТЯБРЯ»

САНДРИГАЙЛО И. Н., АРЕФЬЕВ С. А., ВЕЛИЧКИН Д. Е.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье рассмотрен опыт использования гидравлического экскаватора Komatsu PC-3000 с ковшом вместимостью 15 м<sup>3</sup> на месторождении «50 лет Октября» в Республике Казахстан. Приведены показатели работы экскаватора: объемы отгруженной горной массы, причины простоев, и т.п. Выполнен анализ причин простоев экскаватора.

**Ключевые слова:** медноколчеданное месторождение, гидравлический экскаватор, производительность, простой, коэффициент технической готовности.

## OPERATING EXPERIENCE OF HYDRAULIC EXCAVATORS ON THE DEPOSIT «50 LET OKTYABRYA»

SANDRIGAILO I. N., AREF'EV S. A., VELICHKIN D. E.  
Ural State Mining University

**Abstract.** The experience of using the Komatsu PC-3000 hydraulic excavator with a bucket capacity of 15 m<sup>3</sup> on the deposit "50 let Oktyabrya" in the Republic of Kazakhstan is considered in the article. The performance of the excavator is given: the volumes of the shipped rock mass, reasons for downtime, etc. The reasons for the excavator downtime are analyzed.

**Keywords:** copper-sulphide deposit, hydraulic excavator, productivity, downtime, truck availability rate

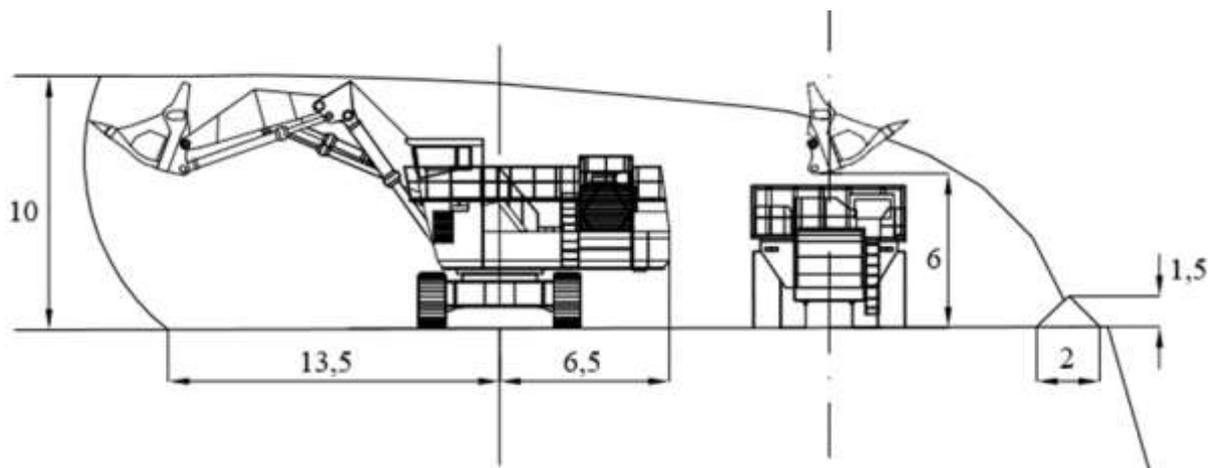
Медноколчеданное месторождение «50 лет Октября» находится в Актюбинской области Республики Казахстан. Руды месторождения относятся к сульфидным - халькопирит-пиритным, халькопирит-пирит-пирротиновым и пиритным. Основными полезными компонентами месторождения являются медь и сера. Среднее содержание меди в руде 1,81%. Сопутствующие полезные компоненты: цинк, кобальт, серебро, селен. Объемная масса руды 4,1 т/м<sup>3</sup>, а вскрышных пород 2,7 т/м<sup>3</sup>. Крепость пород до 13-15 по шкале Протоджяконова. Согласно проекту большая часть балансовых запасов руды должна быть отработана наиболее экономичным открытым способом [1, 2].

Разработка месторождения «50 лет Октября» осуществляется с 2005 года. Скальная горная масса готовится к выемке с применением буровзрывных работ. Бурение взрывных скважин производят с использованием буровых станков DM45. На выемке и погрузке горной массы в настоящее время используется гидравлический экскаватор Komatsu PC 3000 с вместимостью ковша 15 м<sup>3</sup> и рабочим оборудованием «прямая лопата», а также экскаваторы Caterpillar CAT 385FS и CAT 385C с вместимостью ковша 5,2 и 4,8 м<sup>3</sup> соответственно. Погрузка горной массы экскаваторами осуществляется в автосамосвалы Caterpillar CAT 777D и CAT 777F грузоподъемностью 91 т. Руда транспортируется на обогатительную фабрику, а породы вскрыши на внешние отвалы, находящиеся вблизи карьера.

Около 75% от общего объема выемочно-погрузочных работ на предприятии выполняет наиболее крупный экскаватор - Komatsu PC 3000. Его производительность в 2017 году составила 1753000 куб. м.

Высота уступов в карьере определяется линейными параметрами рабочего оборудования этого экскаватора. Погрузка горной массы осуществляется в автосамосвалы, установленные на уровне стояния Komatsu PC 3000 (рис. 1).

Рост глубины карьера (превысившей 270 метров) потребовал использования для дальнейшей разработки месторождения выемочно-погрузочного оборудования, обладающего автономностью и повышенной маневренностью, эффективно работающего в стесненных условиях. Этим требованиям отвечает гидравлический экскаватор с дизельным двигателем [3, 4]. К его преимуществам относится возможность осуществления селективной выемки полезного ископаемого и независимость от наличия в карьере или на участке карьера источников электроэнергии достаточной мощности. Он имеет более высокую скорость перемещения при перегонах от одного забоя к другому, меньшую продолжительность цикла и более высокий коэффициент наполнения ковша, чем у канатной механической лопаты [5, 6, 7]. В связи с этим был приобретен карьерный гидравлический экскаватор Komatsu PC-3000, который был выпущен в 2012 году.



**Рис. 1. Забой гидравлического экскаватора Komatsu PC-3000**

Основные технические параметры гидравлического экскаватора Komatsu PC-3000 приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Основные технические параметры экскаватора PC-3000**

| Параметр                          | Значение |
|-----------------------------------|----------|
| Вместимость ковша, м <sup>3</sup> | 15       |
| Эксплуатационная масса, т         | 250      |
| Мощность двигателя, кВт           | 940      |
| Высота черпания, м                | 11,0     |
| Радиус черпания, м                | 13,5     |
| Высота разгрузки, м               | 10,0     |
| Усилие напора, кН                 | 1100     |
| Усилие отрыва, кН                 | 1000     |

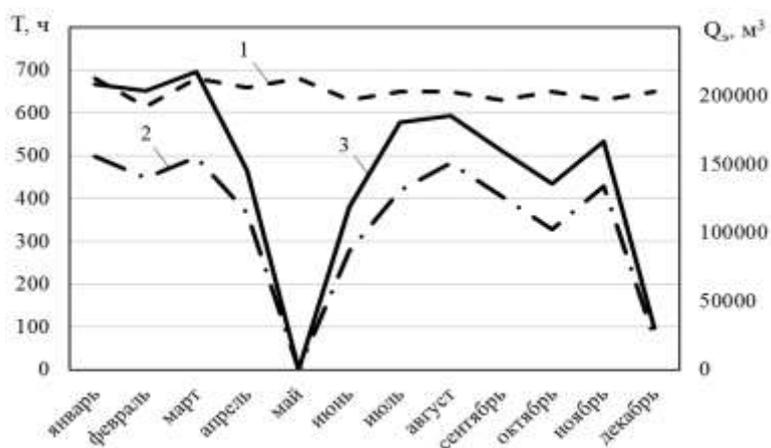
Был выполнен анализ использования планового времени экскаватора Komatsu PC-3000 на месторождении «50 лет Октября» в течение 2017 года, а также причин его простоев.

В связи с тем, что экскаватор находится в эксплуатации уже 5 лет, в мае-июне был проведен его капитальный ремонт, и соответственно он более месяца не отгружал горную массу. Это повлияло также на суммарное время нахождения экскаватора в работе и в простое. Распределение планового времени экскаватора Komatsu PC-3000 в 2017 году приведено на рис. 2.



**Рис. 2. Распределение планового времени экскаватора Komatsu PC-3000 в 2017 году**

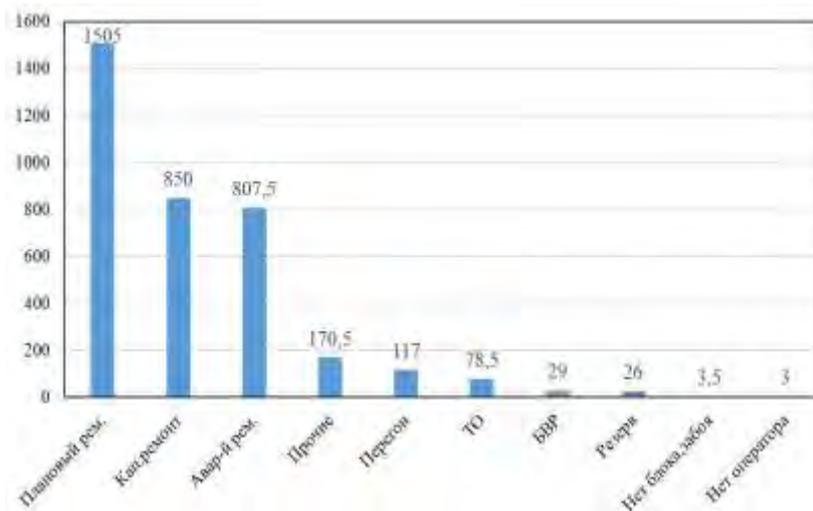
Динамика планового времени по месяцам, а также времени в работе и месячной производительности экскаватора в 2017 году, приведена на рис. 3.



**Рис. 3. Динамика планового времени (1), времени в работе (2) и месячной производительности (3) экскаватора Komatsu PC-3000 в 2017 году**

Как видно из рис. 3, время в работе у экскаватора составляет 350-490 часов в месяц (за исключением периода нахождения машины в капитальном ремонте).

Причины и длительность простоев экскаватора Komatsu PC-3000 в 2017 году приведены на рис. 4.



**Рис. 4. Причины и длительность простоев экскаватора Komatsu PC-3000 в 2017 году**

Из рисунка 4 видно, что основными причинами простоев являются простои, связанные с плановыми, аварийными и капитальными ремонтами. Их доля 88% от суммарной длительности простоев. В связи с этим можно отметить, что главным резервом снижения длительности простоев экскаватора Komatsu PC-3000 на месторождении «50 лет Октября» является уменьшение времени нахождения его в ремонтах.

Среднегодовая производительность экскаватора на 1 м<sup>3</sup> вместимости ковша определяется по формуле:

$$q = Q / E;$$

где  $Q$  – годовая производительность экскаватора, м<sup>3</sup>;  
 $E$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;

$$q = 1753452 / 15 = 116896,8 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Средняя часовая производительность экскаватора Komatsu PC-3000 в 2017 году определяется по формуле:

$$q_{ч} = Q / T_{\text{раб}};$$

где  $T_{\text{раб}}$  – количество часов, отработанных экскаватором в течение года, час.

$$q_{ч} = 1753452 / 4226 = 414,9 \text{ м}^3 / \text{час};$$

Сравнение этого показателя работы экскаватора Komatsu PC-3000 на месторождении «50-лет Октября», с аналогичным показателем у других гидравлических машин, работающих на ряде горнодобывающих предприятий, приведено в табл. 2.

**Таблица 2 – Производительность гидравлических экскаваторов**

| Карьер (разрез), месторождение | Модель экскаватора | Вместимость ковша, м <sup>3</sup> | Часовая производительность |  |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|
|                                |                    |                                   | м <sup>3</sup> /час        | на 1 м <sup>3</sup> вместимости ковша, м <sup>3</sup> /час |
| 50 лет Октября                 | Komatsu PC-3000    | 15                                | 414                        | 27,6   |
| Мурунтау                       | Terex RH-200       | 26                                | 577                        | 22,19  |
| Нерюнгринский                  | Komatsu PC-5500    | 23                                | 789                        | 34,3   |
| Кедровский                     | Liebherr R-994     | 11                                | 380,5                      | 34,57  |
| Краснобродский                 | Terex RH-200       | 21                                | 402,4                      | 19,5   |

Как видно из табл. 2, часовая производительность на 1 м<sup>3</sup> вместимости ковша экскаватора Komatsu PC-3000 на месторождении «50 лет Октября» находится на уровне аналогичного показателя гидравлических машин, эксплуатирующихся на других месторождениях.

В 2017 году экскаватор Komatsu PC-3000 израсходовал 765808 литров топлива. Удельный расход топлива определится по формуле:

$$g = G / Q;$$

где  $G$  – годовой расход топлива, л

$$g = 765808 / 1753452 = 0,437 \text{ л/м}^3;$$

Расход топлива за час работы экскаватора:

$$g_{\text{ч}} = G / T_{\text{раб}};$$

$$g_{\text{ч}} = 765808 / 4226 = 181,2 \text{ л / час.}$$

Удельный расход топлива экскаватора находится на уровне этого показателя у аналогичных дизельных гидравлических экскаваторов.

Таким образом, анализ опыта эксплуатации крупного гидравлического экскаватора Komatsu PC-3000 на месторождении «50 лет Октября» показал, что работа в течение 5 лет в сложных условиях глубокого карьера, на выемке и погрузке крепких скальных пород вскрыши и медной руды, этот экскаватор демонстрирует технико-экономические показатели, которые находятся на уровне показателей аналогичных машин, эксплуатирующихся на других горнодобывающих предприятиях в подобных горно-геологических условиях.

#### **Список литературы**

1. Алтушкин И.А. Реализация стратегии устойчивого развития горно-металлургической компании на примере освоения медных месторождений Республики Казахстан // Горный журнал. 2013. № 4. С. 67-76.

2. Алтушкин И.А., Король Ю.А., Кошик А.А. Опыт освоения медноколчеданного месторождения «50 лет Октября» в Республике Казахстан // Горный журнал. 2013. № 5. С.85-88.
3. Булес П. К вопросу о надежности мощных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany в экстремальных условиях эксплуатации // Маркшейдерский вестник. 2013. № 6. С. 20-23.
4. Кельш Х.Р. Использование мощных карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu в Якутии // Горный журнал. 2006. № 1. С. 69-71.
5. Подэрни Р.Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок выемочно-погрузочного карьерного оборудования (колесных погрузчиков и гидравлических экскаваторов) // Горная промышленность. 2014. № 1. С. 22-32.
6. Подэрни Р.Ю., Булес П. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой // Горный журнал. 2015. № 1. С. 55-61.
7. Poderni R.Y., Koelsh H. R. Adaptation of Hydraulic Shovels for Arctic Temperature of Yakutia Region // Proceedings Mine Planning and Equipment Selection (MPES) Conference. 1-3 December 2010 – Fremantle, W. Australia. 2010.

УДК 622.278

## ПРОГНОЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРОЦЕССАХ БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

ЛАТЫШЕВ О. Г., КАЗАК О. О.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Эффективным средством повышения эффективности бурения шпуров и скважин является использование в качестве промывочной жидкости специально подобранных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ). Основанное на эффекте Ребиндера действие ПАВ обладает свойством избирательности, т. е. требует тщательно подобранной и строго выдерживаемой концентрации активных растворов для данных горно-геологических условий. Критерием оценки эффективности действия таких растворов принят показатель контактной прочности, определение которого производится непрерывно по времени контакта раствора с горной породой. Задачей исследований является разработка процедуры анализа временных рядов контактной прочности и обоснование критерия эффективности действия ПАВ. В работе показано, что такие ряды обладают фрактальными свойствами и для их анализа применен метод нормированного размаха Хёрста. Разработанные процедуры позволяют выделять закономерную составляющую временных рядов, соответствующих показателю Хёрста  $H > 0,5$ . Рассмотрение параметров рядов с вероятностных позиций дает возможность установить оптимальные концентрации растворов ПАВ и их эффективность для данных пород. Описанные процедуры могут оказаться полезными для анализа таких процессов как развитие горного давления по мере отработки месторождения или фильтрации в породный массив различных растворов.

**Ключевые слова:** горные породы, поверхностно-активные вещества, эффективность, временные ряды, фрактальный анализ.

## EFFICIENCY FORECAST OF SURFACTANT USE IN ROCK DRILLING PROCESS

LATYSHEV O. G., KAZAK O. O.  
Ural State Mining University

**Abstract:** Specially selected solutions of surfactants used as washing liquids are an effective mean to improve efficiency of blasthole and well drilling. The action of surfactants based on the Rehbinder effect tends to be selective, that is, it requires a carefully selected and strictly maintained concentration of active solutions for these mining and geological conditions. The contact strength indicator, which is estimated continuously during contacting of the solution with the rock, is the criterion for evaluating the effectiveness of these solutions. The research is aimed at developing a procedure for analyzing time series of contact strength and justifying the surfactant efficiency criterion. The paper shows that such series possess fractal properties, and the Hurst Standardized Range Method is used for their analysis. Developed procedures make it possible to distinguish the regular component of the time series corresponding to the Hurst index  $H > 0.5$ . Considering the series parameters based on the probabilistic approach makes it possible to determine the optimal concentrations of surfactant solutions and

their efficiency for these rocks. The described procedures can be useful to analyze such processes as development of rock pressure in the course of mine development or filtration of various solutions into the rock mass.

**Keywords:** rock, surfactants, efficiency, time series, fractal analysis.

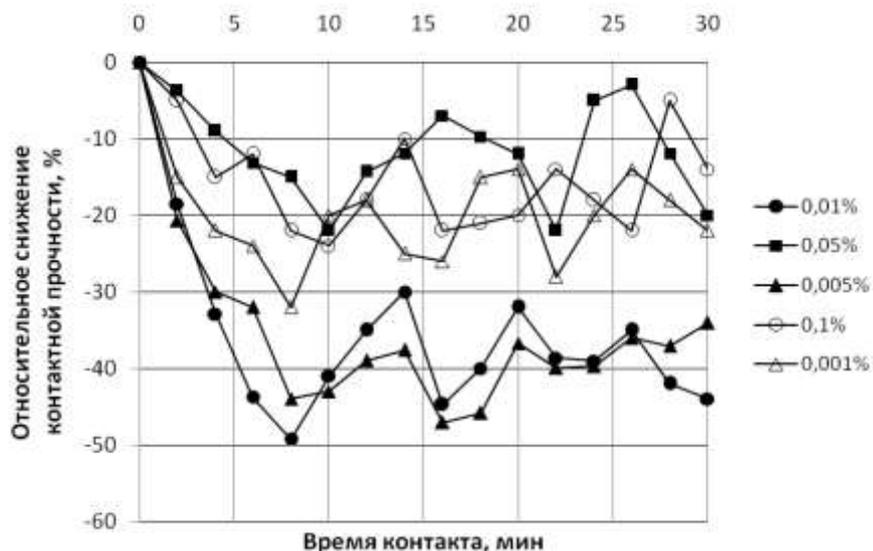
Бурение шпуров и скважин является определяющим процессом при разработке скальных породных массивов. Существенно повысить эффективность данного процесса возможно путем введения в промывочную жидкость специально подобранных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Действие ПАВ основано на адсорбционном понижении прочности горных пород (эффект Ребиндера) [1, 2]. Проникая в зону предразрушения, активные растворы способствуют разупрочнению пород и развитию трещин. Это сопровождается рядом положительных эффектов.

Теоретические и экспериментальные исследования, включая опытно-промышленное бурение шпуров в условиях Североуральских бокситовых месторождений и Горловского региона Донбасса, показывают [3], что использование ПАВ сопровождается увеличением скорости механического бурения от 16 до 52 %. Уменьшение износа и затупления бурового инструмента в среднем в 1,6 – 1,4 раза позволяет увеличить пробег коронок до их замены более чем в 2 раза [4]. Все это отражается на параметрах горной технологии в целом. Поэтому уже на стадии проектирования важно оценить эффективность действия ПАВ.

Установленные в ходе теоретических и модельных исследований [5, 6] закономерности, достоверность и надежность которых подтверждена результатами шахтных испытаний, позволяют предложить в качестве критерия эффективности ПАВ показатель контактной прочности горных пород  $P_k$ . Данный показатель наиболее адекватно характеризует механизм внедрения бурового инструмента в горную породу [7]. Анализ динамики изменения контактной прочности по мере увеличения времени воздействия ПАВ на различные горные породы [3] выявил общую закономерность – циклический характер временных рядов. На рис. 1 в качестве примера приведены графики изменения величины контактной прочности известняка под действием растворов  $MgCl_2$  в их различной концентрации.

Такой характер изменения контактной прочности в растворах обусловлен следующим механизмом. Контактная прочность определяется путем вдавливания цилиндрического штампа в поверхность горной породы. В начальной стадии за счет проникновения раствора по кольцевым трещинам на периферии штампа [8] происходит разупрочнение породы и снижение  $P_k$ . При дальнейшем воздействии активного раствора происходит пластифицирование поверхностного слоя, и вместо хрупкого разрушения происходит заглубление штампа с выдавливанием породы по периферии. Разрушение происходит в нижних, не затронутых действием ПАВ слоях, что сопровождается возрастанием величины  $P_k$ . В дальнейшем цикл разрушения повторяется, но уже с меньшей амплитудой.

Характеристики описанного процесса определяются влиянием множества независимых случайных факторов, формирующих состав и строение горной породы. Поэтому динамику изменения контактной прочности следует рассматривать как стохастический временной ряд. Тогда задачей исследования является разработка методики анализа таких рядов и обоснование критерия эффективности использования ПАВ в процессах бурения.



**Рис. 1. Временные ряды контактной прочности известняка при различной концентрации раствора ПАВ**

Классический анализ таких рядов как случайной функции показал, что они обладают свойством эргодичности и могут описываться математическим ожиданием и дисперсией ее сечений, эмпирическим корреляционным моментом и корреляционной функцией. Однако для выбора и оценки эффективности действия ПАВ необходима выработка некоторого единичного количественного показателя. Временные ряды, как правило, являются самоаффинными и в зависимости от масштаба могут характеризоваться различными фрактальными размерностями. Самоаффинный фрактал на плоскости  $x, y$  определяется некоторой однородной функцией  $f(x, y)$ , которую можно привести к виду  $f(rx, r^Hy)$ , где  $H$  – показатель Гёльдера. Здесь множитель  $r$  определяет изменение масштаба по оси  $x$ , а  $r^H$  – по оси  $y$ . Если график ряда данных не имеет закономерных тенденций изменения (тренда), то по аналогии с броуновским движением его называют *броуновским шумом* со среднеквадратическим отклонением:  $S(t) \sim t^{1/2}$ . Если изменения (блуждания точки) неслучайны и подчиняются закону:  $S(t) \sim t^H$ , где  $H \neq 1/2$ , то такое среднеквадратическое отклонение Б. Мандельброт [9] назвал *фрактальным броуновским движением*. Величина показателя Гёльдера определяет фрактальную размерность ряда:  $d_f = 2 - H$ . Такая размерности характеризуют изломанность линии тренда, т. е. долю случайной составляющей. Поэтому прогностической функцией она не обладает, поскольку не дает информации о тенденции изменения исследуемого показателя во времени. Для этого следует вводить дополнительные меры. Сложность пространственных временных рядов данных как объекта исследования определяет различие в методах оценки их свойств. Одним из таких методов является *метод нормированного размаха*, основанный на законе Хёрста [10].

Гидролог Гарольд Хёрст, проводил многолетние исследования сезонных и годовых колебаний водных стоков рек и, в частности, реки Нил. Помимо стока рек Хёрст исследовал процессы отложения ила и рост колец деревьев. При этом, чтобы можно было сравнивать данные для разных явлений, он использовал безразмерное соотношение  $R/S$ , где  $R$  – размах ряда:

$$R(\tau) = \max X(t, \tau) - \min X(t, \tau); \quad (1)$$

$S$  – стандартное отклонение, т. е. корень квадратный из дисперсии:

$$S = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T [x(t) - \langle x_\tau \rangle]^2}, \quad (2)$$

где  $T = \tau$  – период наблюдений (длина ряда);  $x(t)$  – составляющие ряда и  $\langle x_\tau \rangle$  – их среднее значение за период наблюдения  $\tau$ .

На основании большого числа наблюдений и статистического моделирования Хёрст обнаружил эмпирическую закономерность:

$$\frac{R}{S} = \left(\frac{T}{2}\right)^H, \quad (3)$$

названную впоследствии законом Хёрста, а константу  $H$  – *показателем Хёрста*. Показатель Хёрста совпадает с показателем Гельдера для фрактального броуновского шума и поэтому имеет одинаковое обозначение  $H$ .

Закону Хёрста подчиняется много реальных природных явлений, протекающих во времени. При  $H = 0,5$  имеет место некоррелированный броуновский шум, т. е. временной ряд не имеет преобладающей тенденции. При  $H > 0,5$  процесс, характеризуемый временным рядом, называют *персистентным*, т. е. устойчивым к имеющейся тенденции. Это означает, что если функция  $f(t)$  возрастала, то и в дальнейшем наиболее вероятен ее рост. Если функция уменьшалась, то следует ожидать и дальнейшего ее снижения. При  $H < 0,5$  процесс называют *антиперсистентным*, что подразумевает смену знака тенденции.

Показатель Хёрста можно определить по наклону графика  $R/S = f(t)$ , построенного в двойных логарифмических координатах:

$$\ln(R/S) = H \ln(T/2). \quad (4)$$

Составляющие вышеприведенных соотношений обычно относятся ко всему временному ряду. Иногда определения производят по его отдельным участкам, выделенным по каким-либо специальным признакам или статистическим критериям.

Выполним анализ временных рядов, представленных на рис. 1. Классический тренд-анализ показал наличие закономерной составляющей рядов с надежностью более 99 %. Задачей данных исследований является выбор наиболее эффективной концентрации ПАВ и его эффективность, т. е. степень разупрочнения горных пород. Чисто визуальный анализ графиков такой информации не дает в силу большой вариации значений контактной прочности пород. Поэтому для получения дополнительной информации использован метод нормированного размаха.

Для этого опытные точки графиков (рис. 1) были представлены в логарифмических координатах, соответствующих уравнению (4). На рис. 2 для наглядности показаны точки, соответствующие концентрации раствора 0,1 и 0,01 %. На рис. 3 показано изменение величины показателя Хёрста по времени контакта ПАВ с горной породой для тех же условий.

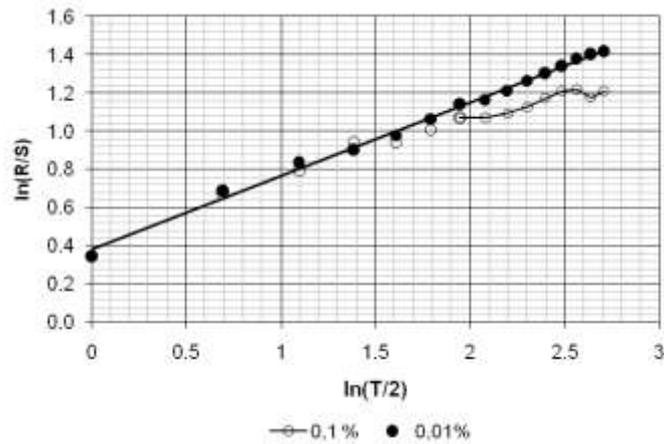


Рис. 2. Графики уравнения (4)

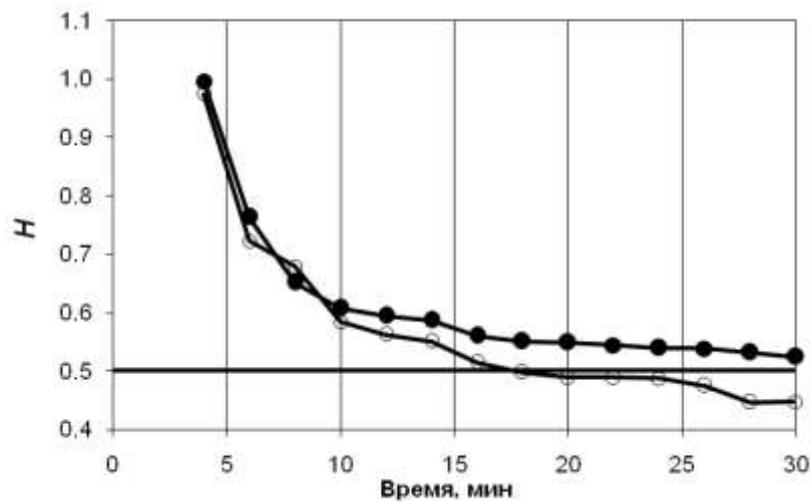


Рис. 3. Изменение показателя Хёрста со временем действия ПАВ

Из графиков на рис. 2 видно, что для раствора  $MgCl_2$  в концентрации 0,01 % соответствие закону Хёрста наблюдается во всем диапазоне изменения контактной прочности, что свидетельствует об устойчивости временного ряда. Для концентрации 0,1 % это соответствие наблюдается лишь в начальной стадии воздействия ПАВ, соответствующей первой полуволне графиков на рис. 1. В соответствии с характером закона Хёрста при  $H = 0,5$  имеет место некоррелированный броуновский шум, т. е. временной ряд не имеет преобладающей тенденции. При  $H > 0,5$  процесс, характеризуемый временным рядом, является устойчивым к имеющейся тенденции (персистентным). Графики на рис. 3 подтверждают вышеприведенное заключение. Так, для раствора  $MgCl_2$  0,01 % значение  $H$  во всем диапазоне больше 0,5. Напротив, для концентрации 0,1 % при действии ПАВ более 20 минут показатель  $H$  становится меньше 0,5, и этот участок тренда следует исключать из дальнейшего рассмотрения.

С формальных позиций для известняков наиболее эффективным раствором будет  $MgCl_2$  в концентрации 0,01 %, обеспечивающий снижение контактной прочности в среднем на 50 %. Однако при этом следует учитывать вероятностный характер самого показателя контактной прочности. Для изученных пород нами установлено, что средний коэффициент вариации показателя (естественный разброс данных) составляет по-

рядка 10 %. Следовательно, в интервале изменчивости  $\pm 10\%$  значения  $P_k$  будут статистически неразличимы. Для известняка (см. рис. 1) в этот интервал попадают значения контактной прочности в минимуме первой полуволны графиков для концентрации 0,01 и 0,005 %. Этот интервал концентрации и следует признать оптимальным.

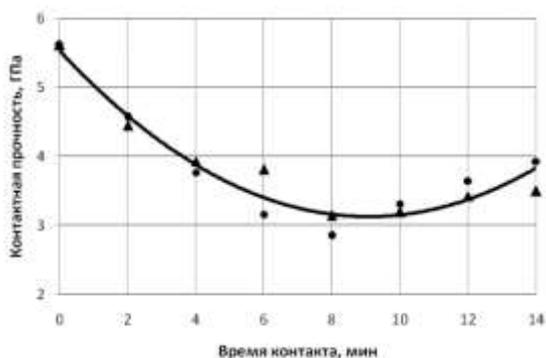
Для проектирования процессов разрушения горных пород требуется оценить конкретную величину контактной прочности пород, обработанных соответствующим раствором. Выполненный нами анализ различных пород и поверхностно-активных веществ показал, что достаточно надежно (в пределах естественной вариации контактной прочности) первую полуволну графиков функции  $P_k = f(t)$  можно описать уравнением параболы в виде:

$$P_k(t) = A_1 t^2 + A_2 t + A_3. \quad (5)$$

Максимальное снижение контактной прочности (экстремум графика) определится выражением:

$$P_k = (4 A_1 A_3 - A_2^2) / 4 A_1. \quad (6)$$

График изменения контактной прочности для вышеописанных известняков в растворах  $MgCl_2$  в интервале концентраций 0,01-0,005 % приведен на рис. 4. Уравнение зависимости определяется способом «наименьших квадратов» по опытным данным.



**Рис. 4. Изменение контактной прочности известняков в растворе  $MgCl_2$**

Параметры уравнения:  $A_1 = 0,035$ ;  $A_2 = - 0,6$ ;  $A_3 = 5,6$ . В соответствии с формулой (6) действие ПАВ приводит к снижению контактной прочности известняков с 5,6 ГПа до 3,0 ГПа.

Таким образом, фрактальный анализ временных рядов позволяет получать дополнительную (по сравнению с классическим анализом случайных функций) информацию о закономерностях протекания различных процессов во времени. Описанные выше процедуры могут оказаться полезными для таких процессов как развитие горного давления по мере отработки месторождения или фильтрации в породный массив различных растворов.

### Список литературы

1. Ребиндер, П. А. Избранные труды: Поверхностные явления в дисперсных системах / П. А. Ребиндер. – М.: Наука, 1979. – 382 с.
2. Горюнов, Ю. В. Эффект Ребиндера / Ю. В. Горюнов, Н. В. Перцов, Е. Д. Щукин. – М.: Наука, 1966. – 178 с.

3. Латышев, О. Г. Направленное изменение фрактальных характеристик, свойств и состояния пород поверхностно-активными веществами в процессах горного производства / О. Г. Латышев, М. В. Корнилов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. – 407 с.
4. Латышев, О. Г. Снижение износа и затупления бурового инструмента при бурении шпуров с промывкой растворами поверхностно-активных веществ / О. Г. Латышев, К. А. Карасев, О. О. Казак // Изв. вузов. Горный журнал. - 2015. – №3. – С. 75-79.
5. Латышев, О. Г. Математическая модель ударного бурения горных пород / О. Г. Латышев, К. А. Карасев // Изв. вузов. Горный журнал. - 2014. – №3. – С. 48-54.
6. Латышев, О. Г. Прогноз буримости горных пород на основе имитационного моделирования процесса / О. Г. Латышев, К. А. Карасев, О. О. Казак // Изв. вузов. Горный журнал. - 2015. – №4. – С. 83-87.
7. Барон, Л. И. Контактная прочность горных пород / Л. И. Барон, Л. Б. Глатман. – М.: Недра, 1966. – 168 с.
8. Спивак, А. И. Механика горных пород / А. И. Спивак. – М.: Недра, 1967. – 258 с.
9. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: Изд-во: ИКИ, 2002. – 656 с.
10. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения / О. И. Шелухин [и др.]; под ред. О. И. Шелухина. – М.: Физматлит, 2008. – 268 с.

УДК 622.1:528

## **ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА СОКОЛОВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

БАЛЕК А. Е., ПАНЖИН А. А., КОНОВАЛОВА Ю. П., МЕЛЬНИК Д. Е.  
Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** Представлен анализ результатов натурных исследований напряженно - деформированного состояния (НДС) массива горных пород Соколовского железорудного месторождения (г. Рудный, Казахстан), выполненных в 1977, 1981-1988 и 2015 годах в подземных выработках шахты на малых базах. Показано качественное отличие закономерностей изменения его первоначального напряженного состояния с глубиной от аналогичных зависимостей на других месторождениях Урала и Северного Казахстана. Описаны натурные исследования НДС горного массива месторождения на больших базах двух масштабных уровней: для баз в первые десятки километров за 45 лет (1972 - 2017 г), по Соколовско-Сарбайскому рудному полю в целом, и для баз в сотни метров за 39 лет (1978 - 2017 г) по Соколовскому месторождению. Установлено, что на глубинах ведения горных работ (300 – 500 м) первоначальные напряжения горного массива месторождения с модулем упругости  $3 \pm 1$  ГПа определяются суммарным воздействием собственного веса налегающей породной толщи (при коэффициенте бокового давления 0,4) и практически равнокомпонентным полем горизонтальных тектонических напряжений  $3 \pm 1$  МПа.

**Ключевые слова:** Соколовское месторождение, геомеханическое обеспечение, массив горных пород, натурные исследования, напряженно - деформированное состояние, структурное строение, иерархическая блочность.

## FEATURES OF THE STRESSED STATE OF THE MOUNTAIN MASSIF OF SOKOLOVSKY IRON-SOLID DEPOSIT

BALEK A. E., PANZHIN A. A., KONOVALOVA Yu. P., MEL'NIK D. E.  
Institute of Mining UB RAS

**Abstract.** The analysis of the results of field studies of the stressed and deformed state (VAT) of the rock massif of the Sokolovskoye iron ore deposit (Rudnyi, Kazakhstan) performed in 1977, 1981-1988 and 2015 in underground mine workings at small bases is presented. A qualitative difference in the regularities of the change in its initial stressed state with depth from similar dependencies at other deposits in the Urals and Northern Kazakhstan is shown. The full-scale research of the VAT of the mountain massif of the deposit on large bases of two scale levels is described: for bases in the first tens of kilometers for 45 years (1972 - 2017), for the Sokolov-Sarbaisk ore field in general, and for bases in hundreds of meters for 39 years (1978 - 2017 g) in the Sokolovskoye field. It is established that at the depths of mining (300-500 m) the initial stresses of the mountain massif of the deposit with the modulus of elasticity of  $3 \pm 1$  GPa are determined by the total impact of the intrinsic weight of the overlying rock bed (at a lateral pressure coefficient of 0.4) and practically equicomponent field of horizontal tectonic stresses  $3 \pm 1$  MPa.

**Keywords:** Sokolovskoye deposit, geomechanical support, rock massif, full-scale studies, strained-deformed state, structural structure, hierarchical blockiness.

Соколовское железорудное месторождение расположено на северо-восточной окраине г. Рудный (Кустанайская область Казахстана). Месторождение приурочено к зоне мощного тектонического разлома в восточном крыле Соколовско-Сарбайской антиклинали и характеризуется сложным тектоническим строением блокового типа. Рудовмещающая толща мощностью 400 - 600 м представлена, преимущественно, слоистыми туффитами в различной степени скаполитизированными, альбитизированными, скарнированными пироксеном, гранатом, эпидотом. Туффиты в отдельных местах прорваны дорудными, сорудными и пострудными дайками андезитовых, диабазовых, и андезито-базальтовых порфиритов. Падение рудной зоны восточное – под углом 45-70°. Породы в основном крепкие ( $f$  от 10 до 16), слаботрещиноватые, устойчивые.

Месторождение обрабатывается карьером, а с 1975 года, с вводом в эксплуатацию подземного рудника, комбинированной открыто-подземной геотехнологией.

Впервые исследования первоначального напряженного состояния массива горных пород на Соколовском подземном руднике проведены ИГД МЧМ СССР в 1977 году на горизонте -10 м (глубина  $H = -190$  м) [1]. Исследования выполнялись экспериментально-аналитическим методом [2], предусматривающим оборудование наблюдательных станций типа «реперные линии - фотоупругие датчики» и проведение измерений смещений различных точек породного массива с помощью глубинных реперов. Замеренные параметры изменений напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива в области влияния очистных камер на разных стадиях обработки использовались в качестве граничных условий в теоретическом решении обратной упругой задачи о распределении напряжений в окружающем породном массиве [3]. По результатам решения обратной геомеханической задачи получали системы уравнений, определяющие первоначальные нормальные напряжения горного массива в широтном (вкрест простирания рудного тела), в меридиональном (по простиранию рудного тела) и в вертикальном направлениях.

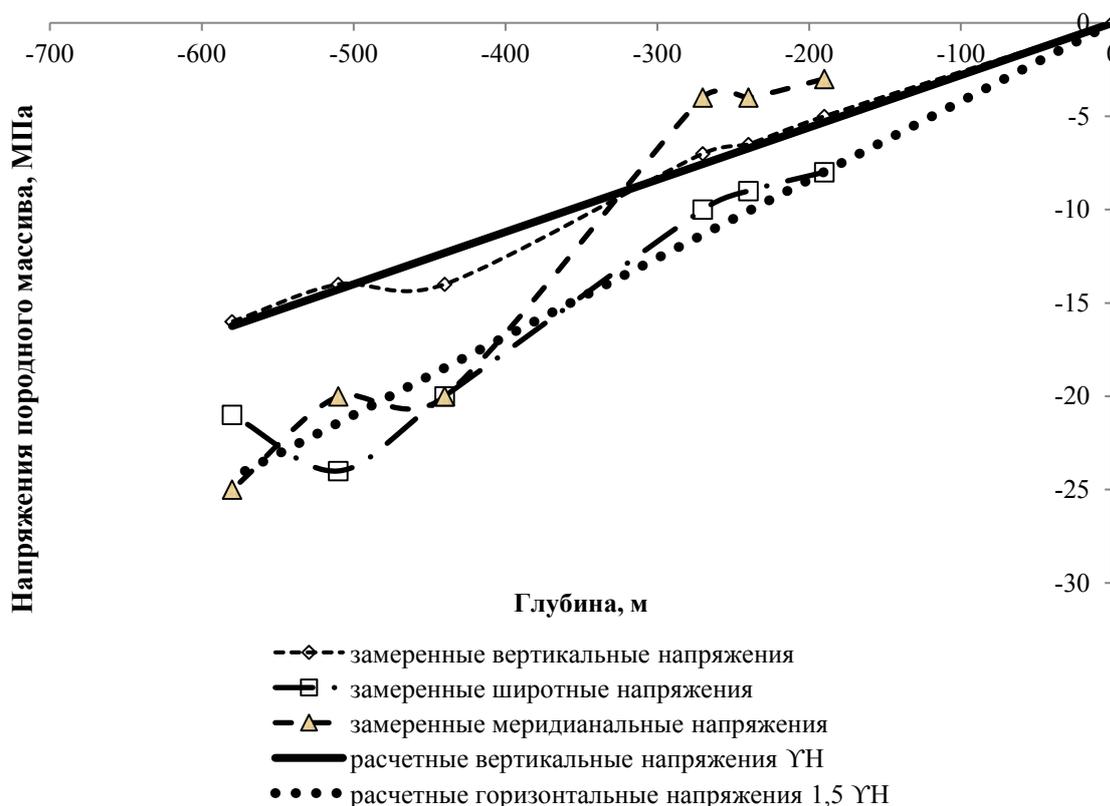
Последующие исследования в 1981 – 1988 годы проводились на горизонтах -10, -60 и -90 м, также экспериментально-аналитическим методом в зонах ведения очистных горных работ [4-8].

В 2015 г. в рамках предупреждения удароопасности горных работ замеры параметров первоначального напряженного состояния массива горных пород выполнены методом щелевой разгрузки в комплексе с методом электрометрии [9]. Все замеры 2015 г (в общей сложности по 44 щелям) проведены в лежащем боку рудной залежи на горизонтах -260м, -330м и -400м.

Обобщенные параметры первоначальных напряжений массива горных пород Соколовского подземного рудника в целом, полученные по всему комплексу результатам натуральных замеров 1977, 1981-1988 и 2015 гг, представлены в табл. 1 и на диаграммах рис. 1.

**Таблица 1 – Результаты натуральных замеров первоначального напряженного состояния массива горных пород, полученные 1977, 1981-1988 и 2015 годах в выработках Соколовского подземного рудника**

| Год проведения замеров | Глубина, м | Горизонт, м | Широтные напряжения, МПа | Меридиональные напряжения, МПа | Вертикальные напряжения, МПа |
|------------------------|------------|-------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1977                   | 190        | -10         | -8                       | -3                             | -5                           |
| 1981-1988              | 240        | -60         | -9                       | -4                             | -5                           |
| 1981-1988              | 270        | -90         | -10                      | -4                             | -7                           |
| 2015                   | 440        | -260        | -20 ± 2                  | -20 ± 1                        | -14                          |
| 2015                   | 510        | -330        | -24 ± 5                  | -20 ± 3                        | -14                          |
| 2015                   | 580        | -400        | -21 ± 4                  | -25 ± 4                        | -16                          |



**Рис. 1. Параметры первоначальных напряжений массива горных пород Соколовского подземного рудника, полученные по результатам натуральных замеров 1977, 1981-1988 и 2015 гг.**

Анализ натуральных данных, представленных в таблице и на диаграммах, показал, что изменение напряженного состояния массива горных пород с глубиной происходит в соответствии со следующими зависимостями:

- для вертикальных напряжений (с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,98$ ):

$$\sigma_{\text{верт}} = \gamma H$$

- для горизонтальных напряжений (с  $R^2 = 0,90$  если пренебречь аномальными результатами, полученными экспериментально-аналитическим методом на гор. -10, -60 и -90 м)

$$\sigma_{\text{гор}} = 1,5 \gamma H,$$

где  $\gamma = 0,027 \text{ МН/м}^3$  – удельный вес горного массива;

$H$  – глубина ведения горных работ.

Полученные результаты качественно отличались от «канонических» зависимостей вида  $\sigma_{\text{гор}} = \gamma H + \sigma'_{\text{гор}}$  (где  $\sigma'_{\text{гор}}$  – тектоническая составляющая главных нормальных компонентов горизонтальных напряжений), выявляемых на аналогичных месторождениях Урала и Северного Казахстана. Это объяснялось тем, что при пересчетах на результатов натуральных измерений на всех участках и глубинах проявлялась существенная пространственная и временная неоднородность исходных данных, являющаяся следствием блочности структуры массива горных пород и, соответственно, дискретности поля напряжений и его изменчивости во времени.

Для разрешения вопроса с изменчивостью НДС породного массива в пространстве и времени было решено отказаться от попыток распространить результаты отдельных мелкомасштабных замеров на все шахтное поле. Вместо такого, не оправдавшего себя, «индуктивного» (т.е. от частного к общему) подхода был применен обратный («дедуктивный») подход: проведены натурные исследования на больших, соизмеримых с масштабами месторождения, базах с последующей детализацией полученных результатов на более мелкомасштабные объекты.

Комплекс натуральных исследований по выявлению НДС массива горных пород месторождения методом частичной разгрузки на больших пространственно - временных базах (от сотен метров до десятков километров за временные промежутки в десятки лет) выполнен ИГД УрО РАН в 2017 г [10]. Выявление параметров напряженного состояния осуществлено на основе решения обратной геомеханической задачи по замеренным смещениям пунктов площадных реперных полигонов, заблаговременно установленных в зонах возмущающего влияния от выемки карьеров и зон обрушения от подземных горных работ. Учитывалось совместность их возмущающего влияния и взаимное воздействие в условиях геодинамически активного массива окружающих пород, диагностируемого по замеренным смещениям базовых геодезических пунктов относительно постоянно действующих геодезических станций, привязанных к пунктам глобальной сети *ITRF* [11, 12].

Использованы результаты натуральных замеров горизонтальных смещений 26 пунктов государственной геодезической сети (ГГС), установленных в 1972 г на поверхности Соколовско -Сарбайского рудного поля на площади около 400 км<sup>2</sup>, а также 28 пунктов опорной маркшейдерской сети (ОМС), заложенных в 1978 г в ближайших окрестностях Соколовского карьера и шахтного поля подземного рудника в радиусе 2,5 - 3 км. Замеры выполнены с использованием двухсистемных (*GPS-GLONASS*) двухчастотных приемников геодезического класса *Sokkia GRX-1* (паспортная точность: 3-5 мм в плане, 5-7 мм по высоте) относительно пунктов постоянно действующих геодезиче-

ских станций в городах Магнитогорск, Оренбург, Кустанай, Уфа и Челябинск, привязанных к пунктам глобальной сети *ITRF*.

Замеренные вектора горизонтальных смещений пунктов ГГС были проанализированы на предмет их соответствия модели рудного поля как единого вращающегося тела, отображаемого зависимостью:

$$\alpha = (180^\circ / \pi) U_i / R_i$$

где  $\alpha$  - угол поворота тела, градусы;

$U_i$  - замеренные смещения  $i$ -го пункта, мм;

$R_i$  - радиус до  $i$ -го пункта от центра вращения тела, мм.

Результаты анализа свидетельствовали о трендовом вращении рассматриваемого участка породного массива по часовой стрелке в качестве условно целостного геоблока.

В такой модели замеренные 45-летние (1972 - 2017 гг) вектора смещений  $N = 17$  пунктов ГГС с 95-процентной доверительной вероятностью (критерий Стьюдента  $t = 2,12$ ) соответствовали повороту рудного поля в качестве единого геоблока диаметром около 25 - 30 км на угол  $\alpha = 0,001 \pm 0,0001$  градуса по часовой стрелке.

Данные параметры были учтены при оценке НДС для более мелких участков поля и, в частности, для Соколовского месторождения: вмещающего массива карьера и горного отвода подземного рудника на деформационных базах в сотни метров за 39 лет (1978 - 2017 г). Для данного участка преобладающая направленность замеренных векторов пунктов ОМС хорошо вписывается в общую тенденцию вращения всего Соколовско-Сарбайского рудного поля, фиксируемую по векторам ГГС. В целях выделения из этого поля тех смещений, которые были бы обусловлены исключительно выемкой карьера и формированием зоны обрушения, из каждого вектора были вычтены соответствующие трендовые составляющие, отражающие «вращательный» тренд, а именно: для вмещающего массива карьера – вектора  $\Delta U_{cp} = 208,7$  мм с азимутом  $240^\circ$ , и для зоны обрушения – вектора  $\Delta U_{cp} = 214,4$  мм с азимутом  $157^\circ$ .

После вычета трендового «вращательного» смещения окружающего породного массива общая направленность замеренных векторов горизонтальных смещений пунктов ОМС на земной поверхности в окрестностях карьера однозначно указывала на наличие в НДС вмещающих породного массива некоторой тектонической составляющей горизонтальных напряжений, поскольку при действии исключительно гравитационной составляющей НДС все вектора были бы направлены в разные стороны от карьера при общем подъеме всех реперных пунктов. С учетом этого в математической модели и были заданы граничные силовые условия.

Главные оси тензора первоначальных напряжений моделируемого породного массива направлялись в широтном и в меридиональном направлениях, соответственно:  $\sigma_{шир}$  и  $\sigma_{мер}$ . При этом вертикальные напряжения определялись собственным весом налегающей породной толщи  $\sigma_{верт} = \gamma H$ , а приращение суммарных величин главных нормальных компонентов горизонтальных напряжений с ростом глубины  $H$  происходило в соответствии со зависимостями:

$$\sigma_{шир} = \lambda \gamma H + \sigma'_{шир};$$

$$\sigma_{мер} = \lambda \gamma H + \sigma'_{мер},$$

где  $\gamma = 0,026$  МН/м<sup>3</sup> – удельный вес горного массива;  $H$  – глубина Соколовского карьера, составившая  $H = 200$  м в 1978 г, и  $H = 400$  м в 2017 г;

$\lambda = \mu / (1 - \mu) = 0,3 / (1 - 0,3) = 0,4$  – коэффициент бокового давления;

$\mu = 0,3$  – коэффициент Пуассона;

$\sigma'_{\text{шир}}$  и  $\sigma'_{\text{мер}}$  – тектонические составляющие главных нормальных компонентов горизонтальных напряжений, действующих в широтном и в меридиональном направлениях, соответственно.

Моделирование было направлено на выявление таких параметров и соотношений переменных тектонических составляющих  $\sigma'_{\text{мер}}$  и  $\sigma'_{\text{шир}}$ , которые наиболее близко соответствовали бы замеренным смещениям реперных пунктов, произошедшим вследствие углубки карьера и формирования зоны обрушения.

Для построения объемной математической модели горного массива месторождения применена оригинальная методика ИГД УрО РАН: программный комплекс FEM для расчетов НДС сплошной упругой среды методом конечных элементов МКЭ (сертификат качества России RU АЮ32.ВЮ 00012 № 0111542 на программный комплекс FEM: геомеханические расчеты методом конечных элементов), которая контролировалась по общедоступным, находящиеся в открытом доступе в сети интернет, версиям стандартных программ МКЭ: Абакус, Плакис и др. В соответствии с принципом суперпозиции смещения точек модели, вызванные углублением и расширением в напряженной изотропной упругой среде полости карьера и формированием зоны обрушения, представлялись как разность между смещениями, обусловленными нагружением объемной модели массива с уже вынутыми объемами, и смещениями, вызванными ее нагружением до выемки.

При составлении математической модели МКЭ учитывалось, что на земной поверхности на смещения реперных пунктов основное влияние оказывают соотношения размеров и расположение вынимаемых породных объемов в карьере и зоне обрушения, а не форма воронок, бортов и карьерных уступов. Исходя из этого расчетная конечно-элементная модель деформирования сплошной упругой изотропной среды была составлена исходя из параметров следующих двух стадий отработки Соколовского месторождения:

1) **1978 г.** Размеры внешнего контура карьера на плоскости земной поверхности: в широтном направлении - 1200 м; в меридиональном - 3000 м. Размеры днища на глубине 200 м: в широтном направлении - 400 м; в меридиональном - 500 м. Ширина проекции бортов на плоскость земной поверхности (т.е. горизонтальное расстояние от границ днища до внешнего контура карьера): западного и восточного бортов - по 400 м; южного борта - 800 м; северного борта - 1700 м. Зона обрушения у подземного рудника отсутствует.

2) **2017 г.** Размеры внешнего контура карьера на плоскости земной поверхности: в широтном направлении - 1800 м; в меридиональном - 3000 м. Размеры днища на глубине 400 м: в широтном направлении - 400 м; в меридиональном - 1300 м. Ширина проекции бортов на плоскость земной поверхности: западного и восточного бортов - по 700 м; южного борта - 700 м; северного борта - 1000 м.

В общей сложности за 39 лет с 1978 по 2017 г, при углубке Соколовского карьера с 200 до 400 м, было вынуто порядка 150 - 160 миллионов кубических метров горного массива, вследствие чего его объем увеличился на 50 %.

За это же время на подземном руднике сформировалась зона обрушения. Контур зоны, отстроенный по внешним границам участков воронкообразования, имеет сложную форму. В меридиональном направлении зона вытянута на 1500 м, а в широтном – 500 м. Глубина – 440 м. При моделировании степень пустотности зоны задавалась посредством изменений модуля упругости формирующих ее конечных элементов, соответственно уменьшаемых относительно модуля упругости окружающего горного массива.

При проведении математического моделирования рассматривали различные соотношения тектонических составляющих горизонтальных напряжений вмещающего

породного массива  $\sigma'_{\text{шир}}$  и  $\sigma'_{\text{мер}}$ , взятых в долях  $\lambda\gamma H$  в качестве постоянной (базовой) компоненты горизонтальных напряжений, обусловленной боковым распором налегающей породной толщи. Величина  $\lambda\gamma H$  принята для средней за период 1978 - 2017 г глубины карьера  $H = 300$  м, и, таким образом, базовые компоненты горизонтальных тектонических напряжений составили  $\sigma'_{\text{шир}} = \sigma'_{\text{мер}} = \lambda\gamma H = 3$  МПа.

Для данных условий был промоделирован процесс выемки карьера и формирования зоны обрушения при следующих пяти возможных вариантах соотношения горизонтальных напряжений вмещающего породного массива, действующих в широтном  $\sigma_{\text{шир}}$  и меридиональном  $\sigma_{\text{мер}}$  направлениях:

1-й вариант:  $\sigma_{\text{шир}} = \lambda\gamma H + 1 \sigma'_{\text{шир}}$ ;  $\sigma_{\text{мер}} = \lambda\gamma H + 2 \sigma'_{\text{мер}}$ . 2-й вариант:  $\sigma_{\text{шир}} = \lambda\gamma H + 2 \sigma'_{\text{шир}}$ ;  $\sigma_{\text{мер}} = \lambda\gamma H + 1 \sigma'_{\text{мер}}$ . 3-й вариант:  $\sigma_{\text{шир}} = \lambda\gamma H + 1 \sigma'_{\text{шир}}$ ;  $\sigma_{\text{мер}} = \lambda\gamma H + 1,5 \sigma'_{\text{мер}}$ . 4-й вариант:  $\sigma_{\text{шир}} = \lambda\gamma H + 1,5 \sigma'_{\text{шир}}$ ;  $\sigma_{\text{мер}} = \lambda\gamma H + 1 \sigma'_{\text{мер}}$ . 5-й вариант:  $\sigma_{\text{шир}} = \lambda\gamma H + 1 \sigma'_{\text{шир}}$ ;  $\sigma_{\text{мер}} = \lambda\gamma H + 1 \sigma'_{\text{мер}}$ .

Вертикальные напряжения во всех вариантах составляли  $\sigma_{\text{верт}} = \gamma H$ .

Модуль упругости среды математической модели принимался исходя из среднеарифметического значения замеренных смещений  $U_{\text{ср}} = 107$  мм, полученном по 10 пунктам ОМС, определяющим базовый статистический массив натуральных данных. Для каждого из моделируемых соотношений главных напряжений бралось среднее арифметическое значение расчетных смещений 10 точек модели, соответствующих базовым пунктам ОМС на местности, приведенное к среднему уровню замеренных смещений  $U_{\text{ср}} = 107$  мм. В итоге, были получены следующие значения расчетных модулей упругости  $E$  вмещающего породного массива: для 1-го варианта  $E = 2,1$  ГПа; для 2-го –  $E = 4,2$  ГПа; для 3-го –  $E = 4,2$  ГПа; для 4-го –  $E = 6,0$  ГПа; для 5-го –  $E = 3,0$  ГПа.

Аналогично моделировались и возможные показатели пустотности (коэффициента разрыхления) пород в зоне обрушения.

По данным статистической обработки результатов математического моделирования в наибольшей степени (с абсолютной ошибкой около  $\pm 1$  МПа при доверительной вероятности 95 %) замеренным значениям векторов смещений реперных пунктов соответствует пятый и, в меньшей степени, третий варианты расчетной модели, отражающие практически равнокомпонентное поле горизонтальных тектонических напряжений породного массива месторождения с возможным незначительным добавочным сжатием в меридиональном направлении.

Таким образом, комплекс результатов натуральных замеров показал, что в целом для Соколовского месторождения на глубинах ведения горных работ (300 – 500 м) первоначальные напряжения горного массива с модулем упругости  $3 \pm 1$  ГПа определяются суммарным воздействием собственного веса налегающей породной толщи (с коэффициентом бокового давления 0,4) и практически равнокомпонентным полем горизонтальных тектонических напряжений  $3 \pm 1$  МПа.

Значимость влияния пустотности зоны обрушения незначительна (в особенности для отдаленных пунктов на бортах карьера) и практически находится в пределах точности задания граничных условий модели. Об этом можно судить по рис. 2, где представлены замеренные и расчетные вектора смещений, полученные с учетом выявленных параметров НДС горного массива месторождения. Также из векторного поля на рисунке 2 хорошо видно, что активные тектонические нарушения, пересекающие шахтное поле в меридиональном и субширотных направлениях, оконтуривают крупный структурный блок с аномальным направлением смещений: от зоны обрушения на запад, а не на восток - к зоне.

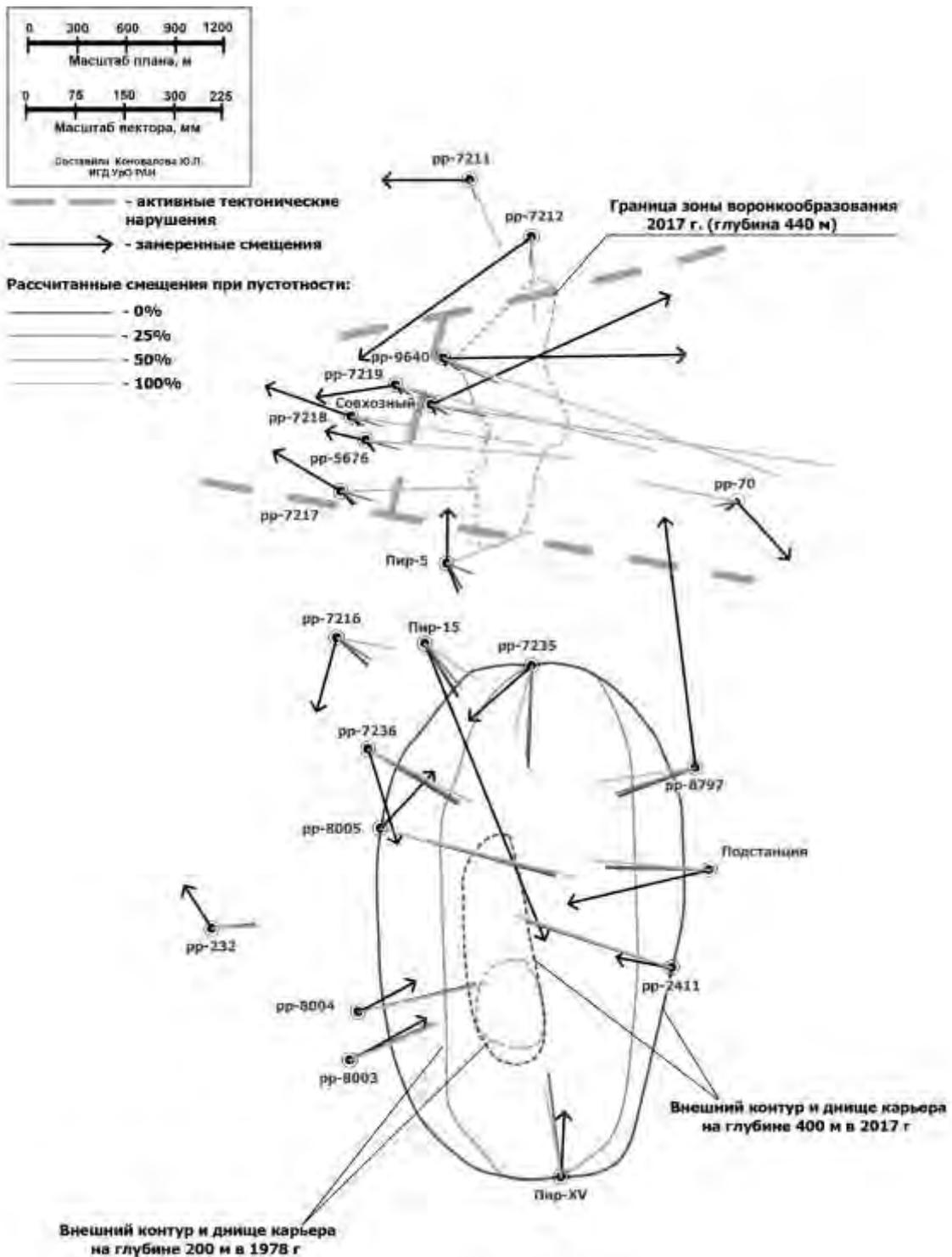


Рис. 2. Фактически замеренные (за 39-летний период 1978 - 2017 гг. с учетом вычета трендового вращательного смещения окружающего породного массива) и расчетные горизонтальные смещения пунктов ОМС на поверхности Соколовского месторождения, в окрестностях карьера и подземного рудника, при модуле упругости массива  $E = 3$  ГПа и при различных параметрах пустотности зоны обрушения в условиях сложного напряженного состояния: суммарного действия гравитационной нагрузки от веса налегающей породной толщи  $\gamma = 0,026$  МН/м<sup>3</sup> с коэффициентом бокового давления  $\lambda = 0,4$  и равнокомпонентных горизонтальных тектонических напряжений  $\sigma'_{\text{мер}} = \sigma'_{\text{шир}} = 3$  МПа

Результаты натурных исследований НДС горного массива Соколовского месторождения показали, что сравнительно низкая напряженность горного массива шахтного поля в целом, в условиях низкой геодинамической активности окружающего массива Соколовско - Сарбайского рудного поля, является фактором, осложняющим оценку НДС горного массива для локальных участков Соколовского подземного рудника (т.е. на пространственных базах в десятки метров, временных базах – в десятки месяцев). В данных условиях возрастает удельное значение факторов, определяющих местные особенности и изменчивость НДС локальных участков массива с учетом геологического и структурного строения. В первую очередь к таким факторам относятся параметры современных короткопериодных геодинамических движений и закономерности их распределения по отдельным структурным блокам и тектоническим нарушениям.

Не согласующееся с моделью деформирования сплошной упругой изотропной среды аномальное направление смещений крупномасштабного тектонического блока, оконтуренного активными тектоническими нарушениями на северном и южном флангах шахтного поля (рис. 2) было учтено при районировании шахтного поля по вероятности образования внезапных провалов и обрушений с выделением участков, потенциально опасных по фактору катастрофического прорыва воды и обводненных песчано-глинистых отложений в выработки Соколовского подземного рудника.

#### Список литературы

1. Исследование напряженного состояния массива пород и выдача рекомендаций по определению параметров камер и рудных целиков на Соколовском месторождении. Отчет о НИР ИГД МЧМ СССР. Рук. Ушков С.М., Свердловск. – 1978. - 77 с.
2. Зубков А.В., Влох Н.П., Сашурин А.Д. Напряженное состояние около подземных горных выработок. Труды ИГД МЧМ СССР, Свердловск, вып. 37. С. 123-133.
3. Исследование порядка выемки блоков и устойчивости искусственных целиков на Соколовском месторождении. Отчет о НИР ИГД МЧМ СССР. Рук. Шуплецов Ю.П. Свердловск. – 1980 г., - 114 с.
4. Исследование и совершенствование технологии добычи, закладочных работ управления горным давлением на Соколовском подземном руднике. Отчет о НИР ИГД МЧМ СССР. Рук. Влох Н.П. Свердловск. – 1983 г., - 91 с.
5. Указания по выбору параметров камер на Соколовском подземном руднике Соколовско-Сарбайского ГОКа. Свердловск. - 1985 г., - 34с.
6. Мероприятия по прогнозированию и предупреждению горных ударов в горно-капитальных выработках нижележащих горизонтов Соколовского подземного рудника. Свердловск.- 1987 г., - 20с.
7. Разработка технологии и определение параметров системы разработки нижележащих горизонтов Соколовского подземного рудника. Отчет о НИР ИГД МЧМ СССР. Рук. Влох Н.П. Свердловск. – 1986 г., - 111 с.
8. Указания по безопасному ведению горных работ на участках Соколовского подземного рудника, склонных к горным ударам. Свердловск. - 1988. – 48 с.
9. Разработка и обоснование окончательных критериев удароопасности массива горных пород для аппаратуры акустической эмиссии ГС-01 на шахте «Соколовская» АО «ССГПО. Корректировка указаний по горным ударам. Отчет о НИР ИГД УрО РАН. Рук. Феклистов Ю.Г. 2016 г. 103 с.
10. Балек А. Е., Сашурин А. Д. Проблема оценки природного НДС горного массива при освоении недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 21. С. 9–23.
11. Балек А.Е., Сашурин А.Д. Совершенствование методики натурных замеров напряженно-деформированного состояния больших участков горного массива // Вест-

ник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. - № 11 С. 105-120. DOI:10.15593/2224-9923/2014.11.11

12. Сашурин А.Д., Балек А.Е. Панжин А.А., Усанов С.В. Инновационная технология диагностики геодинамической активности геологической среды и оценки безопасности объектов недропользования / Горный журнал. - 2017. - №.12 - С. 16-20.

УДК 622.023

## ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИКОНТУРНОЙ ЧАСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

ИМАШЕВ А. Ж., БАХТЫБАЕВ Н. Б., ТАХАНОВ Д. К., СУИМБАЕВА А. М.  
Карагандинский государственный технический университет

**Аннотация.** Определены размеры возможных зон неупругих деформаций вблизи горных выработок при комбинированной отработке месторождения «Акжал» на глубине от 100 до 500 м при коэффициенте бокового давления от 0,6 до 1. Численный анализ проводился методом граничных интегральных уравнений с поэтапным нагружением массива горных пород. Уточнение физико-механических свойств горных пород выполнено с помощью программы RocLab, в которой одним из основных прочностных показателей горных пород является геологический индекс прочности GSI. Установлена зависимость размеров и форм возможных зон неупругих деформации вокруг горной выработки от коэффициента бокового давления и глубины заложения выработки.

**Ключевые слова:** зоны неупругих деформаций, геологический индекс прочности, численный анализ, коэффициент бокового давления.

## EVALUATION OF THE GEOMECHANICAL STATE OF THE NEAR THE CONTOUR PART OF THE ROCK MASS

IMASHEV A. Zh., BAKHTYBAEV N. B., TAKHANOV D. K., SUIMBAEVA A. M.  
Karaganda State Technical University

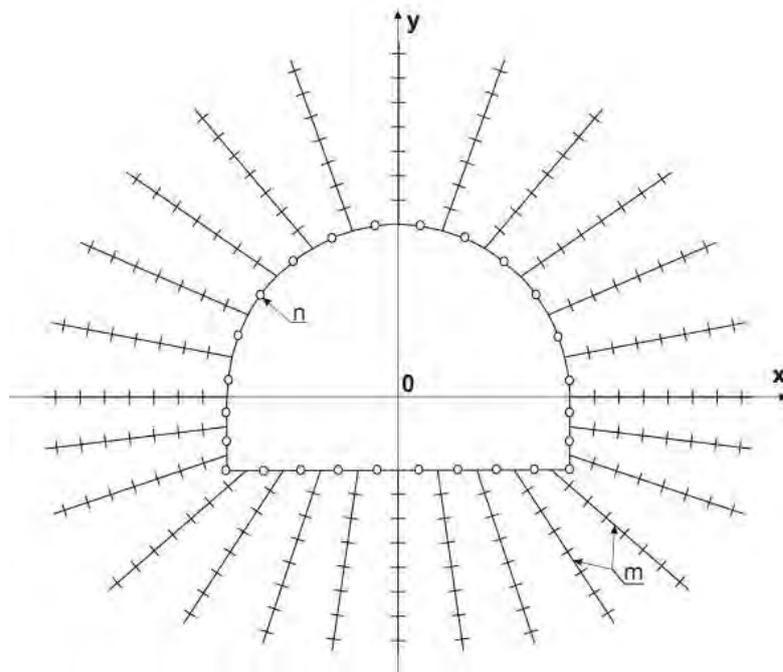
**Abstract.** The sizes of conditional zones of inelastic deformations near excavations at a depth of 100 to 500 m with a lateral pressure coefficient of 0.6 to 1 are determined at the combined development of the “Akzhal” deposit. Numerical analysis was carried out by the method of boundary integral equations with a stepwise loading of the rock mass. The refinement of physical and mechanical properties of rocks was carried out with the help of RocLab, the main strength index of rocks was the geological strength index (GSI). The dependence of the sizes and shapes of the possible zones of inelastic deformation around the excavations on the coefficient of lateral pressure and the depth of the excavations was established.

**Keywords:** zones of inelastic deformations, geological index of strength, numerical analysis, coefficient of lateral pressure.

При оценке устойчивости горных выработок большое значение имеет правильный выбор модели поведения приконтурной части породного массива. Она, в первую очередь, должна учитывать возможность нелинейного деформирования пород вблизи выработки и возможность развития зоны разрушения в пространстве [1].

Для определения возможных зон разрушения горных пород (зоны неупругих деформаций) вокруг горной выработки была принята методика поэтапного нагружения методом граничных интегральных уравнений, которая реализуется с помощью прикладной программы Hi-Fi [2], разработанная в Карагандинском государственном техническом университете.

Задачей моделирования является определение координат контура разрушения выработки, на основании информации о напряженно-деформированном состоянии массива. В этом случае рассматривается вертикальное сечение массива с вырезом, геометрия которого определялась типовыми сечениями выработки. Контур выработки представляется многоугольником. Геометрия этого многоугольника задается координатами узлов (вершины многоугольника). Поскольку вся область вне контура выработки представляет собой бесчисленное множество точек и численный анализ напряженного состояния во всех точках невозможен, то в нашем случае ограничимся рассмотрением конечного ряда точек ( $n$ ), расположенных в строго определенном порядке. Все исследуемые точки располагаются на лучах ( $m$ ), исходящих из середины участков на фиксированном расстоянии друг от друга на луче (рис. 1).



**Рис. 1. Схема расположения лучей сканирования**

Проведение выработки нарушает естественное состояние массива горных пород, что приводит к дополнительному нагружению массива. Это дополнительное нагружение разбивается на ряд этапов. На каждом этапе нагружения находится напряженно-деформированное состояние упругого массива с переменной внутренней границей (решается упругопластическая задача). На первом этапе этой границей является контур выработки. На втором этапе – контур зоны разрушения, возникающий на первом этапе и т.д. При этом на каждом этапе нагружения на внутреннем контуре напряжения сохраняют значения, достигнутые на предыдущем этапе нагружения. Принимается, что породы, попавшие в зону разрушения в процессе дальнейшего

нагрузки, не оказывают сопротивления деформации упругой части массива. Таким образом, на каждом этапе нагружения дополнительные упругие смещения на внутренней границе упругой части массива происходят без сопротивления, как для неподкрепленного контура. В тоже время накопленные на предыдущих этапах смещения этого контура сохраняются неизменными [3].

Численный анализ не ограничивает количество критериев разрушения, поэтому используются одновременно сдвиговой (Кулона-Мора) и разрывной (наибольшие деформаций растяжения) критерий.

Контур зоны разрушения определяется следующим уравнением [4]:

$$r_n = R_0 \left( 1 + \frac{p - K}{nK} \right)^{\frac{n}{2}}, \quad (1)$$

где  $R_0$  – радиус (ширина) выработки;  $p = \gamma H$  – напряжения, действующие в нетронутом массиве;  $K$  – максимальные тангенциальные напряжения,  $n$  – количество этапов нагружения.

Использование тех или иных моделей поведения массива горных пород, имеющих в современных программах численного анализа, становится затруднительным или практически невозможным, если нет надежных исходных данных для параметров принятой (выбранной) модели.

Исходные данные для расчета включает в себя геометрические характеристики и горно-геологические условия заложения выработки, прочностные свойства горных пород, дополнительные сведения о наличии в слоях пород плоскостей ослабления упорядоченных систем трещин (ориентация их относительно напластования), слабых прослоек, а также о геологической нарушенности и увлажненности конкретного месторождения.

Подготовка исходных данных для численного анализа выполнено с помощью программы RocLab, которая позволяет определить параметры прочности массива горных пород на основе критерия разрушения Hoek-Brown'a и Кулона-Мора.

Одним из важных исходных данных является показатель геологического индекса прочности пород GSI (Geological Strength Index), предложенный Эвертом Хуком (Evert Hoek) в 90-х годах прошлого века [5].

Показатель GSI определяется на основе результатов обработки шахтных исследований по диаграмме [6], разработанной Э.Хуком.

Полученные результаты при уточнении физико-механических свойств горных пород приведены в табл. 1.

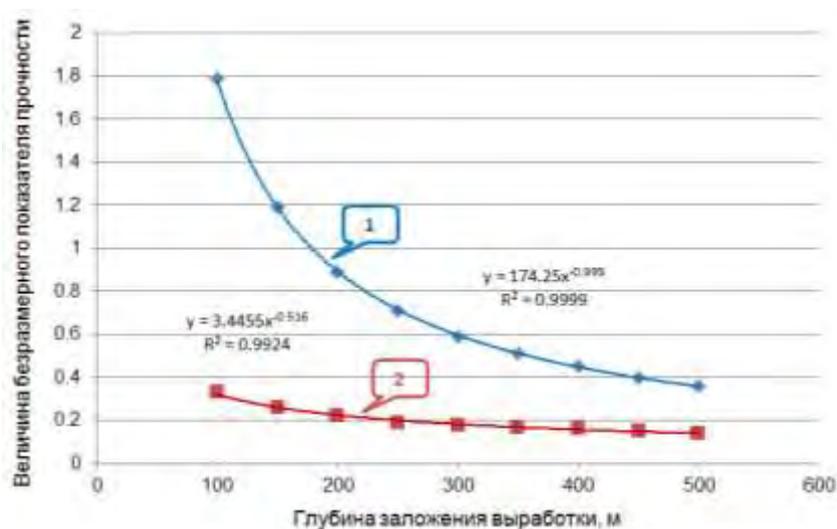
**Таблица 1 – Физико-механические свойства массива горных пород**

| Прочностные показатели горных пород           | Глубина расположения выработки, м |       |       |       |       |
|---|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|   | 100                               | 200   | 300   | 400   | 500   |
| Сила сцепления, МПа                           | 0,887                             | 1,184 | 1,446 | 1,682 | 1,901 |
| Угол внутреннего трения, град.                | 50,85                             | 46,10 | 43,11 | 40,92 | 39,20 |
| Прочность на одноосное сжатие/растяжение, МПа | 4,826 / 0,202                     |       |       |       |       |

В программе численного анализа напряженного состояния массива прочностные показатели горных пород задаются величиной безразмерного коэффициента в долях

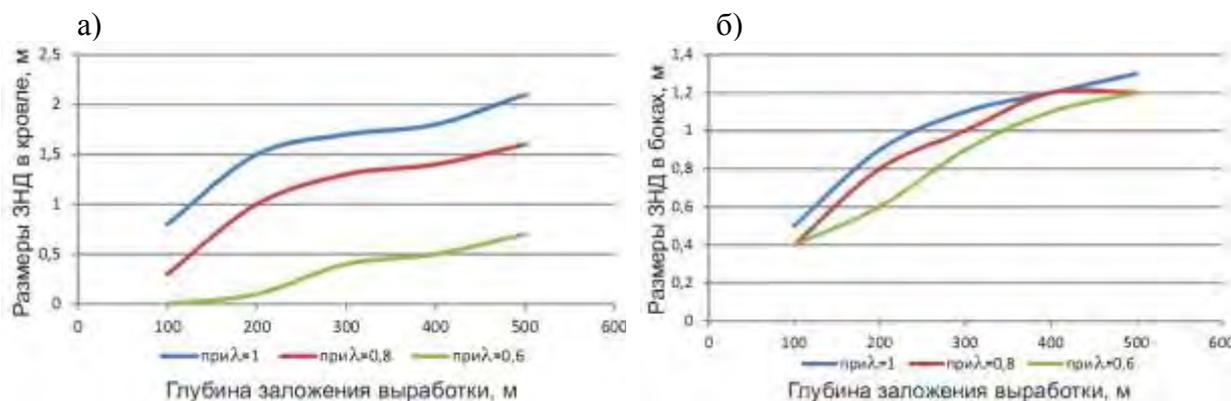
$\sigma_{сж}/\gamma H$  и  $C/\gamma H$  (рис. 2) [7]. Также в качестве исходных данных вводятся угол внутреннего трения пород и ориентация систем трещин относительно оси горной выработки.

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что форма и размеры ЗНД вокруг горной выработки в значительной мере определяются глубиной заложения выработки и коэффициентом бокового давления, прочностью пород массива и формой сечения выработки (рис. 3).



1 – показатель прочности на сжатие, 2 – показатель сцепления

**Рис. 2. Исходные данные для численного анализа**



**Рис. 3. Зависимости размеров ЗНД в кровле (а) и боках (б) выработки от глубины заложения**

При увеличении глубины заложения выработки характерен рост линейных размеров, а также постепенное стремление к форме эллипса, вытянутого в горизонтальном направлении. При этом разница в размерах эллипса зоны предельного состояния определяется значением коэффициента бокового давления, а абсолютные размеры этой зоны – размерами выработки и прочностными характеристиками массива горных пород.

В результате численного анализа установлены зависимости размеров ЗНД от глубины заложения выработок при изменении коэффициента бокового давления.

Геологический индекс прочности (GSI) дает возможность подготовить достоверные исходные данные для проведения численного анализа путем обработки результатов шахтных исследований параметров трещиноватости горных пород.

Анализ изменения ЗНД вблизи горной выработки дает возможность оценить устойчивость массива горных пород и прогнозировать возможные смещения. Наличие такой информации позволит обоснованно подходить к выбору способов и средств поддержания горных выработок в процессе их эксплуатации.

#### Список литературы

1. Судариков А.Е., Зейтинова Ш.Б., Бахтыбаев Н.Б., Имашев А.Ж., Тилеухан Н. Решение задач геомеханики в упругой постановке // Труды Университета КарГТУ. - 2013. - №1. - С. 37-39.
2. Колоколов С.Б. Численный анализ разрушения массива вокруг арочной выработки // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 1988. - № 5. - С. 114-117.
3. Исабек Т.К., Имашев А.Ж., Судариков А.Е., Бахтыбаева А.С., Зейтинова Ш.Б. Моделирование геомеханических процессов вокруг горных выработок // Промышленность Казахстана. – 2013. - №2. - С. 56-57.
4. Колоколов С.Б., Судариков А.Е. Механика подземных сооружений: учебное пособие. - Караганда: КарГТУ, 1997. - 81 с.
5. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Quantification of the Geological Strength Index Chart // 47<sup>th</sup> US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium held in San Francisco, CA, USA. – 2013.
6. Hoek E. and Brown E.T. Practical Estimates of Rock Mass Strength, Int. Jr. Rock Mech. and Min. Sci., Pergamon, Vol. 34, No. 8, 1997. – pp. 1165-1186.
7. Судариков А.Е., Имашев А.Ж., Бахтыбаев Н.Б., Таханов Д.К. Напряженно-деформированное состояние горного массива вокруг выработок с учетом его трещиноватости // Вестник Национальной академии горных наук, 2017. – №1. – С.59-64.

УДК 622.242

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

ПОЛОВОВ Б. Д., КОРНИЛКОВ М. В., ВОЛКОВ М. Н., КАНКОВ Е. В.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

*Аннотация.* Современный геомеханический анализ горнотехнических объектов выполняется, за малым исключением, на базе детерминированных моделей, описывающих свойства горных пород и состояние вмещающих массивов постоянными показателями, назначаемыми с учетом различного рода страхующих методик или конкретных коэффициентов. В УГТУ проводятся исследования по формированию комплекса научно-технических разработок по совершенствованию геомеханического анализа горнотехнических объектов.

*Ключевые слова:* геомеханический анализ, горнотехнические объекты.

## ENSURING GEOMECHANICAL SECURITY AND EFFICIENCY OF MINING ENGINEERING OBJECTS

POLOVOV B. D., KORNILKOV M. V., VOLKOV M. N., KANKOV E. V.  
Ural State Mining University

**Annotation.** Modern geomechanical analysis of mining engineering objects is performed, with a few exceptions, on the basis of deterministic models that describe the properties of rocks and the state of the enclosing massifs with constant indicators, assigned taking into account various types of insuring techniques or specific coefficients. The USMU conducts research on the formation of a complex of scientific and technical developments to improve the geomechanical analysis of mining engineering objects.

**Keywords:** geomechanical analysis, mining engineering objects.

Современный геомеханический анализ горнотехнических объектов выполняется, за малым исключением, на базе детерминированных моделей, описывающих свойства горных пород и состояние вмещающих массивов постоянными показателями, назначаемыми с учетом различного рода страхующих методик или конкретных коэффициентов. Такой подход реализован в действующих федеральных и отраслевых нормативных документах. Несмотря на многолетнюю практику реализации и совершенствования действующих нормативных документов травматизм, аварии и катастрофы геомеханического характера, не прекратились. С другой стороны невозможно оценить огромные неоправданные затраты на строительство и эксплуатацию горнотехнических объектов, вызванные избыточными запасами, вводимыми в детерминированные модели.

В УГГУ с 1996 г. проводятся исследования по формированию комплекса научно-технических разработок по совершенствованию геомеханического анализа горнотехнических объектов. В основу этих разработок положены три принципа: количественная оценка геомеханических рисков; сочетание детерминированных и вероятностно-статистических методов расчета; реализация системного подхода к построению моделей выбора решений.

Комплекс, сформированный на настоящее время, включает:

1. Непараметрическую статистическую оценку состояния вмещающего массива горных пород и свойств горных пород. Действующие нормативные документы, в частности [1], реализуют методы параметрической статистики, основанные на «удобных» распределениях выборок – нормальном и логнормальном. «К сожалению, параметрические семейства существуют лишь в головах авторов учебников по теории вероятности и математической статистике. В реальной жизни их нет. Поэтому прикладная статистика использует в основном непараметрические методы, в которых результаты наблюдений могут иметь произвольный вид... К настоящему времени непараметрические методы полностью покрывают область задач, которые раньше решались с помощью параметрической статистики» [2]. Непараметрика – очевидный путь совершенствования и коррекции устаревших методик статистического оценивания, позволяющий с высокой эффективностью проверять гипотезы о принадлежности выборок к одной и той же генеральной совокупности независимо от вида распределения случайных характеристик горных пород, объективно устанавливать закономерности их распределения, реализовать выборки любых размеров, тиражировать и обновлять выборочные данные. Разумеется, главным условием эффективной реализации методов непараметрической статистики является применение ЭВМ. В УГГУ разработан пакет прикладных программ, включающий: проверку гипотезы случайного характера выборки по критерию серий; расчленение массива горных пород на однородные инженерно-геологические или расчетные геологические элементы (по критериям Лемана-Розенблатта типа  $\omega$ -квадрат, Н. В. Смирнова, Уилкоксона, Д. А. Родионова); проекционную и гистограммную оценки плотности распределения выборок, сопоставление непараметрических оценок плотности распределения с параметрическими распределениями по критериям  $\chi^2$  и А. Н. Кол-

могорова, отбраковка выбросов по неравенству Бьеномэ-Чебышева, ранговую корреляцию по Спирмэну и Кендаллу, тиражирование выборок (бутстреп и складной нож) [3, 4].

2. Методика формирования номенклатуры значимых геомеханических рисков по типам подземных объектов по данным групповой экспертизы, обеспечивает в сравнении с известными решениями объективность, достоверность и полноту получаемой информации, упорядочивает проведение исследований и конкретизирует разработку моделей выбора безопасных и эффективных технических решений. В табл. 1 приведен пример оценки результатов групповой экспертизы горнотехнического объекта.

3. Дополнение детерминированных методов геомеханического анализа вероятностными (имитационными) методами с получением количественных оценок геомеханических рисков является важнейшим обязательным компонентом обоснования безопасных и эффективных решений по строительству городских подземных сооружений. Без количественных оценок рисков нельзя считать результаты, полученные традиционным детерминированным путем, истинно социально и экономически безопасными. Имитационное моделирование по методу Монте-Карло позволяет отказаться от разделения характеристик массивов горных пород на нормативные и расчетные, тем самым исключить возможные недооценки или переоценки геомеханических ситуаций. В принципе любой консервативный результат, полученный детерминированным путем, несложно сопоставить с фактическим риском, установленным имитационным методом. Целесообразность совместного детерминированного и имитационного геомеханического анализа поясняется примером оценки устойчивости обнажения горизонтальной выработки в соответствии с СП 91.13330.2012. [5] в следующих заданных условиях: глубина заложения выработки  $H = 500$  м; коэффициент, учитывающий тектонические движения земной коры  $K_t = 1,5$ ; сопротивление пород сжатию  $R = 95$  МПа; среднее расстояние между трещинами  $A = 1,1$  м; угол падения слоев пород  $\alpha = 20^\circ$ ; направление выработки – под углом к простиранию слоев пород; пролет выработки  $b = 2,7$  м; коэффициент, учитывающий двухстороннее сопряжение  $K_b = 1,6$  м; срок службы выработки  $t = 7$  лет; тип пород – осадочные; предельные смещения для первой категории устойчивости  $U_1 = 50$  мм.

**Таблица 1 – Статистические оценки результатов групповой экспертизы. Объект – перегонный тоннель, сооружаемый ТПК с активным пригрузом забоя**

| Фактор риска $i$   | Вес фактора $V_i$ | Ранг | Коэффициент согласия $W$ |
|--|-------------------|------|--------------------------|
| Деформации земной поверхности, зданий и сооружений   | 0,113             | 5    | 0,846                    |
| Проявления горного давления  | 0,061             | 8    |                          |
| Деформации обделки   | 0,123             | 4    |                          |
| Внезапное вскрытие ослабленных, обводненных зон, линз, пустот и полостей, заброшенных горных выработок и скважин, инженерных сетей | 0,142             | 2,5  |                          |
| Резкая изменчивость геологического строения и физико-механических характеристик вмещающих грунтов                                  | 0,147             | 1    |                          |

|  |       |     |  |
|--|-------|-----|--|
| Обводненность вмещающего массива                                 | 0,142 | 2,5 |  |
| Выбросы пыли и газов, выделение вредных химических веществ       | 0,022 | 11  |  |
| Загрязнение городской среды производственными отходами и стоками | 0,054 | 9   |  |
| Повышение радиационного фона в районе строительства              | 0,026 | 10  |  |
| Шум и вибрация   | 0,074 | 7   |  |
| Технологические риски  | 0,090 | 6   |  |

*Результаты детерминированного расчета:* расчетные смещения кровли составляют  $U_k = 40,7$  мм; расчетные смещения стен выработки  $U_c = 18,3$  мм. Так как  $U_k$  и  $U_c$  меньше  $U_1$ , вмещающие горные породы находятся в устойчивом состоянии.

*Результаты имитационного моделирования* по статистикам приведенным в табл. 2: в табл. 3 приведен отсортированный демонстрационный массив выходных случайных чисел – расчетных смещений кровли; риск по фактору устойчивости кровли составляет 0,135! и по фактору устойчивости стен выработки – 0,007.

**Таблица 2 – Статистики: сопротивление пород сжатию, расстояние между поверхностями ослабления и углы падения пород**

| Случайный параметр | Среднее выборочное | Стандарт | Асимметрия | Эксцесс |
|--------------------|--------------------|----------|------------|---------|
| $R$ , МПа          | 95                 | 17,5     | 1,5        | 1,0     |
| $A$ , м            | 1,1                | 0,25     | -2,0       | -1,5    |
| $\alpha$ , град    | 20                 | 4        | 0,0        | 0,0     |

**Таблица 3 – Расчетные смещения, установленные методом Монте-Карло**

|               |               |               |               |               |               |                |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| 0,000         | 0,000         | 0,000         | 2,095         | 3,999         | 5,347         | 7,544          | 7,978         | 8,170         |
| 8,489         | 9,164         | 12,582        | 16,051        | 16,081        | 16,212        | 18,707         | 18,720        | 19,968        |
| 20,046        | 20,527        | 20,557        | 21,061        | 21,561        | 21,632        | 22,028         | 23,522        | 24,026        |
| 24,171        | 24,751        | 25,458        | 25,464        | 25,699        | 26,332        | 26,584         | 26,633        | 27,011        |
| 27,231        | 27,380        | 27,426        | 27,952        | 29,660        | 29,782        | 29,848         | 29,852        | 29,902        |
| 29,931        | 29,993        | 30,015        | 30,021        | 30,542        | 30,729        | 30,961         | 31,090        | 31,262        |
| 31,621        | 31,808        | 31,855        | 31,979        | 32,092        | 32,095        | 32,156         | 32,463        | 32,549        |
| 32,773        | 32,789        | 33,124        | 33,158        | 33,233        | 33,674        | 33,780         | 34,242        | 34,425        |
| 34,484        | 34,583        | 34,671        | 35,062        | 35,170        | 35,728        | 35,742         | 36,042        | 36,077        |
| 36,101        | 36,131        | 36,385        | 36,489        | 36,515        | 36,533        | 36,723         | 36,915        | 37,502        |
| 37,612        | 37,693        | 37,853        | 38,479        | 39,089        | 39,299        | 39,382         | 39,863        | 40,280        |
| 41,521        | 41,558        | 41,922        | 42,043        | 42,353        | 42,726        | 42,756         | 43,316        | 44,409        |
| 44,705        | 45,181        | 45,946        | 47,926        | 48,240        | 48,707        | 49,198         | <b>54,688</b> | <b>55,407</b> |
| <b>55,836</b> | <b>56,517</b> | <b>57,808</b> | <b>62,464</b> | <b>62,704</b> | <b>62,835</b> | <b>65,181</b>  | <b>73,271</b> | <b>75,880</b> |
| <b>77,381</b> | <b>80,363</b> | <b>81,939</b> | <b>83,553</b> | <b>83,779</b> | <b>88,306</b> | <b>113,529</b> |               |               |

4. Обеспечение адекватности имитационного моделирования геомеханических рисков за счет: входной информации о вмещающих массивах и показателях физико-технических свойств горных пород, нагрузках и воздействиях, получаемых методами непараметрической статистики; восстановления и тиражирования выборок при геологоразведочных работах и натуральных экспериментах; нестандартных процедур имитационного моделирования. К последним относятся: увеличение числа генераций случай-

ных чисел (до 15000, с использованием технологий «cloud computing» [6] до 200000 – 300000); оценок чувствительности (значимости) входных случайных параметров; серийных имитационных испытаний; генерации универсальных распределений случайных чисел, непараметрической и физической отбраковки грубых погрешностей.

5. Разработка «имитационного конструктора» – специальной таблицы с комментариями, в которой размещена «базовая» программа, разделенная на стационарные (неизменяемые) фрагменты и фрагменты, подлежащие реконструкции при разработке блоков имитационного моделирования. В результате трудоемкость конструирования любой новой программы сводится к минимуму, определяемому, главным образом, затратами на создание фрагмента, в котором выполняется детерминированное решение вновь поставленной задачи.

6. Синтезирование методов конечных элементов и имитационного моделирования (МКЭ+ММК). Сущность такого синтеза состоит в дополнении детерминированных методов численного решения сложных двухмерных и трехмерных геотехнических задач вероятностными оценками геомеханических рисков.

Идея «МКЭ+ММК» реализуется в трех вариантах:

вариант 1 – использование единого программного комплекса, объединяющего известные компьютерные технологии «ММК» и «МКЭ», например «защитый» МКЭ в ММК с помощью «имитационного конструктора»;

вариант 2 – генерация входной информации по «ММК», интерактивная обработка выходного информационного массива с многократным обращением к «МКЭ»;

вариант 3 – получение набора тестовых решений по МКЭ и их последующий инженерный анализ в соответствии с результатами генераций входных случайных параметров.

7. Экономическая и социальная оценка цены рисков. Отличительная особенность этой компоненты общего подхода к геомеханическому анализу городских подземных сооружений является использование количественных значений геомеханических рисков и положений современной концепции «приемлемых рисков» [7], фактических максимальных выплат предприятий по регрессным искам [8] стоимость единицы риска для здоровья и жизни [9].

8. Оценка социально-экономической эффективности городских подземных сооружений выполняется в соответствии с составляющими социально-экономической эффективности и их «весам» в денежной и натуральной форме [10, 11] и современным принципами оценки эффективности инвестиционных проектов [12]. Новым является увязка годовой социально-экономической эффективности как неполученного дисконтированного дохода со сроками ввода в эксплуатацию городских подземных сооружений [13]).

9. Оценка качества и результативности мониторинга. Комплексным количественным показателем качества может служить надежность контроля, под которым понимается произведение трех вероятностей обнаружения заданных пороговых уровней: функции от точности измерений, функции от периодичности измерений, функции от числа контрольных пунктов. Наличие показателя надежности позволяет приступить к формализации мониторинга, очевидной базой чего являются взаимосвязи затрат на получение информации с надежностью и значимостью контролируемых объектов. Последняя может быть определена при анализе природных и технических условий в том случае, если природные и технические факторы будут увязаны с экономическими и социальными особенностями объектов. Таким образом, оценка значимости должна определяться по экономическим показателям и социальным параметрам, устанавливающим

уровни травмоопасности. Принцип формализации дает возможность оптимизировать параметры комплексного мониторинга и установить его результативность, связать результативность с геомеханическими рисками и значимостью объектов.

10. Принцип формирования моделей обоснования безопасных и эффективных технических решений по строительству и эксплуатации горнотехнических сооружений в условиях риска заключается в анализе многочисленных факторов, оказывающих как непосредственное, так и косвенное влияние на безопасность и эффективность технических решений. Очевидной базой для формирования таких моделей являются взаимосвязи финансовых поступлений, затрат на получение исходной информации о состоянии техно-природной среды, горно-строительные и эксплуатационные работы, защиту окружающей среды, научно-техническое сопровождение (мониторинг) и цены значимых рисков, рассматриваемые в динамике с учетом фактора времени. В качестве оценочных показателей предусматривается использование рыночных критериев (максимумы чистого дисконтированного дохода ЧДД и внутренней нормы доходности ВНД, минимумы срока окупаемости СО или суммарных дисконтированных затрат СДЗ), дифференцированных по категориям бюджетного и внебюджетного финансирования.

### Список литературы

1. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов измерений. – М.: Стандартинформ, 2013. 19 с.
2. Орлов А. И. Прикладная статистика. М.: Изд-во «Экзамен». 2006, С. 228.
3. Романов Д. А., Половов Б. Д. Непараметрическая оценка физико-технических свойств грунтов // Известия вузов Горный журнал. 2006. № 3. С. 47 – 55.
4. Волков М. Н., Половов Б. Д., Романов Д. А. Непараметрическая оценка свойств грунтов на стадии проектирования городских подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. Строительная геотехнология. Отдельный выпуск № 6. 2010. С. 112 – 123.
5. СП 91.13330.2012. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80 / М.: Минрегион России, 2012. 52 с.
6. Guide to Cloud Computing // Ресурсы интернета.
7. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Серия 27. Выпуск 16. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. — 56 с
8. Катков Н. Н. Затраты предприятия на один несчастный случай с летальным исходом на рудниках Норильска (по методике ВостНИИ) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 7. С. 28, 29.
9. Быков А. А., Фалеев М. И. К проблеме оценки социально-экономического ущерба с использованием показателя цены риска // Проблемы анализа риска: Цена риска. 2005. т. 2. № 2. С. 114 ÷ 131.
10. Сафронов Э., Бирюков В., Оганесов Г. Эффективность развития метрополитенов в крупнейших городах России. Метрострой. 1994. № 1. С. 5 ÷ 7.
11. Крук Ю. Е. Отечественное метростроение на границе тысячелетий // Подземное пространство мира. 2001. № 1 ÷ 2. С. 3 ÷ 5.
12. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования (утвержденные Госстроем России, Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госкомпромом России 31.03.94 № 7 – 12/47). М.: НПКВЦ «Теринвест», 1994. 80 с.

13. Половов Б. Д., Корнилков М. В., Романов Д. А. и др. Обоснование эффективных решений по строительству Екатеринбургского и Челябинского метрополитенов // Труды Международной научно-технической конференции «Строительство и механизация работ строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных городов». Москва, 20.10.2009. С. 34–45.

УДК 622.278

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТБОЙКИ ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕВЗРЫВЧАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ СРЕДСТВ (НРС)

ЛАТЫШЕВ О. Г.<sup>1</sup>, ФЛЯГИН А. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет

<sup>2</sup>Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** Невзрывчатые разрушающие средства (НРС) используются в тех случаях, когда разрушение горных пород взрывом недопустимо в силу опасных последствий, связанных с нарушением устойчивости породного массива и негативными сейсмическими проявлениями взрыва. В общем случае НРС разделяются на расширяющиеся смеси при их твердении и газогенераторы, представляющие собой горючие составы, работающие в дефлаграционном режиме. И в том и в другом случае разрушение горных пород обусловлено развитием трещин отрыва или сдвига за счет давления, создаваемого НРС при их инициации. Работа посвящена рассмотрению физических основ разрушающего действия НРС на основе теории хрупкого разрушения (теории трещин Гриффитса). На основе анализа энергетического баланса системы «НРС - горная порода» даются количественные оценки параметров шпуровой отбойки пород невзрывчатыми разрушающими средствами. Показаны условия зарождения трещин. Полученные оценки могут служить базой формирования статистических (имитационных) моделей разрушения горных пород с помощью НРС.

**Ключевые слова:** горные породы, невзрывчатые разрушающие средства, разрушение, трещиностойкость.

## ANALYSIS OF THE PROCESSES OF ROCK BREAKING USING NON-EXPLOSIVE DEMOLISHING SUBSTANCES

LATYSHEV O. G.<sup>1</sup>, FLYAGIN A. S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Ural State Mining University,

<sup>2</sup>Institute of Mining of Ural branch of RAS

**Abstract.** Non-explosive demolishing substances (NDS) are used in cases where the destruction of rocks by explosion is inadmissible in consideration of the dangerous consequences connected with disturbance of rock mass stability and negative seismic manifestations of explosion. In the general case NDS are divided into mixtures expanding when hardening and gasifiers which are combustible compositions working in deflagration mode. In both cases, demolishing of rocks is a result of expanding of breaking or shear cracks due to the pressure generated by the NDS while its initiation. The paper deals with the physical foundations of the damaging effects of NDS on the basis of the theory of fragile fracture (Griffiths crack theory). Based on the analysis of the energy balance in the “NDS-rock”-system, quantitative estimates on the parameters of the spur breaking of rocks by non-explosive demolishing substances are given. The conditions of cracks

origin are shown. The obtained estimates can be a basis for the formation of statistical (simulation) models of rock demolishing with the help of NDS.

**Keywords:** rocks, non-explosive demolishing substances, destruction, fracture strength, crack growth resistance.

Традиционным способом разработки скальных пород являются буровзрывные работы. Однако их производство сопровождается рядом опасных последствий: нарушение законтурного массива трещинами, приводящее к потере устойчивости выработок; сейсмическое действие взрыва, оказывающее негативное действие на людей и окружающие сооружения и пр. Избежать этих последствий позволяет использование невзрывчатых разрушающих средств (НРС).

По составу и характеру действия невзрывчатые разрушающие средства можно разделить на два типа – невзрывчатые разрушающие составы (НРС), создающие давление за счет увеличения своего объема в пространстве шпура в процессе твердения (дегидратации) [1] и газогенераторы, в которых физико-химическое превращение происходит не в детонационном режиме, как у промышленных ВВ, а в дефлаграционном [2].

*Невзрывчатые разрушающие составы (НРС)* представляют собой смесь негорючих порошкообразных материалов, имеющих щелочные свойства и повышенную гигроскопичность. Основной компонент смеси (60–90 %) – оксид кальция, получаемый путем регулируемого обжига и помола карбонатных пород. Для получения нужной скорости реакции гидратации в НРС вводят специальные добавки: борную кислоту, соду, алюминиевую пудру и др.

Порошок НРС смешанный с водой (обычно в соотношении 3:1) образует пасту, которая вводится в шпур. При ее затвердевании она увеличивает свой объем, создавая давление на стенки шпура. Величина давления определяется реакцией отпора горной породы и может достигать величины 50 МПа. В отличие от применения зарядов ВВ работа НРС происходит в статическом режиме, исключая сейсмическое воздействие на породный массив.

Технология использования НРС состоит в следующем. В емкость смесителя заливают нужное количество воды. Затем небольшими порциями при тщательном перемешивании засыпают отмеренное количество порошка НРС. Приготовленную рабочую смесь с помощью специальных устройств вводят в очищенные от буровой мелочи шпуры, оставляя незаполненными 10 – 15 см [3]. После выдержки состава в течение 6 – 24 часов между шпурами образуется магистральная трещина, отделяющая породу от массива. Для облегчения отрыва между наполняемыми НРС шпурами могут буриться холстые шпуры. В зависимости от применяемой технологии и свойств пород расход НРС колеблется от 0,5 до 6,0 кг на 1 м<sup>3</sup> добываемой породы. Представляется, что данная технология может использоваться также для обеспечения гладкого контура при проходке подземных выработок.

*Газогенераторы* состоят из двух главных компонентов – окислителя (хлората натрия) и горючего (углеводородов) [4, 5]. В зависимости от количества и состава компонентов в отечественной практике они получили различные названия: газодинамический клин (ГДК), газогенераторный клин (ГГК), газогенераторы хлоратные патронированные (ГХП), газогенераторы давления шпуровые (ГДШ), газогенераторы пиротехнические (ГП). По своей сути любые газогенераторы (ГГ) представляют собой взрывчатое вещество, но работающие в режиме горения, а не детонации. Они относятся к пиротехническим изделиям 5-го класса опасности. Компоненты ГГ не взрывоопасны в обраще-

нии, даже готовый к использованию заряд может взрываться только в замкнутом объеме шпура.

Газогенераторы представляют собой энергетические материалы, способные к взрывчатым превращениям, в результате которых вещества переходят в газообразное состояние с выделением большого количества потенциальной химической энергии. В ГГ взрывчатые превращения работают в режимах нормального послойного и конвективного горения [6]. Для возбуждения этих процессов необходим некоторый начальный импульс - инициирование.

Важным фактором при работе газогенераторов является наличие оболочки заряда, роль которого могут играть стенки шпура. В процессе горения образующиеся газы занимают объем, гораздо больший, чем вместимость шпура. Это создает давление в тысячи атмосфер. Увеличение давления продуктов горения приводит к возрастанию скорости процесса. Баланс между изменяющимся давлением и скоростью горения определяется интенсивностью притока тепловой энергии химических реакций и оттока тепла за счет нагрева окружающих пород и истечения газов в направлении устья шпура и по трещинам массива. Для устойчивой работы газогенераторов важно не допустить критического наращивания давления с переходом химических реакций горения в детонацию [7].

Невзрывчатые разрушающие средства получили распространение при ведении горных и строительных работ во многих странах: США, Японии, Канаде, Чехии и др. Их используют при добыче каменных блоков, разделке негабарита, разрушении бетонных конструкций и пр. Отсутствие детонационной волны предохраняет получаемые изделия от трещинообразования.

Для обоснованного проектирования технологии разрушения горных пород с помощью НРС необходимо исследование физических основ их действия на горные породы. Наиболее полно данный вопрос изучен для технологии добычи каменных блоков с помощью расширяющихся НРС [1, 8, 9, 10]. При этом принимается, что энергия НРС расходуется на совершение работы по зарождению трещины на боковой поверхности шпура и ее развитие (прорастание) на половину межшпурового расстояния. Основываясь на этом, в работе [9] предлагается уравнение энергетического баланса процесса (модель квазихрупкого разрушения горной породы), которое можно записать в виде:

$$P_p(\delta_{\max}/2 + \Delta) = U + \gamma_S S_p, \quad (1)$$

где  $P_p$  – сила, нормальная к поверхности разрыва;  $\delta_{\max}$  – перемещение, вызванное максимальной деформацией растяжения;  $\Delta$  – перемещение, вызванное раскрытием трещины разрыва;  $U$  – потенциальная энергия деформации массива от воздействия внешних сил;  $\gamma_S$  – удельная поверхностная энергия горной породы;  $S_p$  – площадь поверхности разрыва.

Однако уже в процессе бурения шпуров для размещения НРС в их окрестности образуется зона трещиноватости [11, 12]. Поэтому процесс зарождения трещин из энергетического баланса следует исключить. Второе слагаемое  $\gamma_S S_p$  уравнения энергетического баланса (1) отражает ту долю работы, которая затрачивается на развитие межшпуровой трещины. Классическим инструментом расчета данного процесса является теория хрупкого разрушения Гриффитса [13]. Критерием роста трещины является условие достижения равенства трещиновдвигущей силы  $G$  сопротивлению росту трещины  $R$  ( $G = R$ ) или

$$\frac{2\pi L\sigma^2}{E} = 4e_s, \quad (2)$$

где  $2L$  – длина трещины;  $\sigma$  – приложенное напряжение;  $E$  – модуль упругости;  $e_s$  – удельная поверхностная энергия горной породы.

Данное выражение получено А. Гриффитсом на модели разрушения пластины с трещиной путем отрыва. Тогда прочность при растяжении твердого тела (в соответствии с уравнением (2)) запишется в виде:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{2Ee_s}{\pi L_{кр}}}, \quad (3)$$

где  $L_{кр}$  – критическая полудлина магистральной трещины, при которой начинается процесс разрушения.

В контексте данной работы длина трещины  $2L_{кр}$  соответствует половине расстояния между стенками шпуров, т. е.  $2L_{кр} = (L_{шп} - r_{шп})/2$ , где  $L_{шп}$  – расстояние между осями контурных шпуров,  $r_{шп}$  – радиус шпуров. Тогда, зная свойства горной породы:  $\sigma_p$ ,  $E$ ,  $e_s$ ), можно определить требуемое расстояние между контурными шпурами  $L_{шп}$ , обеспечивающее образование магистральной трещины. Однако при этом необходимо учитывать следующее обстоятельство.

При обосновании теории А. Гриффитс рассматривал процесс растяжения пластины с трещиной в однородном упругом аморфном теле (стекле). В реальной кристаллической горной породе  $2L_{кр}$  не будет соответствовать расстоянию между устьями трещин (осями шпуров)  $2L_0$ . Образующиеся трещины имеют сложную геометрию, характеризующуюся их фрактальной размерностью  $d_f$ . Исследование данного вопроса показало, что критерий Гриффитса примет вид [14]:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{2Ee_s}{\pi L_0^{d_f}}}. \quad (4)$$

Фрактальная размерность образующейся трещины будет зависеть от свойств и строения разрушаемой породы. Этот вопрос нуждается в специальном исследовании.

Описанная модель разрушения будет справедлива при наличии свободной поверхности, где главным критерием служит сопротивление породы на отрыв  $\sigma_p$ . В условиях сплошного массива магистральная трещина будет образовываться за счет сдвига касательными напряжениями  $\tau_{сдв}$ . Адекватной характеристикой образования трещин служат коэффициенты интенсивности напряжений [15]. Для трещин I рода

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi L}. \quad (5)$$

Развитие трещин II рода определяется касательными напряжениями  $\tau$ , тогда:

$$K_{II} = \tau \cdot \sqrt{\pi L}. \quad (6)$$

Размерность коэффициентов интенсивности напряжений - Па·м<sup>1/2</sup> или кгс/см<sup>3/2</sup>.

Таким образом, для данного тела любые трещины, нагруженные до одинакового значения  $K_I$  будут иметь одинаковое поле напряжений. Например, две трещины размерами  $4L$  и  $L$  будут иметь одинаковые поля напряжений, если первая трещина нагружена до напряжения  $\sigma$ , а вторая – до  $2\sigma$ . Именно в этом случае коэффициент интенсивности напряжений будет одинаковым.

Если горная порода с трещиной размером  $2L$  разрушилась при напряжении  $\sigma_p$ , то коэффициент интенсивности напряжений будет иметь критическое (пороговое) значение:

$$K_{IC} = \sigma_p \sqrt{\pi L}. \quad (7)$$

Развитие трещин II рода определяется касательными напряжениями, поэтому:

$$K_{IC} = \tau_{сдв} \sqrt{\pi L}, \quad (8)$$

где  $\tau_{сдв}$  – прочность тела при сдвиге;  $L$  – длина трещины в ее фрактальном представлении.

Критерий Гриффитса с учетом выражения для коэффициента интенсивности напряжений для трещин I рода примет вид:

$$2K_{IC}^2 / E = 4e_s, \quad (9)$$

тогда

$$K_{IC} = \sqrt{2E \cdot e_s} = const. \quad (10)$$

В этом качестве (как свойство тела) коэффициент интенсивности напряжений называется *вязкостью разрушения* или *трещиностойкостью*. Вязкость разрушения, как правило, измеряют в лаборатории на специальных образцах с трещиной. По его величине можно оценить удельную поверхностную энергию тела:

$$e_s = K_{IC}^2 / 2E. \quad (11)$$

Вышеприведенные соотношения справедливы для идеально упругого тела. В реальных горных породах в устье трещины возникает зона пластических деформаций. Как установлено Ирвином [16], реализация пластической деформации приводит к тому, что трещина ведет себя так, будто ее длина больше, чем на самом деле, на величину  $\rho_p$ . Радиус зоны пластической деформации предлагается определять по формуле:

$$\rho_p = \frac{K_I^2}{2\pi \sigma_y^2} = \frac{L}{2} (\sigma/\sigma_y)^2. \quad (12)$$

Тогда коэффициент интенсивности напряжений становится равным:

$$K_I^* = \sigma \sqrt{\pi(L + \rho_p)}. \quad (13)$$

В соответствии с этим Ирвин предложил силовой критерий разрушения, заключающийся в том, что рост магистральной трещины начинается при достижении коэффициентом концентрации напряжений критического для данного тела значения:  $K = K_{IC}^*$ . В такой записи критерий справедлив для трещин отрыва (типа I). Для трещин сдвига вместо нормальных напряжений  $\sigma$  следует использовать вызванные ими касательные напряжения  $\tau$ . Предложенный силовой критерий Ирвина эквивалентен энергетическому критерию Гриффитса, но учитывает наличие пластической деформации в

вершине трещины и позволяет с помощью поправки Ирвина свести нелинейную задачу к линейному случаю теории упругости.

В общем случае, в области устья растущей трещины можно выделить три зоны [17]. Первая зона – зона повышенных напряжений, где тело деформируется чисто упруго и его поведение может быть описано линейной механикой разрушения. Строго говоря, понятие коэффициентов интенсивности напряжений применимо лишь для этой зоны. Поэтому часто ее называют *K*-зоной. Ближе к устью трещины может возникнуть зона пластических деформаций, где закон Гука не выполняется и поведение тела описывается нелинейной механикой. Наконец, в непосредственной близости от вершины развивающейся трещины наблюдается зона разрушения, где происходит зарождение, рост и слияние микротрещин. Здесь механика сплошной среды неприменима вовсе.

При разрушении реальных горных пород образуются, как правило, все три зоны. Однако, если пластическая зона достаточно мала и ее влияние не приводит к заметной релаксации напряжений в *K*-зоне, то обычно используют соотношения линейной механики разрушения. При больших размерах пластической зоны нелинейность деформаций и напряжений уже нельзя игнорировать, и коэффициенты интенсивности напряжений в чистом виде использованы быть не могут. В этом случае обычно используют понятие *предела трещиностойкости*:

$$I_C = m \cdot K_{1C}, \quad (14)$$

где  $m > 1$  – запас по пределу трещиностойкости. Его величину принимают, исходя из соображений реальной технологии разрушения или, наоборот, обеспечения устойчивости горных пород.

С этой целью вводят коэффициент запаса прочности

$$n = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_1}, \quad (15)$$

где  $\sigma_1$  – номинальная (измеренная в эксперименте) прочность горной породы;  $\sigma_{\max}$  – допустимые напряжения.

Предел трещиностойкости зависит от величины  $n$  и может быть описан уравнением:

$$I_C = I_{C \max} \sqrt{1 - \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_{\max}} \right)^q}, \quad (16)$$

где  $I_{C \max}$  – наибольшее значение  $I_C$ , измеренное при испытании образцов с различными длинами трещин;

$q = 2 - 4$  – эмпирический коэффициент.

Таким образом, для оценки трещиностойкости пород необходимы их экспериментальные исследования. Учитывая это Е. Орован [18] предложил экспериментально определять удельную поверхностную энергию тел и использовать в уравнениях Гриффитса и коэффициента интенсивности напряжений измеренную в опытах величину, включающую как упругую, так и пластическую составляющие деформации пород.

В реальных условиях приложение нагрузки приводит к смыканию берегов трещины. Тогда развитие трещины будет определяться условиями трения по ее контактам,

т. е. степенью ее извилистости и шероховатости. С учетом этого Мак Клинтоком (McClintock F. A.) и Уэлшем (Walsh J.) в 1962 г. [19] была предложена гипотеза, корректирующая теорию Гриффитса в области сжимающих напряжений. Позднее основные выводы гипотезы были экспериментально подтверждены Хоеком (Ноес Е.) и Бениавски (Bieniawski Z. T.) [20].

Суть указанной концепции состоит в следующем. По мере роста сжимающих напряжений и смыкания трещин зависимость между предельными касательными и нормальными напряжениями все более приближается к линейной. Аналогичные выводы на макроуровне получены в работе [15]. В этом случае критерий разрушения запишется в виде:

$$\tau = \tau_0 + f\sigma, \quad (17)$$

где  $f$  – коэффициент трения, определяемый тангенсом угла наклона касательной к огибающей предельных кругов напряжений Мора  $f = \operatorname{tg}(\varphi)$ .

В работе [15] показано, что для скальных пород уравнение касательной можно записать в следующем виде:

$$\tau = \sqrt{K(\sigma_p + X)} \left[ \frac{\sigma - X}{2(\sigma_p + X)} + 1 \right], \quad (18)$$

где  $X = 0,7 \sigma_{сж}$ ;  $K$  коэффициент формы огибающей:

$$K = [2\sigma_p - 2\sqrt{\sigma_p(\sigma_p + \sigma_{сж})} + \sigma_{сж}]. \quad (19)$$

В этом случае величина параметра  $\tau_0$  определяется выражением [19]:

$$\tau_0 = \sigma_p (1/f + f). \quad (20)$$

Совокупность полученных соотношений позволяет определить оптимальные расстояния между контурными шпурами при использовании невзрывчатых разрушающих составов. В общем случае это расстояние будет зависеть от соотношения полученного давления и прочности пород.

А. И. Косолаповым [8] на основе решения известной задачи Ламе для толстостенного цилиндра, подвергнутого равномерному внутреннему давлению, получено выражение для определения расстояния между соседними шпурами при отбойке блочного камня с помощью НРС:

$$L_{\text{мин}} = 2r \sqrt{2(1 + \nu) \frac{P}{\sigma_p}}, \quad (21)$$

где  $r$  – радиус шпуров;  $P$  – давление, создаваемое расширяющимися НРС при затвердевании;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\sigma_p$  – прочность при растяжении горной породы.

Аналогичное по структуре выражение получено Г. М. Крюковым [21] для оценки радиуса зоны трещинообразования за счет действия давления продуктов химического превращения ВВ:

$$R_i = 0,5d_{\text{зар}} \sqrt{\frac{P_0}{\sigma_i}}, \quad (22)$$

где  $d_{\text{зар}}$  – диаметр зарядной полости;  $P_0$  – давление продуктов химической реакции ВВ сразу после инициирования заряда;  $\sigma_i$  – прочностная характеристика горной породы.

Обобщая полученные уравнения можно записать:

$$L_{\text{шп}} = \beta d_{\text{шп}} \sqrt{\frac{P_0}{\sigma_i}}, \quad (23)$$

где  $d_{\text{шп}}$  – диаметр контурных шпуров;  $\sigma_i$  – предельные нормальные (для трещин отрыва) или касательные (для трещин сдвига) напряжения;  $\beta$  – эмпирический коэффициент, отражающий условия отбойки, пластичность пород, применяемые НРС и др. – устанавливается на основе экспериментальных исследований и вышеприведенных соотношений.

Таким образом, задачей исследования является определение значений коэффициента  $\beta$  для различных схем оконтуривания выработки с использованием расширяющихся НРС и газогенераторов. При этом в первом случае следует учитывать, что давление плавно нарастает при твердении НРС и это приводит к постепенному накоплению повреждения в горной породе.

Количественно состояние материала, с точки зрения наличия в нем дефектов, можно оценить мерой поврежденности  $0 < \omega < 1$ , которую в свое время ввел Ю. Н. Работнов [22]. При отсутствии дефектов  $\omega = 0$ . Со временем нагружения концентрация дефектов увеличивается,  $\omega$  растет, и в наиболее слабых местах материала возникают начальные трещины. При прорастании этих трещин до критического размера происходит разрушение тела и  $\omega = 1$ . Скорость роста поврежденности зависит от уровня приложенных напряжений  $\sigma$  и обычно описывается степенной функцией:

$$\frac{d\omega}{dt} = A \left( \frac{\sigma}{1 - \omega} \right)^n, \quad (24)$$

где  $A$  и  $n$  – некоторые константы материала.

В неоднородных материалах типа горных пород распределение дефектов не будет однородным, и степень поврежденности будет зависеть от координат  $\omega = f(x, y, z)$ . Если в качестве критерия роста трещины принять достижение степенью поврежденности своего порогового значения  $\omega = 1$ , то зная скорость роста поврежденности (уравнение (24)), можно определить расстояние от вершины трещины, на котором будет достигнуто это условие. Это расстояние можно сопоставить с оптимальным расстоянием между контурными шпурами. Для наполнения данного уравнения конкретным содержанием применительно к действию расширяющихся НРС требуется определить скорость роста давления во времени различных составов, а также обосновать методику

оценки меры поврежденности горных пород  $\omega$  и ее изменения в зависимости от нарастания давления.

### Список литературы

1. Пшеничная Е. Г. Обоснование рациональных параметров добычи гранитных блоков шпуровым способом с применением невзрывчатых разрушающих смесей // Канд. дисс. –Магнитогорск, 2004. – 130 с.
2. Кирсанов О. Н. Методы и средства щадящего взрывания при добыче блочного камня шпуровым методом // Добыча, обработка и применение природного камня. Сб. науч. тр. Вып. 17. –Магнитогорск: МГТУ, 2017. – С. 33 -40.
3. Инструкция по применению невзрывчатых разрушающих средств (НРС) для добычи камня на карьерах Министерства промышленности строительных материалов СССР. – М.: МПСМ СССР, 1986. – 12 с.
4. Березуев Е. А. Применение шпуровых газогенераторов давления на карьерах блочного камня // Горный журнал. – 2008. - №1. – С. 50-52.
5. Латышев О. Г., Бычков Г. В. Исследование влияния на массив нового взрывчатого вещества ГДК-2 (ГГК-2) // Добыча, обработка и применение природного камня: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2003. – С.74-88.
6. Латышев О. Г. Химия взрывчатых веществ: Учебное пособие. – Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2015. – 112 с.
7. Латышев О. Г. Теория детонации взрывчатых веществ: Учебное пособие. – Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2015. – 164 с.
8. Косолапов А. И. Технология добычи облицовочного камня. - Красноярск: Изд-во Красноярского ГТУ, 1990. – 287 с.
9. Першин Г. Д., Пшеничная Е. Г. Основы расчета технологических параметров добычи природного камня с применением НРС // Добыча, обработка и применение природного камня. Сб. науч. тр. –Магнитогорск: МГТУ, 2001. – С. 77-94.
10. Першин Г. Д., Пшеничная Е. Г. Обоснование эффективной работы расширения НРС при шпуровой добыче блочного камня // Добыча, обработка и применение природного камня. Сб. науч. тр. –Магнитогорск: МГТУ, 2004. – С. 70-79.
11. Остроушко И. А. Бурение твердых горных пород. – М.: Недра, 1966. – 292 с.
12. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород. – М-Л.: Гостоптехиздат, 1950. – 246 с.
13. Griffith A. A. The theory of rupture. Proc. Ict. Int. Congr. Appl. Mech. – Delft, 1924, p. 55-63.
14. Латышев О. Г., Осипов И. С., Сынбулатов В. В., Еремизин А. Н. Определение фрактальной размерности трещин для оценки прочности горных пород // Изв. вузов. Горный журнал. - 2009. –№ 8. – С.119-124.
15. Латышев О. Г. Разрушение горных пород. – М.: Теплотехник, 2007. – 672 с.
16. Irwin G. R. Analysis of stresses and strains near the end of crack traversing a plate // J. Appl. Mech. – Vol. 24. - №3. – P. 361-364.
17. Матвиенко Ю. Г. Модели и критерии механики разрушения. – М.: Физматлит, 2006. –328 с.
18. Orowan E. Fracture and strength of solids. Repts. Progn. Phis., 1948, 49, № 12, p. 185-232.
19. McClintock F. A., Walsh J. Friction on Griffith's cracks in rock under pressure. U.S. National Congress on Applied Mechanics. Berceley, California. 1962.

20. Hoek E., Bieniawski Z. T. Fracture propagation mechanism in hard rock, First congress of the ISRM, 3-2. Lisboa, 1966.

21. Крюков Г. М., Глазков Ю. В. Теоретическая оценка степени взрывного дробления горных пород на карьерах при разных способах инициирования зарядов. – М.: Изд. МГГУ, 2003. –26 с.

22. Работнов Ю. М. Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1966. –152 с.

УДК 622.83:[528.2:629.78]

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА В РАЙОНЕ КИЕМБАЕВСКОГО КАРЬЕРА

ПАНЖИН А. А., САШУРИН А. Д., ПАНЖИНА Н. А.  
ФГБУН Институт горного дела Уральского отделения РАН

**Аннотация.** В ходе выполнения работы по определению современных координат пунктов государственной и опорной маркшейдерской сети АО «Оренбургские минералы» были получены деформационные характеристики земной поверхности в разные временные периоды и построена геомеханическая модель массива как на самой промплощадке (карьер, отвал), так и за пределами влияния горных работ (пункты ГГС). На основании полученных данных определены линейные параметры деформирования породного массива и прибортового массива в трех плоскостях, а также относительные деформации и величины вызвавших их тектонических напряжений, в ходе анализа негативных факторов выделены потенциально опасные участки прибортового массива.

**Ключевые слова:** геомеханика, процесс сдвижения, деформации, геодинамический мониторинг

## INVESTIGATION OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF THE MASSIVE IN THE AREA OF THE KIYBBAEVSKY CAREER

PANZHIN A. A., SASHURIN A. D., PANZHINA N. A.  
Institute of Mining, Ural Branch of the RAS

**Abstract.** Deformation characteristics of the earth's surface in different time periods were obtained in the course of the work to determine the current coordinates of the points of the state and support mine surveying network of JSC Orenburg Minerals, and a geomechanical model of the massif was constructed both on the industrial site (quarry, dump) and beyond the influence of mountain works (points ГГС). Based on the data obtained, the linear parameters of deformation of the rock massif and the array of arrays in three planes are determined, as well as the relative deformations and the magnitude of the tectonic stresses that caused them, in the course of the analysis of negative factors, potentially dangerous sections of the array were identified.

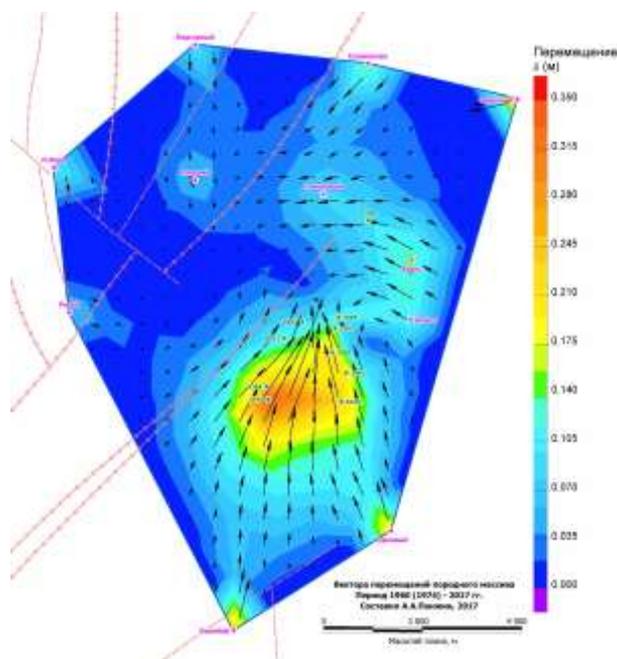
**Keywords:** geomechanics, process of displacement, deformation, geodynamic monitoring

Территория, на которой расположено Киёмбаевское месторождение хризотил-асбеста, приурочена к зоне Главного Уральского разлома и представлена тремя основными залежами: Главный участок, Северный участок и Третий участок. Наиболее мощные тектонические зоны на Киёмбаевском месторождении разделяют три вышеуказанные асбестоносные залежи. Данные тектонические зоны представлены полосой

различной мощности и преимущественно крутого восточного падения, простирающиеся субмеридионально и субширотное. В целом тектоническая структура района месторождения и вмещающего массива позволяет прогнозировать высокий уровень современной геодинамической подвижности за пределами области существенного техногенного воздействия, при этом смещения и деформации фона могут быть сопоставимы с техногенными смещениями и деформациями.

Для определения параметров исходного и вторично измененного напряженно-деформированного состояния массива горных пород на Кiemбаевском месторождении выполнено переопределение координат пунктов государственной геодезической сети (ГГС) и опорной маркшейдерской сети (ОМС), расположенных на исследуемой территории. Инструментальные наблюдения в районе месторождения производились ИГД УрО РАН в 2006 и 2017 гг. с использованием спутниковой геодезической системы ГНСС, при этом повторное определение пространственных координат пунктов ГГС и ОМС позволило установить величины и направления векторов сдвижений, амплитуды деформаций и характер их действия, определить сдвиги и деформации в вертикальной плоскости и интегральные (3D), произошедшие с начала освоения месторождения и за последние 10 лет. Также по полученным данным о процессе сдвижения были определены тензоры деформаций и изменения тектонических напряжений, вызвавших данные деформации.

Сдвиги породного массива, имеющего линейные размеры около 10x12 км, включающего карьер и отвалы Кiemбаевского месторождения хризотил-асбеста, составляют от 55 до 338 мм в плане (2D) и интегральные (3D) от 59 до 378 мм за период за период 1960 (1974) – 2017 гг. Вектора сдвижений и вектора перемещений, полученные в результате моделирования МКЭ, представлены на рис. 1. Отмечается в основном согласованное направление векторов в сторону выработанного карьерного пространства, тем не менее выделяются кластеры с преимущественными движениями на запад (Славенский, Поисковый, Базисный) и юг (Подгорный, Плоский) в северной части исследуемого участка.



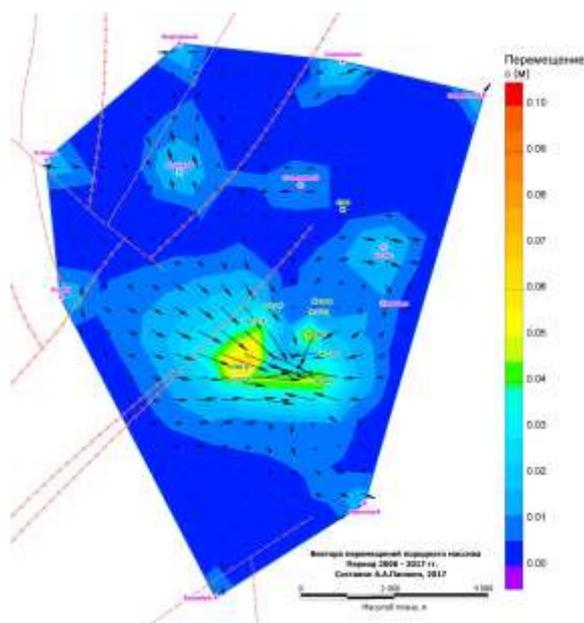
**Рис. 1. Векторы перемещений породного массива за период 1960 (1974)–2017 гг.**

Тензоры деформаций (табл. 1) формируют довольно спокойное по величине и направлениям действия поле, в районе карьерного пространства преобладают деформации сжатия, без заметных зон их концентрации, что может свидетельствовать об общем благоприятном прогнозе на долговременную устойчивость бортов карьеров.

**Таблица 1 – Изменения параметров напряженно-деформированного состояния вмещающего массива**

| Параметр        | Период 1960 (1974)-2017 гг.<br>Вмещающий массив |                      | Период 2006-2017 гг.<br>Вмещающий массив |                      |
|-----------------|---|----------------------|--|----------------------|
|                 | Max   | Min                  | Max                                      | Min                  |
| $\epsilon_{xx}$ | $1.1 \cdot 10^{-4}$                             | $-2.5 \cdot 10^{-4}$ | $0.2 \cdot 10^{-4}$                      | $-0.5 \cdot 10^{-4}$ |
| $\epsilon_{yy}$ | $1.1 \cdot 10^{-4}$                             | $-7.8 \cdot 10^{-4}$ | $0.6 \cdot 10^{-4}$                      | $-0.7 \cdot 10^{-4}$ |
| $\gamma_{xy}$   | $1.7 \cdot 10^{-4}$                             | $-3.1 \cdot 10^{-4}$ | $0.9 \cdot 10^{-4}$                      | $-0.3 \cdot 10^{-4}$ |
| $\epsilon_1$    | $1.9 \cdot 10^{-4}$                             | $-0.5 \cdot 10^{-4}$ | $0.9 \cdot 10^{-4}$                      | $-0.3 \cdot 10^{-4}$ |
| $\epsilon_2$    | $0.1 \cdot 10^{-4}$                             | $-8.9 \cdot 10^{-4}$ | $0.03 \cdot 10^{-4}$                     | $-1.4 \cdot 10^{-4}$ |
| $\sigma_1$      | 0.7 МПа   | -1.5 МПа             | 0.3 МПа                                  | -0.3 МПа             |
| $\sigma_2$      | 0.2 МПа   | -4.5 МПа             | 0.7 МПа                                  | -0.5 МПа             |

Сдвигения породного массива, зафиксированные за период 2006 (2007) – 2017 гг., значительно ниже и составляют от 7 до 69 мм в плане (2D) и интегральные (3D) от 14 до 124 мм. Вектора сдвижений и вектора перемещений, полученные в результате моделирования МКЭ, представлены на рис. 2, при этом как и за предыдущий период, отмечается в основном согласованное направление векторов в сторону выработанного карьерного пространства. Выделенные выше кластеры с преимущественными движениями на запад и юг (в северной части исследуемого участка), на данный временной интервал демонстрируют движения в обратном направлении.



**Рис. 2. Векторы перемещений породного массива за период 2006 (2007)–2017 гг.**

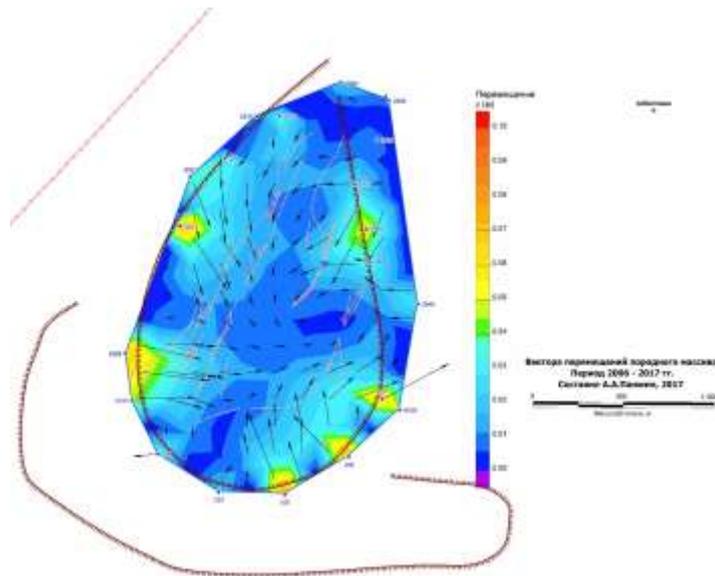
Тензоры деформаций (табл. 2) формируют неоднородное по величине и направлениям действия поле, в районе карьерного пространства преобладают как деформации сжатия (южная часть карьера), так и растяжения (депрессии), что может негативно сказаться на устойчивости бортов карьеров и активизации процесса трещинообразования.

**Таблица 2 – Изменения параметров напряженно-деформированного состояния прибортового массива**

| Параметр        | Период 2006-2017 гг.<br>Карьер |                      | Период 2006-2017 гг.<br>Карьер и отвалы |                      |
|-----------------|--------------------------------|----------------------|---|----------------------|
|                 | Max                            | Min                  | Max                                     | Min                  |
| $\epsilon_{xx}$ | $3.3 \cdot 10^{-4}$            | $-8.2 \cdot 10^{-4}$ | $3.1 \cdot 10^{-4}$                     | $-7.2 \cdot 10^{-4}$ |
| $\epsilon_{yy}$ | $4.9 \cdot 10^{-4}$            | $-3.0 \cdot 10^{-4}$ | $1.3 \cdot 10^{-4}$                     | $-1.9 \cdot 10^{-4}$ |
| $\gamma_{xy}$   | $3.5 \cdot 10^{-4}$            | $-9.9 \cdot 10^{-4}$ | $3.6 \cdot 10^{-4}$                     | $-3.8 \cdot 10^{-4}$ |
| $\epsilon_1$    | $14.0 \cdot 10^{-4}$           | $-0.4 \cdot 10^{-4}$ | $5.4 \cdot 10^{-4}$                     | $-0.3 \cdot 10^{-4}$ |
| $\epsilon_2$    | $0.2 \cdot 10^{-4}$            | $-9.3 \cdot 10^{-4}$ | $0.2 \cdot 10^{-4}$                     | $-8.6 \cdot 10^{-4}$ |
| $\sigma_1$      | 5.9 МПа                        | -1.8 МПа             | 2.5 МПа                                 | -1.6 МПа             |
| $\sigma_2$      | 2.0 МПа                        | -5.2 МПа             | 0.9 МПа                                 | -4.9 МПа             |

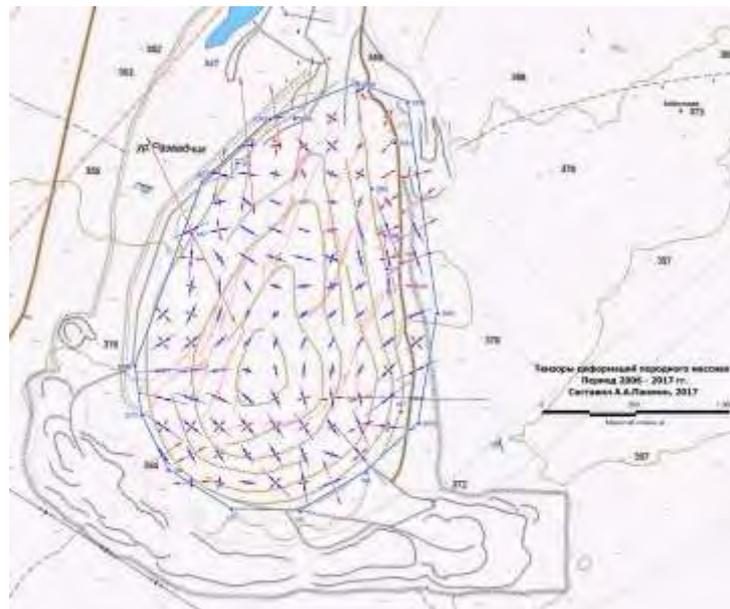
Для исследования геомеханического состояния непосредственно прибортового массива карьера исследовались горизонтальные и вертикальные сдвиги пунктов ОМС за период 2006 (2007)–2017 гг. Сдвиги прибортового массива, имеющего линейные размеры 2х2.7 км, включающего карьерное пространство, составляют от 18 до 88 мм в плане (2D) и интегральные (3D) от 32 до 123 мм за период за период 2006 (2007)–2017 гг. Вектора сдвижений и вектора перемещений, полученные в результате моделирования МКЭ, представлены на рис. 3. Отмечается, что при преобладающем в основном согласованном направлении векторов в сторону выработанного карьерного пространства, выделяются пункты, имеющие сдвиги в сторону массива, а также пункты, векторы сдвижений которых различаются от соседних в 2-3 раза. Векторы перемещений, демонстрируют вихревой характер распределения, при этом выделяется несколько их «источков» – областей повышенных величин перемещений, расположенных в основном в западном и юго-восточном бортах карьера.

Тензоры деформаций (рис. 4) формируют мозаичное по величине и направлениям действия поле, в районе карьерного пространства отмечаются как деформации сжатия, так и растяжения (депрессии) со значительными величинами их градиентов. Наибольший риск представляют зоны концентраций, в которых сочетаются депрессия по одному из главных направлений с повышенными сжимающими деформациями и напряжениями по второму главному направлению. На этих участках за счет депрессии образуются разуплотненные массы горных пород, раскрываются трещины, что в сочетании с повышенными сжимающими силами по второму направлению приводит к образованию сдвиговых деформаций и формированию обрушений.



**Рис. 3. Векторы перемещений приборного массива за период 2006 (2007)–2017 гг.**

Подобные области со специфичным напряженно-деформированным состоянием сформировались на северо-западном, северо-восточном, и, небольшие, на южном бортах карьера.



**Рис. 4. Тензоры деформаций приборного массива за период 2006 (2007)–2017 гг.**

Была проведена оценка степени риска разрушительных деформационных процессов, на основании выявленных геодезическими и геофизическими методами негативных факторов. Соответственно, большее количество негативных факторов, присутствующих исследуемому участку, означает большую вероятность разрушительных деформаций.

ционных процессов. Выделенные участки разделены на категории в зависимости от комбинации действующих на них негативных факторов:

Первая категория включает участки, на которых проявляется влияние не менее трех факторов, среди которых определяющее значение имеет близость разнонаправленных структурных нарушений, повышенные и пониженные концентрации напряжений. Их совокупность говорит о более высокой вероятности аварийных событий.

Вторая категория включает участки с двумя действующими факторами, среди которых негативное сочетание структурных элементов массива и обводненность. Два этих фактора представляют определенную опасность, однако меньшую по сравнению с первой категорией.

Необходимо отметить, что на западном и южном бортах карьера трещины имеют большее раскрытие и заполнитель с худшими физико-механическими характеристиками. В связи с этим вероятность опасности возникновения обрушений возрастает, что отражается в оценке участка.

Таким образом, на основании полученных данных определены линейные параметры деформирования породного массива и прибортового массива в трех плоскостях, а также относительные деформации и величины вызвавших их тектонических напряжений. На основании анализа негативных факторов выделены потенциально опасные участки прибортового массива.

Для обеспечения безопасной отработки Киембаевского месторождения, в условиях установленных деформационных процессов, требуется оборудовать наблюдательные станции и установить маркшейдерский контроль развития деформационных процессов за пределами локального участка обрушения западного борта, и на потенциально опасных участках, находящихся на предельном контуре.

При этом, в дополнение к требуемым нормативными документами, профильным линиям, расположенным по нормали к бортам карьера необходимо предусмотреть в конструкции наблюдательной станции и методике наблюдений:

- возможность получение полных тензоров деформаций, для этого потребуется организация площадной наблюдательной станции;

- возможность получения данных о развитии процесса сдвижения в трехмерном пространстве с использованием дистанционных комплексов – лазерного сканирования, наземной и воздушной (коптер) фотограмметрии;

- возможность получения данных об иерархически блочной структуре породного массива и его изменениях во времени – маркшейдерско-геодезическими и геофизическими методами, проводимыми в режиме мониторинга.

Также необходимо регулярно проводить переопределения координат пунктов ОМС карьера и отвалов, с привязкой их к равновесной системе ГГС, с последующим анализом развития деформационной обстановки и геомеханической модели прибортового массива.

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВОСХОДЯЩЕМ ПОРЯДКЕ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

ИВАНЧИН Е. А., ФЕДЮКОВ А. А.  
ОАО «Уралмеханобр»

**Аннотация.** Натурным методом щелевой разгрузки и прогнозным моделированием методом конечных элементов в лицензионной программе *Phase 2* канадской компании *Rocscience* определены количественные показатели напряженно-деформированного состояния массива горных пород в подземных выработках на различных стадиях отработки Озерного месторождения в восходящем порядке. Произведен анализ полученных фактических и прогнозных значений напряжений, с учетом первоначального напряженного состояния массива месторождения. Полученные результаты рассчитанных прогнозных значений напряжений при математическом моделировании показали хорошую сходимость с фактически полученными натурными замерами на различных стадиях отработки запасов Озерного месторождения, подтверждающая их достоверность.

**Ключевые слова:** восходящий порядок отработки, мощная рудная залежь, математическое моделирование, напряженно-деформированное состояние, метод щелевой разгрузки, свод давления.

## PECULIARITIES OF DISTRIBUTION OF STRESSES AT THE RISING PROCEDURE OF PROCESSING POWERFUL ORE DEPOSITS

IVANCHIN E. A., FEDYUKOV A. A.  
OJSC "Uralmechanobr"

**Abstract.** The natural method of slotted unloading and predictive modeling by the finite element method in the license program *Phase 2* of the Canadian company *Rocscience* determined the quantitative indices of the stress-strain state of the rock massif in the underground excavations at various stages of the Ozeroye field development in ascending order. The analysis of the obtained actual and predicted values of stresses is made, taking into account the initial stressed state of the deposit massif. The obtained results of the calculated predicted stress values during mathematical modeling showed good convergence with the actually obtained full-scale measurements at various stages of Ozeroye field reserves development, which confirms their reliability.

**Keywords:** ascending order of excavation, powerful ore deposit, mathematical modeling, stress-strain state, slit discharge method, pressure vault.

На сегодняшний день в нашей стране недостаточно уделяется внимания вопросу изучения изменения напряженно-деформированного состояния массива при отработке мощных рудных залежей камерной системой разработки с закладкой в восходящем порядке.

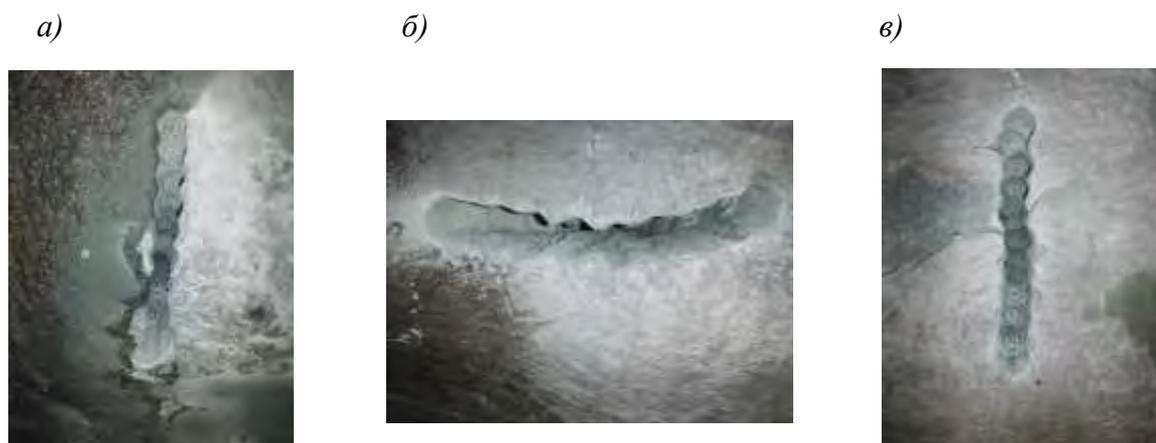
При этом на Урале существуют месторождения, на которых по ряду причин (горно-геологические условия залегания рудных тел; схема вскрытия запасов) более целесообразным является применение восходящего порядка ведения горных работ.

Одним из таких примеров реализации технологии восходящего порядка выемки с применением камерной системы разработки с закладкой может служить Озерное месторождение медно-цинковых руд.

Согласно проекту отработки Озерного месторождения, его запасы по высоте делятся на 3 этажа; два верхних этажа высотой 60 м (этажи +310/+250 и +250/+190 м), и нижний этаж высотой 50 м (этаж +190/+140 метров). Этажи подэтажными горизонтами делятся на подэтажи высотой 30 и 25 м [1, 2].

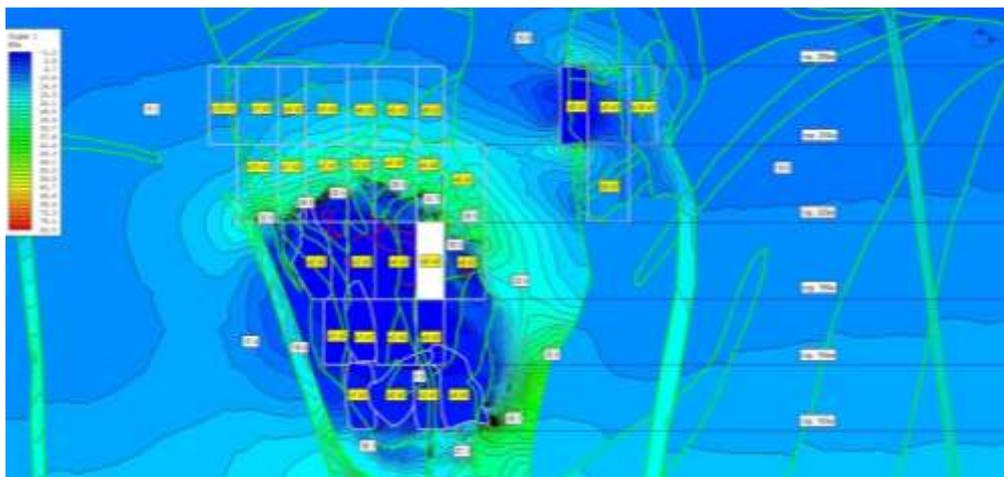
Выемка запасов осуществляется с подэтажа в восходящем порядке, начиная с самого нижнего. Для отработки запасов в подэтаже, рудное тело вкрест простирания делится на панели. Порядок отработки камер в панелях – камерно-целиковый по схеме 1-2-1-3-1. При отработке камер первой очереди их разделяет рудный целик мощностью 15 м; при отработке камер второй очереди между ними располагается комбинированный целик общей мощностью 35 м; при выемке камер третьей очереди формируется искусственный целик из твердеющей закладки мощностью 35 м.

Экспериментальная оценка напряженного состояния массива горных пород в подземных выработках на различных стадиях отработки месторождения в восходящем порядке выполнена с применением натуральных геомеханических замеров методом щелевой разгрузки (рис. 1). Прогнозная оценка изменений напряженно-деформированного состояния при выемке запасов месторождения проведена на основе математического моделирования методом конечных элементов в лицензионной программе *Phase 2* канадской компании *Rocscience* (рис. 2) [3].



**Рис. 1. Щели для замера напряжений ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ) в массиве при методе щелевой разгрузки: а – для горизонтальных широтных( $\sigma_y$ ); б – для горизонтальных меридиональных( $\sigma_x$ ); в – для вертикальных( $\sigma_z$ )**

Анализ полученных фактических и прогнозных значений напряжений производился с учетом первоначального напряженного состояния массива месторождения. Значения горизонтальной субширотной и субмеридиональной составляющей тензора напряжений в нетронутым массиве на Уральских медноколчеданных месторождениях обычно составляют  $(1,5\div 2) \cdot \gamma H$  и  $(1\div 1,5) \cdot \gamma H$  соответственно. Величина вертикальной составляющей напряжений в нетронутым массиве равна весу налегающего столба пород от поверхности  $\gamma H$ .



**Рис. 2. Горизонтальные субмеридиональные напряжения (МПа) при прогнозном моделировании**

Из анализа и сравнения значений вертикальных и горизонтальных субширотных напряжений, полученных натурными замерами на горизонте +250 метров, выполненных в период 2015 -2017 годах на различных этапах выемки камерных запасов на горизонте +220 метров, прослеживается тенденция снижения их величины. Предполагаем, что снижение величины вертикальных и горизонтальных субширотных напряжений на горизонте +250 метров произошло вследствие отработки и закладки большей части запасов панели №3 и частичной отработки панелей №1 и №2 на нижерасположенном горизонте +220 метров. При этом происходит рост величины субмеридиональных горизонтальных напряжений на горизонте + 250 метров, по мере выемки запасов панелей №1-3 на горизонте +220 метров, с концентрацией высоких значений в массиве габбро-диоритовой дайки. На рис.3 представлены графики значений напряжений фактических (замеренных) и природных (первоначальных нетронутого массива) на горизонте +250 метров [4, 5, 6].

Полученные результаты рассчитанных прогнозных значений напряжений при математическом моделировании показали хорошую сходимость с фактически полученными натурными замерами на различных стадиях отработки запасов Озерного месторождения.

По результатам проведенного комплексного научного исследования перераспределения напряженно-деформированного состояния массива при ведении горных работ в восходящем порядке определен ряд особенностей:

- при выемке запасов камер первой и второй очереди в отрабатываемом подэтаже происходит увеличение величины горизонтальных субширотных и субмеридиональных напряжений с высокими их значениями в габбро-диоритовой дайке, пересекающей рудное тело с северо-запада на юго-восток;
- формирование высоких сжимающих субширотных и субмеридиональных напряжений в угловых частях отрабатываемых камер первой очереди, на границе разномодульных по своим характеристикам руды и пород;
- снижение величины вертикальных и горизонтальных субширотных напряжений в массиве неотработанного вышележащего подэтажа по мере выемки и закладки очистных камер в нижележащем;

- увеличение величины горизонтальных субмеридиональных напряжений в массиве неотработанного вышележащего подэтажа по мере выемки и закладки очистных камер в нижележащем;

- формирование в кровле и подстилающих породах отработываемых камер «свода давления», который значительно разгружает массив внутри данного свода. При образовании «свода давления» происходит перенос повышенных нагрузок в виде опорного давления на прилегающие краевые зоны и временные рудные целики;

- образование в стенках отработанных камер низких значений вертикальных напряжений, частично переходящих в растягивающие;

- образование зоны релаксации напряжений в массиве вышележащего подэтажа после полной отработки и закладки камерных запасов нижележащего. При выполнении данного условия «свод давления» будет отнесен на подэтаж выше. По результатам геомеханических замеров и прогнозного моделирования напряженного состояния массива горных пород Озерного месторождения выявлены особенности перераспределения напряжений и определен оптимальный порядок наращивания мощностей, с учетом требований безопасности, при применении камерной системы разработки с закладкой восходящим порядком отработки.

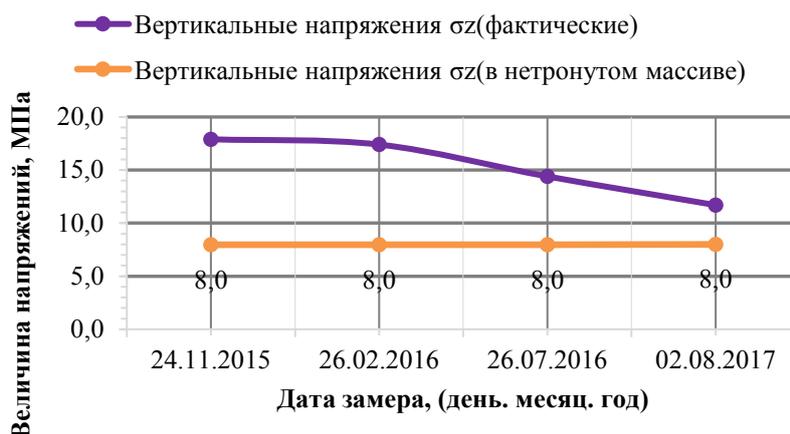
а)



б)



в)



**Рис. 3. Величина напряжений фактических (замеренных) и в нетронутом массиве на горизонте +250 метров:**

а – по оси X (горизонтальных субмеридиональных); б – по оси Y (горизонтальных субширотных), в – по оси Z (вертикальных)

*Выводы:* по результатам проведенного комплексного научного исследования перераспределения напряженно-деформированного состояния массива горных пород Озерного месторождения выявлены особенности перераспределения напряжений и определен оптимальный порядок наращивания мощностей, с учетом требований безопасности, при применении камерной системы разработки с закладкой восходящим порядком отработки.

#### Список литературы

1. Технологический регламент. 412.08-ТХР. Отработка Озерного месторождения подземным способом. г. Екатеринбург, ОАО «Уралмеханобр», 2011г.
2. ОАО «Учалинский ГОК». Отработка Озерного месторождения подземным способом. Проектная документация. Раздел 5 «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений». Подраздел 7 «Технологические решения». Книга 1. Горная и горно-механическая части, Часть 1, текстовая часть. 412.08-ИОС 7.1.ТИ, Том 5.7.1. г. Екатеринбург, ОАО «Уралмеханобр», 2011.
3. Web: [http:// www.roscience.com/roscience/products/rs2](http://www.roscience.com/roscience/products/rs2)
4. Аннотированный отчет по теме «Геомеханическое обеспечение отработки Озерного месторождения при ведении подземных горных работ». Екатеринбург, ОАО «Уралмеханобр», 2015.
5. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Геомеханическое обеспечение отработки Озерного месторождения при ведении подземных горных работ». Екатеринбург, ОАО «Уралмеханобр», 2016.
6. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Геомеханическое обеспечение отработки Озерного месторождения при ведении подземных горных работ». Екатеринбург, ОАО «Уралмеханобр», 2017.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА В ТЕКТОНИЧЕСКИ НАПРЯЖЁННОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

ХАРИСОВ Т. Ф.  
ФГБУН Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** Согласно нормативным документам, для определения и обоснования параметров бортов и уступов карьеров должен быть выполнен расчет коэффициента запаса устойчивости с помощью классических методов предельного равновесия. Для оценки существующих методов вычисления и выбора оптимального была выполнена многовариантная оценка устойчивости бортов и отдельных уступов карьера. В статье приведены результаты исследований устойчивости бортов карьера Киембаевского месторождения, где произошло обрушение уступов на западном борту. Для выявления причин обрушения и расчета устойчивости произведена актуализация физико-механических свойств пород, слагающих прибортовой массив. На основании полученных данных выполнен расчет коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) по фактическому контуру карьера. Выявлено, что фактическое состояние бортов и уступов карьера расходятся с результатами расчетов. Таким образом, основной причиной нарушения является не низкие прочностные свойства массива, а образование протяженных трещин сдвигового характера, вызванных процессами деформирования в условиях повышенного сжатия в одном направлении и депрессией во втором, с нарушением первичной структуры массива горных пород. Значения КЗУ, полученные различными методами (Федоровского-Курилло, Бишопа, Филлениуса, Янбу), отличаются друг от друга в пределах 10 – 15%. Для обеспечения безопасности ведения горных работ с учетом геомеханических условий отработки Киембаевского карьера, была разработана конструкция наблюдательной станции для мониторинга деформационных процессов прибортового массива. Она включает в себя две традиционные профильные линии и две локальных наблюдательных станции. Наблюдения за состоянием прибортового массива далеко не всегда дают возможность предотвратить обрушения и оползни, но позволяют снизить возможный ущерб от них и особенно риск для людей, находящихся в карьере.

**Ключевые слова:** устойчивость бортов, карьер, уступы, параметры бортов, коэффициент запаса устойчивости, наблюдательная станция, реперы, мониторинг.

## ENSURING STABILITY OF PIT BOARDS IN TECTONIC INTENSE MASSIF OF ROCKS

KHARISOV T. F.  
Institute of Mining, Ural Branch of the RAS

**Abstract.** According to normative documents, for definition and justification of parameters of boards and benches of pits calculation of safety factor by means of classical methods of extreme balance has to be executed. For assessment of the existing methods of calculation and choice optimum multiple assessment of safety factor of boards and separate bench of a pit has been executed. The article presents the results of the researches of slope stability of the Kiyembayevsky open-pit where the collapse of the benches on the western board occurred. For identification of the reasons of collapse and calculation of stability the updating of physicommechanical properties of the rocks composing the massif was made. On the basis of the obtained data calculation of the safety factor (SF) for the actual contour of a pit is executed. It was revealed that actual state of boards and benches of a pit disperse from results of calculations. Thus, not low strength properties of the massif, and formation of the ex-

tended cracks of shift character caused by processes of deformation in the conditions of the increased compression in one direction and a depression in the second with violation of primary structure of the massif of rocks is the main reason for violation. The SF values received by various methods (Fedorovsky-Kurillo, Bishop, Fillenius, Yanbu) differ from each other within 10 – 15%. For safety of conducting mining operations taking into account geomechanical conditions of working off of the Kiyembayevsky pit, the design of observing station has been developed for monitoring of deformation processes of the massif. It includes two traditional profile lines and two local observing stations. Observations of a condition of the massif not always give the chance to prevent collapses and landslides, but allow to reduce possible damage from them and especially risk for the people who are in career.

**Keywords:** stability of boards, pit, benches, parameters of boards, safety factor, observing station, control points, monitoring.

### **Введение**

Обеспечение устойчивости бортов и локальных уступов карьеров является актуальной задачей, от результата решения которой зависит безопасность и эффективность горнодобывающей промышленности. Нарушение даже одного участка уступа может парализовать действующий карьер, что влечет за собой большие финансовые потери.

Устойчивость бортов карьеров характеризует коэффициентом запаса устойчивости величина которого показывает относительное превышение прочности массива по сравнению со сдвигающими напряжениями. На стадии проектирования карьера для определения и обоснования параметров его бортов и уступов выполняется расчет коэффициента запаса устойчивости с учетом горно-геологическое и гидрогеологических условий прибортового массива. Выбор оптимальных параметров бортов и локальных уступов карьера влияет на безопасность ведения горных работ и экономическую эффективность предприятия. Слишком большой угол борта отрицательно сказывается на его устойчивости, а слишком пологие и устойчивые борта карьера увеличивают объемы вскрышных работ, что ведет к негативным экономическим последствиям [1 – 2].

Существует множество методик расчета коэффициента запаса устойчивости: В.Г. Федоровского и С.В. Курилло, Феллениуса, Бишопа, Спенсера, Янбу и т. д. Однако основой для оценки устойчивости бортов карьеров служат методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров разработанные Г.Л. Фисенко в 1972 г [7].

Целью исследования является обеспечение безопасного ведения горных работ при разработке карьера, сравнение основных существующих методов расчета коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров для выявления наиболее оптимальных.

### **Объект исследования**

Исследуемый прибортовой массив, где расположен Кiemбаевский карьер по добыче хризолит-асбеста АО «Оренбургские минералы», приурочен к скальному и полускальному трещиноватому комплексу пород. Асбестовые руды и вмещающие породы месторождения представлены серпентинитами, серпентинитами с ядрами перидотитов и серпентинизированными перидотитами, которые в тектонических зонах прорваны дайками диоритовых порфиринов, микродиоритов и гранатопироксеновых пород [6].

17.04.2017 г. произошло обрушение уступов западного борта. Обрушение захватило участок длиной по простиранию более 500 м и по высоте от отметки 240 м до 315 м.



**Рис. 1. Нарушенный участок западного борта Киембаевского карьера**

Для актуализации и анализа физико-механических свойств вмещающих пород и руд были отобраны образцы непосредственно на уступах карьера для последующих испытаний их прочностных свойств. По результатам испытаний были построены паспорта прочности пород и определены показатели угла внутреннего трения и сцепления в образце (табл. 1) [6].

**Таблица 1 – Результаты испытаний прочностных свойств пород в образце [4]**

| № пробы | Порода  | Местоположение |             | Предел прочности, МПа |                | Сцепление, МПа | Угол внутреннего трения, град. |
|---------|---|----------------|-------------|-----------------------|----------------|----------------|--------------------------------|
|         |   | Борт           | Горизонт, м | При сжатии            | При растяжении |                |                                |
| 21      | Выветрелый серпентинит с прожилками магнезита | восточный      | 360         | 87,6                  | 6,1            | 22,2           | 36,5                           |
| 22      | Слабоизмененный серпентинит                   | восточный      | 330         | 116,7                 | 19,9           | 36,0           | 26,6                           |
| 22      | Слабоизмененный серпентинит                   | восточный      | 330         | 171,4                 | 17,4           | 47,2           | 32,3                           |
| 22      | Слабоизмененный серпентинит                   | восточный      | 330         | 124,0                 | 17,9           | 36,9           | 28,4                           |
| 23      | Неизмененный серпентинит                      | восточный      | 315         | 125,9                 | 12,7           | 34,6           | 32,4                           |
| 24      | Слабоизмененный серпентинит                   | восточный      | 285         | 108,9                 | 7,1            | 27,1           | 37,1                           |
| 25      | Неизмененный серпентинит                      | восточный      | 270         | 93,8                  | 9,4            | 25,8           | 32,4                           |
| 26      | Руда  |                | 225         | 82,9                  | 9,2            | 23,3           | 31,3                           |
| 27      | Серпентинит зеленый с черными прожилками      | западный       | 330         | 39,1                  | 4,5            | 11,1           | 30,9                           |
| 37      | Неизмененный серпентинит с трещинами          | западный       | 315         | 80,0                  | 7,1            | 21,4           | 33,7                           |

Следует отметить, что в прибортовой массив карьера характеризуется большим многообразием заполнителей трещин, прочностные характеристики которых представлены в таблице 2. При этом незалеченных трещин очень мало. Свойства контактов в наибольшей степени будут оказывать влияние на устойчивость отдельных уступов и небольших трещиноватых участков бортов и в меньшей степени – на устойчивость всего борта в целом [6].

**Таблица 2 – Прочностные характеристики контактов во вмещающем массиве Ки-ембаевского месторождения [6]**

| Заполнитель трещин | Сцепление, т/м <sup>2</sup> | Угол трения, град |
|--------------------|-----------------------------|-------------------|
| Брусит             | 4                           | 15                |
| Магнезит           | 6 – 8                       | 15                |
| Серпентинит        | 10                          | 20                |
| Тальк              | 2                           | 12                |
| Офит               | 8                           | 15                |
| Асбестофит         | 10 – 20                     | 22                |
| Гематит            | 8                           | 15                |
| Глинка трения      | 2                           | 12                |

Прочностные свойства трещиноватого массива значительно отличаются от прочности образцов полученные при актуализации физико-механических свойств пород и для перехода от сцепления пород в образце  $C_0$  к сцеплению в массиве  $C_m$  используется коэффициент структурного ослабления  $\lambda$ :

$$C_m = \lambda C_0 \quad (1)$$

При расчете прочностных свойств прибортового массива восточного борта использовались средние значения физико-механических свойств пород в образцах проб № 21 – 25, а для западного и южного бортов использовались средние значения прочностных свойств пород в образцах проб № 27 и № 37.

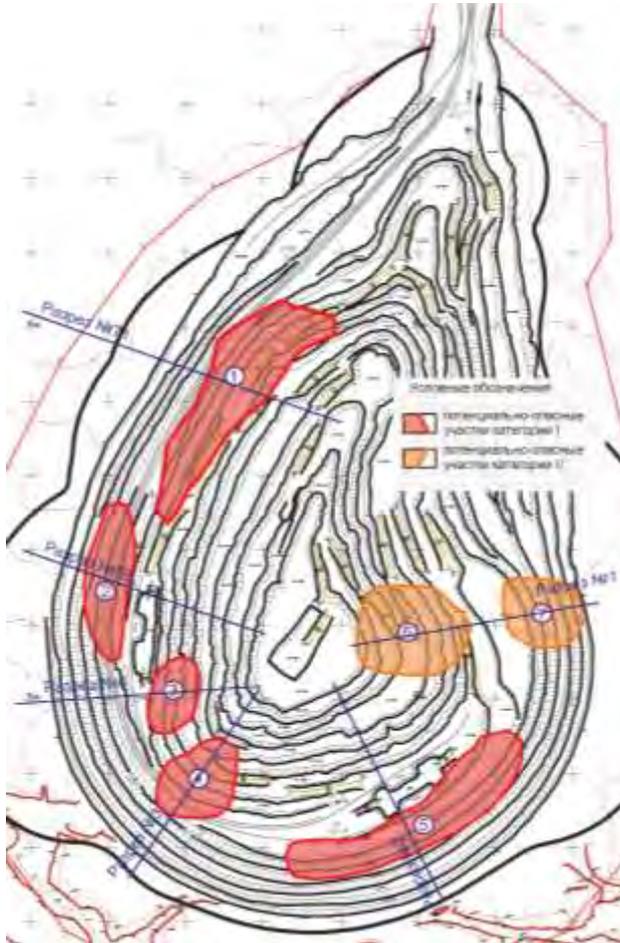
На основании выполненных расчетов были определены характеристики массива, представленные в табл. 3.

**Таблица 3 – Рассчитанные значения физико-механических свойств пород Киембаевского карьера**

| Плотность,<br>$\gamma$ , т/м <sup>3</sup>          | Сцепление,<br>$C_n$ , т/м <sup>2</sup> | Угол внутреннего трения,<br>$\varphi_n$ , градус | Цвет отображения пород<br>на расчетной схеме |
|--|--|--|--|
| Для прибортового массива восточного борта          |  |  |  |
| 2,45   | 28,0                                   | 21,3   |  |
| Для прибортового массива западного и южного бортов |  |  |  |
| 2,45   | 16,0                                   | 21,3   |  |

### Методы исследования

Для определения причин произошедшего нарушения и разработки мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение горных работ, была выполнена многовариантная оценка устойчивости бортов карьера по фактическому контуру на основании актуализированных физико-механических свойств пород, слагающих прибортовой массив (табл. 3).



**Рис. 2.** Схема расположения расчетных сечений для оценки устойчивости бортов и уступов Кiemбаевского карьера

Для расчета устойчивости бортов и уступов карьера построено 6 расчетных сечений, плановое положение которых представлено на рис. 2. Расчетные сечения проходят через потенциально опасные участки № 1 – 7, выявленные по результатам комплексного анализа влияющих негативных факторов [10], на западном, восточном и южном бортах Кiemбаевского асбестового карьера. Коэффициент запаса устойчивости уступов на потенциально опасном участке № 1 представляет особый интерес, так как именно на это участке произошло нарушение участка борта.

В программном комплексе SCAD Office «Откос» была произведена многовариантная оценка устойчивости бортов карьера и его уступов с использованием четырех классических методов: Федоровского-Курилло, Бишоп (упрощенный), Филлениуса, Ямбу (упрощенный). Методы отличаются друг от друга способом построения поверхности скольжения и используемым в расчетах математическим аппаратом. Подробное описание методов представлено в литературных источниках [11 – 14].

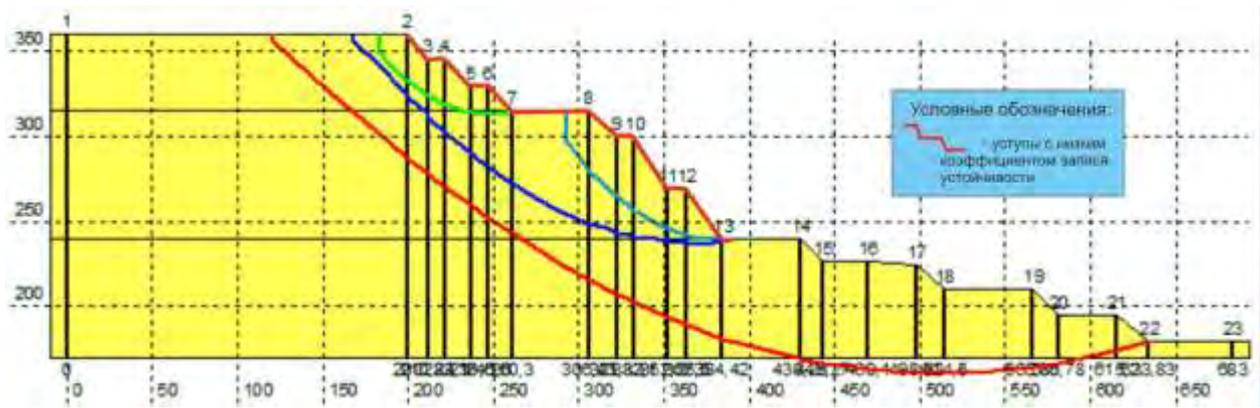
В программном комплексе SCAD Office «Откос» была произведена многовариантная оценка устойчивости бортов карьера и его уступов с использованием четырех классических методов: Федоровского-Курилло, Бишоп (упрощенный), Филлениуса, Ямбу (упрощенный). Методы отличаются друг от друга способом построения поверхности скольжения и используемым в расчетах математическим аппаратом. Подробное описание методов представлено в литературных источниках [11 – 14].

### Результаты исследований

Результаты вычисления коэффициента запаса устойчивости по фактическому контуру представлены в табл. 4. На рис. 3 представлена схема наиболее вероятных поверхностей скольжения на расчетном сечении, совпадающем с положением геологического разреза № 71, по фактическому контуру Кiemбаевского карьера, где произошло обрушение уступов.

**Таблица 4 – Результаты вычисления коэффициента запаса устойчивости по фактическому контуру**

| Номер задачи                                      | Коэффициент запаса устойчивости, рассчитанный различными методами |            |                     |                   | Средний коэффициент запаса | Цвет линии скольжения |
|---|---|------------|---------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------|
|   | Федоровского – Курилло  | Филлениуса | Бишопа (упрощенный) | Янбу (упрощенный) |                            |                       |
| Линия разреза № 1 (восточный борт)                |   |            |                     |                   |                            |                       |
| 1   | 1,724   | 1,695      | 1,809               | 1,677             | 1,726                      |                       |
| 2   | 1,242   | 1,224      | 1,291               | 1,159             | 1,229                      |                       |
| 3   | 1,626   | 1,592      | 1,677               | 1,488             | 1,596                      |                       |
| 4   | 2,038   | 2,044      | 2,068               | 1,882             | 2,008                      |                       |
| 5   | 2,9   | 2,883      | 3,071               | 2,638             | 2,873                      |                       |
| Линия разреза № 3 (юго-западный борт)             |   |            |                     |                   |                            |                       |
| 1   | 1,334   | 1,331      | 1,422               | 1,313             | 1,350                      |                       |
| 2   | 2,494   | 2,53       | 2,673               | 2,272             | 2,492                      |                       |
| 3   | 1,264   | 1,245      | 1,308               | 1,175             | 1,248                      |                       |
| 4   | 2,015   | 2,002      | 2,136               | 1,894             | 2,012                      |                       |
| 5   | 2,211   | 2,213      | 2,36                | 2,055             | 2,210                      |                       |
| Линия разреза № 4 (западный борт)                 |   |            |                     |                   |                            |                       |
| 1   | 1,359   | 1,344      | 1,418               | 1,335             | 1,364                      |                       |
| 2   | 1,137   | 1,13       | 1,18                | 1,081             | 1,132                      |                       |
| 3   | 2,02  | 2,018      | 2,151               | 1,900             | 2,022                      |                       |
| 4   | 2,122   | 2,119      | 2,24                | 1,970             | 2,113                      |                       |
| Линия № 2 (юго-восточный борт)                    |   |            |                     |                   |                            |                       |
| 1   | 1,695   | 1,675      | 1,762               | 1,412             | 1,636                      |                       |
| 2   | 0,962   | 0,964      | 0,9861,04           | 0,929             | 0,960                      |                       |
| 3   | 0,946   | 0,929      | 0,967               | 0,904             | 0,937                      |                       |
| 4   | 2,169   | 2,158      | 2,285               | 2,010             | 2,156                      |                       |
| 5   | 1,129   | 1,099      | 1,131               | 1,051             | 1,103                      |                       |
| Линия геологического разреза № 59 (западный борт) |   |            |                     |                   |                            |                       |
| 1   | 1,459   | 1,444      | 1,522               | 1,431             | 1,464                      |                       |
| 2   | 1,871   | 1,943      | 1,987               | 1,738             | 1,885                      |                       |
| 3   | 1,367   | 1,347      | 1,446               | 1,303             | 1,366                      |                       |
| 4   | 1,999   | 1,928      | 2,104               | 1,846             | 1,969                      |                       |
| 5   | 1,638   | 1,618      | 1,724               | 1,595             | 1,644                      |                       |
| 6   | 1,345   | 1,35       | 1,394               | 1,272             | 1,340                      |                       |
| Линия геологического разреза №71 (западный борт)  |   |            |                     |                   |                            |                       |
| 1   | 1,444   | 1,413      | 1,51                | 1,41              | 1,444                      |                       |
| 2   | 1,259   | 1,274      | 1,328               | 1,208             | 1,267                      |                       |
| 3   | 1,779   | 1,779      | 1,869               | 1,66              | 1,772                      |                       |
| 4   | 1,143   | 1,124      | 1,175               | 1,07              | 1,128                      |                       |



**Рис. 3. Схема наиболее вероятных поверхностей скольжения на линии геологического разреза № 71 (западный борт)**

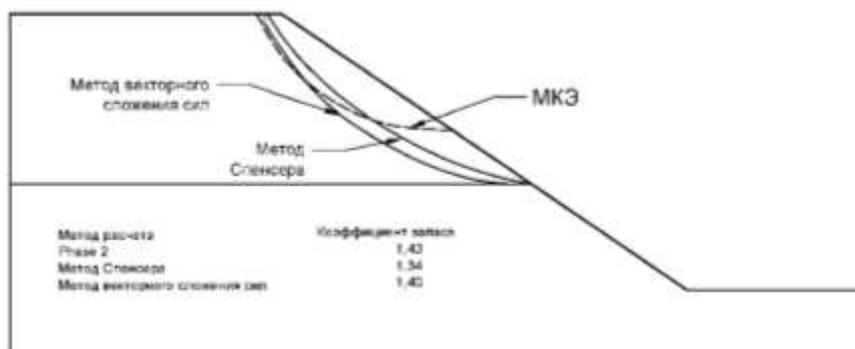
Исходя из полученных результатов расчетов видно, что значения коэффициента запаса устойчивости, полученные различными методами, отличаются друг от друга в пределах 10 – 15%. Южный, западный и восточный борты находятся в устойчивом состоянии с минимальным коэффициентом запаса устойчивости 1,350 у юго-западного борта и максимальным коэффициентом 1,726 у восточного борта карьера.

На линии разреза № 2 отдельные уступы на потенциально опасных участках бортов карьера находятся в неустойчивом состоянии и имеют коэффициент запаса устойчивости 0,937 и 0,960. Однако при визуальном обследовании данного участка борта каких-либо нарушений, деформаций или трещинообразования выявлено не было.

На геологическом разрезе № 71 в интервале горизонтов 230 – 315 м, где произошло обрушение уступов, при расчете классическими методами коэффициент запаса устойчивости составил 1,128, то есть уступы находятся в устойчивом состоянии, однако, в реальности это не так.

Исходя из полученных результатов расчета, можно сделать вывод, что классические методы алгебраического и векторного сложения сил, которые согласно существующим нормативным документам [8 – 9] необходимо выполнять для оценки устойчивости бортов карьеров, не всегда достоверно ее отражают.

В настоящее время все большее распространение приобретает метод математического моделирования. Однако в простых условиях результаты вычислений, полученные с помощью обоих методов, как правило, близки между собой (рис. 4) [15].



**Рис. 4. Поверхности скольжения в прибортовом массиве, полученные различными методами (МКЭ – метод конечных элементов) [15]**

Причина заключается в том, что математическое моделирование обычно не учитывает трещинообразование, которое в блочной напряженно-деформированной среде представляет собой очень сложный процесс, включающий как детерминированную, так и стохастическую составляющие [15–17].

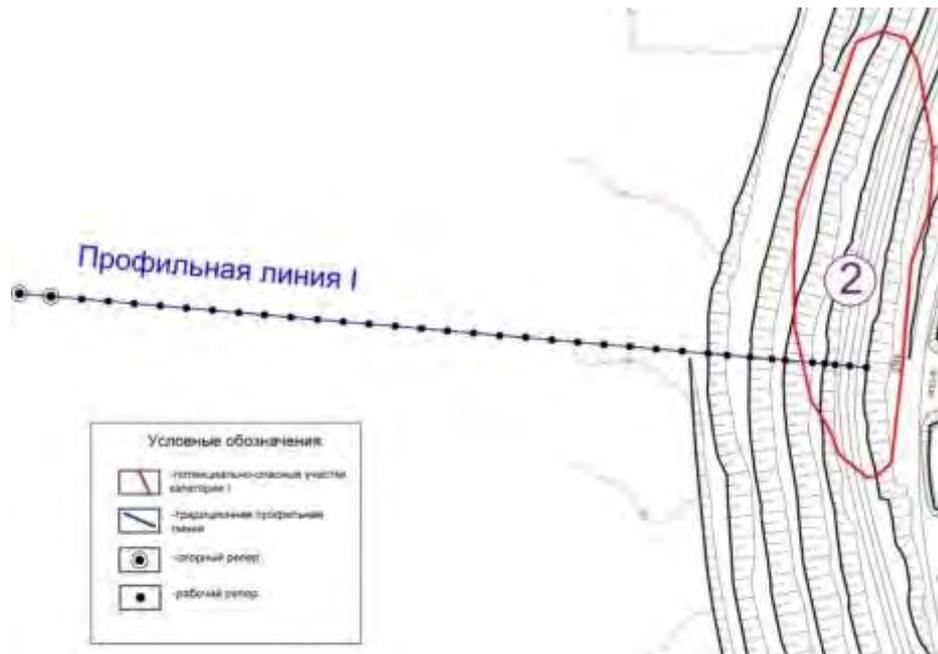
Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что причиной нарушения исследуемого участка борта карьера являются не низкие прочностные характеристики массива, а образование протяженных трещин сдвигового характера, вызванных дилатационными процессами деформирования в условиях повышенного сжатия в одном направлении и депрессией во втором, с нарушением первичной структуры массива горных пород.

Так как учет данного фактора является практически невозможным, то для обеспечения безопасного функционирования карьера необходимо проводить мониторинг деформаций прибортового массива в процессе разработки месторождения. Систематический контроль за состоянием уступов, бортов и территорий, прилегающих к карьере, является необходимым условием бесперебойной работы горного предприятия [18 – 19].

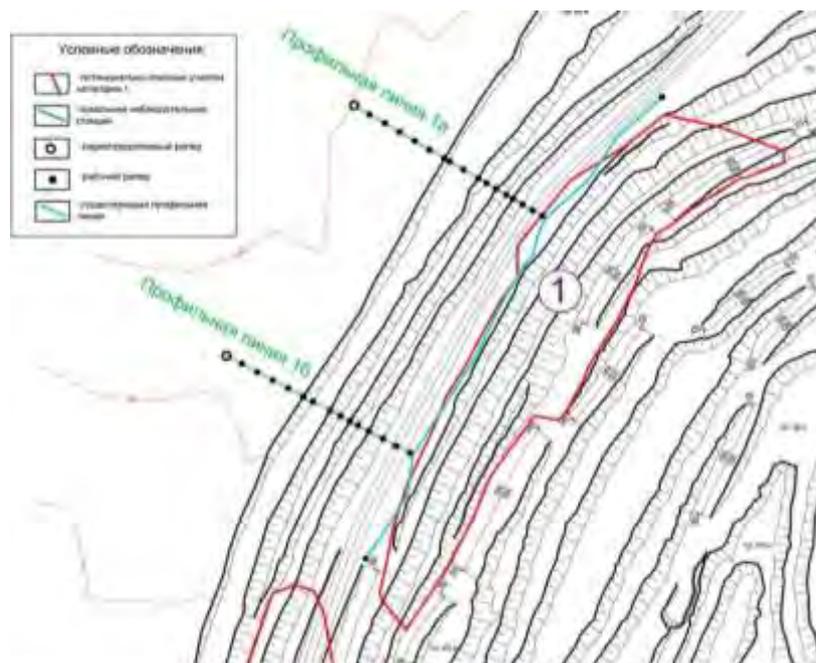
На основании требования нормативных документов [20], а также с учетом геомеханических условий отработки Киембаевского карьера, была разработана конструкция наблюдательной станции для мониторинга деформационных процессов (рис. 5). Наблюдательная станция построена по принципу от общего к частному и включает в себя существующий на территории месторождения геодинамический полигон, две традиционные профильные линии, а также две локальных наблюдательных станции (рис. 6 – 7). Реперы закладываются как на дневной поверхности, примыкающей к карьере, так и непосредственно в бермы уступов, поставленных на предельный контур. Систематические маркшейдерские наблюдения на разработанной наблюдательной станции позволят получать необходимую информацию о деформациях бортов карьеров, являющуюся основой для прогноза их устойчивости.



Рис. 5. Схема наблюдательной станции Киембаевского карьера



**Рис. 6. Схема Профильной линии I**



**Рис. 7. Схема локальной наблюдательной станции Северо-Запад**

### **Выводы**

Трещиноватый скальный массив представляет собой сложную иерархически-блочную среду. Учет всех факторов, оказывающих негативное воздействие на устойчивость бортов карьеров, является крайне сложной и зачастую невыполнимой задачей.

Классические методы расчета коэффициента запаса устойчивости (Фидоровско-го-Курилло, Филлениуса, Ямбу, Бишоп) и компьютерное моделирование не всегда

позволяют достоверно оценить устойчивость бортов карьера, особенно в трещиноватых тектонически напряженных скальных массивах.

Для обеспечения безопасного ведения горных работ необходимо проводить постоянный мониторинг деформаций прибортового массива в процессе разработки месторождения.

Наблюдения за состоянием прибортового массива далеко не всегда дают возможность предотвратить обрушения и оползни, но позволяют снизить возможный ущерб от них и особенно риск для людей, находящихся в карьере.

### Список литературы

1. Козырев А.А., Рыбин В.В. Геомеханическое обоснование рациональных конструкций бортов карьеров в тектонически напряженных массивах Козырев А.А., Рыбин В.В. // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2015. № 2. С. 245-250.
2. Рыбин В.В. Развитие теории геомеханического обоснования рациональных конструкций бортов карьеров в скальных тектонически напряженных породах // Горный институт Кольского НЦ РАН. Апатиты, 2016
3. Ericsson M. E&M's annual survey of global mining investment / Ericsson M., Larsson V. // *Engineering & Mining Journal*. -2013. -Vol. 214. No. 1. P. 28-33.
4. Сашурин А.Д. Механизм формирования аварийных ситуаций различного масштаба вследствие современных геодинамических движений / Сашурин А.Д., Панжин А. // *Черная металлургия*. -2017. № 1 (1405). С. 21-25.
5. Sashurin A.D. Innovative approaches to rock mass stability in mining high-grade quartz veins / Sashurin A.D., Panzhin A.A., Kharisov T.F., Knyazev D.Yu. // *Eurasian Mining*. -2016. № 2 (26). С. 3-5.
6. Исследование инженерно-геологических условий разработки и обоснование предельных углов наклона бортов карьера Киембаевского асбестового ГОКа: отчет о НИР / ИГД УрО РАН; рук. Сашурин А. Д., Яковлев А. В. - Екатеринбург, 2002. – 164 с.
7. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 178 с.
8. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 127 с.
9. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб., 1998. – 208с.
10. Исследование геомеханических условий, причин и закономерностей нарушения устойчивости бортов карьера ао «оренбургские минералы» и разработка мероприятий по безопасному ведению горных работ: отчет о НИР / ИГД УрО РАН; рук. Сашурин А. Д., - Екатеринбург, 2017. – 188 с.
11. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965.–378 с.
12. Я.Х. Хуан. Устойчивость земляных откосов. М.: Стройиздат, 1988.
13. Федоровский В.Г. Метод расчета устойчивости откосов и склонов / Федоровский В.Г., Курилло С.В. // *Геоэкология*, 1997, №6. — С. 95/106.
14. Федоровский В.Г. Метод переменной степени мобилизации сопротивления грунту для расчета прочности грунтовых массивов / Федоровский В.Г., Курилло С.В. // *Основания, фундаменты и механика грунтов*, 1998, № 4/5, С.18/22.

15. Цирель С.В. Проблемы и пути развития методов геомеханического обоснования параметров бортов карьеров / Цирель С.В., Павлович А.А. // Горный журнал. 2017. № 7. С. 39-45.
16. Кочарян Г. Г. Иерархия структурных и геодинамических характеристик земной коры / Кочарян Г. Г., Спивак А. А. // Геология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2002. № 6. С. 537-550.
17. Лукк А. А., Дещеревский А. В., Сидорин А. Я., Сидорин И. А. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. -М.: ОИФЗ РАН, 1996. -200 с.
18. Желтышева О.Д. Современные технологии мониторинга устойчивости бортов карьеров / Желтышева О.Д., Ефремов Е.Ю. // Маркшейдерия и недропользование. 2014. № 5 (73). С. 63-66.
19. Панжин А.А. Геодинамический мониторинг на Узельгинском месторождении / Панжин А.А., Сашурин А.Д., Панжина Н.А. // Маркшейдерия и недропользование. 2016. Т. 1. № 3 (83). С. 30-35.
20. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. – Л.: ВНИИ.1987. – 118 с.

УДК [622.1:528 + 550.3]:624.131.1

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ОПОЛЗНЕЙ В КОРШУНОВСКОМ КАРЬЕРЕ

ДАЛАТКАЗИН Т. Ш.  
Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** По мере повышения интенсивности освоения верхней части Земной коры, наблюдается рост количества аварийных деформаций горного массива на ответственных объектах недропользования, что определяет необходимость пересмотра идеологии проектирования, инженерно-геологических изысканий, внедрения в традиционный комплекс диагностики современных, разработанных на основании новых фундаментальных научных знаний, методов исследований.

Рассмотрены результаты инженерно-геологических исследований горного массива Северного борта Коршуновского карьера, где десятилетиями происходили оползневые процессы, причины которых оставались неразгаданными.

Комплекс диагностики, разработанный на основе синергетического подхода к изучаемому вопросу и исследование геодинамической ситуации с использованием современных научных технологий, позволил определить механизм формирования оползней и путь решения проблемы.

**Ключевые слова:** синергетика, самоорганизация, современная геодинамика; горный массив; оползень; разрывное нарушение; тиксотропия.

## STUDY OF THE MECHANISM FOR FORMING THE FELLOWS IN THE KORSHUNOVSKY CAREER

DALATKAZIN T. Sh.  
Institute of Mining, Ural Branch of the RAS

**Abstract.** As the intensity of development of the upper part of the Earth's crust increases, an increase in the number of emergency deformations of the mountain massif at critical subsoil use facilities is identified, which determines the need to revise the design ideology, engineering and geological surveys, introduce modern methods of diagnostics based on new fundamental scientific knowledge research.

The results of engineering-geological studies of the mountain massif on the Severnaya side of the Korshunovka quarry are considered, where landslide processes took place for decades, the causes of which remained unsolved.

The diagnostic complex, developed on the basis of a synergetic approach to the study subject and the study of the geodynamic situation using modern scientific technologies, made it possible to determine the mechanism of landslide formation and the way to solve the problem.

**Keywords:** synergetics, self-organization, modern geodynamics; massif; landslide; explosive violation; thixotropy.

### Введение

Опыт исследований неожиданных деформаций горного массива на объектах недропользования, как правило, выявляет синергизм формирования механизма подготовки и реализации аварийного события. Слово синергетика происходит от латинского слова «*sinergia*», которое означает совместное взаимодействие. Сегодня синергетику понимают как междисциплинарное знание, совокупность знаний о закономерностях самоорганизации, нелинейности, хаосе и порядке при изучении объектов, являющихся открытыми системами, взаимодействующими между собой и окружающей средой путем обмена энергией, информацией, веществом. Синергетика, также, изучает взаимосвязи различных факторов, определяющих процесс эволюции объекта, называемого самоорганизацией [1]. Использование принципов синергетики и новейших методов исследования в повседневной практике изысканий, позволит существенно повысить качество инженерно-геологического прогнозирования.

Показательным примером с точки зрения прикладного использования принципов синергетики в инженерной геологии являются исследования процесса оползнеобразования в Коршуновском карьере одноименного железорудного месторождения. Здесь в северо-западном борту карьера, периодически, начиная с 1975 года, происходят крупные оползни при углах наклона борта  $22^{\circ}$ . По всем расчетным оценкам скальные осадочные породы, слагающие этот борт, должны обеспечивать его устойчивость при углах  $28 - 30^{\circ}$  с нормативным запасом устойчивости 1.3. Взаимосвязь оползнеобразования с временами года отсутствует. Многочисленные исследования, выполненные по всем правилам традиционными методами, так и не раскрыли причины и механизм оползнеобразования.

В 2007 г. Институтом горного дела УрО РАН под руководством А.Д. Сашурина выполнена комплексная, разработанная на принципах синергетики, структурно-геодинамическая диагностика, по результатам которой, был, наконец, определен механизм формирования оползневого процесса и пути борьбы с ним.

#### **Геологические условия оползневого участка Коршуновского карьера**

Оползнеопасный участок расположен на Северном борту Коршуновского карьера в зоне широтного разлома, мощностью около 500 м. Северный борт Коршуновского карьера в верхней и средней части сложен слоистыми породами устькутской и верхоленской свит, а в нижней части туфогенными образованиями.

Породы устькутской свиты представлены чередующимися пачками толстослоистых известняков, известняковых песчаников и тонкоплитчатых разновидностей этих пород с прослоями алевролитов, аргиллитов, мергелей, глин. Отмечаются скарнированные жилы. В основании породы устькутской свиты имеют более низкие прочностные характеристики, чем вверху. Породы устькутской свиты залегают с углом падения  $10-12^{\circ}$  в сторону выработанного пространства карьера. На контуре карьера в нагорной части их мощность составляет 80-90м. (рис. 1).

Средняя часть Северного борта сложена породами верхоленской свиты: аргиллитами, алевролитами и мелкозернистыми песчаниками.

В нижней части Северного борта залегают, в основном, туфогенные образования. В тектонических зонах породы разрушены до состояния дресвы, брекчии, глины.

Глины отмечаются по всему разрезу Северного борта. Они заполняют межблочное пространство. Вещественный состав глин определяет их особенности и принципиально важен. По данным В. Г. Зотеева на Коршуновском месторождении глинистая фракция выветрелых пород представлена монтмориллонитом и гидрослюдами.

Характерным признаком минералов монтмориллонитовой группы ( $m\{Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2\} \cdot p\{Al,Fe\}_2[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot n H_2O$ ) является переменное содержание в них воды, сильно изменяющееся в зависимости от влажности окружающей среды. Вода легко проникает в кристаллическую решетку монтмориллонита, раздвигает ее и обуславливает сильную его набухаемость.

Гидрослюды являются промежуточным продуктом выветривания слюд. Разрушение кристаллической решетки слюд (на примере мусковита  $KAl_2(OH)2AlSi_3O_{10}$ ) происходит по схеме замещения ионов калия ( $K+I$ ) на связанные молекулы воды ( $H_2O$ ).

Кристаллическая структура гидрослюды незначительно отличается от структуры слюды и является переходной к структуре монтмориллонита. Имеет место переслаивание пакетов слюд с пакетами монтмориллонита.

Молекулы  $H_2O$  располагаются в межпакетных пространствах, т.е. проникают вдоль плоскостей, разграничивающих плоские пакеты кристаллической структуры. Каждый пакет с обеих сторон на внешних плоскостях содержит гидроксильные ионы и, следовательно, пакеты примыкают друг к другу по поверхностям. Поэтому, при проникновении воды происходит раздвижение этих пакетов. При этом межплоскостные расстояния кристаллической решетки могут колебаться в значительных пределах – от 9,6 до 28,4 А в зависимости от количества молекул  $H_2O$ , участвующих в кристаллической структуре минерала.

Таким образом, характерным признаком для монтмориллонита и гидрослюды является переменное содержание в них воды, сильно изменяющееся в зависимости от влажности окружающей среды – из-за особенности строения кристаллической решетки монтмориллонит и гидрослюды очень гидрофильны и, как следствие, тиксотропны. Под тиксотропией понимается физико-химическое явление, возникающее в дисперсных породах и выражающееся в их разжижении и практически полной потере прочности под влиянием внешних динамических воздействий и быстром восстановлении прочности при снятии внешних воздействий. Такие обратимые явления характерны для пород, обладающих структурными связями, обусловленных непосредственным взаимодействием частиц и агрегатов между собой. Эти связи отличаются малой прочностью, мобильностью и обратимостью. Степень тиксотропного разупрочнения зависит от внешних и внутренних факторов. К внешним факторам относятся параметры динамического воздействия на горный массив. К внутренним факторам относятся дисперс-

ность породы, ее минеральный состав и влажность. Тиксотропия проявляется под воздействием современных геодинамических процессов, взрывов, движения транспорта и т.д. [2; 3; 4].

В Северном борту карьера находится гидротехнический тоннель, по которому из карьерного поля отведена река Коршуниха. При обследовании тоннеля было установлено, что монолитная железобетонная крепь на участке разломной зоны трещинами разрыва разбита на отдельные секции длиной 7 – 10 м, из которых в тоннельное пространство поступают подземные воды, иногда фонтанируя под давлением. Это свидетельствует о высокой степени геодинамической активности разломной зоны.

По сведениям Н.И. Ермакова, очевидцы, непосредственно наблюдавшие оползни Северного борта карьера Коршуновского месторождения, отмечали, что они, по сути, являлись селями [5]. Для селеобразования определяющее значение имеют тиксотропность и плавучатость горных пород.

#### Методы исследований

Лабораторными испытаниями с использованием пенетрометра Разоренова установлено, что глинистые породы горного массива оползневой зоны (горизонт 345) и тела оползня, при влажности от 20% до 40% проявляют тиксотропные свойства с коэффициентами чувствительности от 1,05 до 1,97. Результаты испытаний приведены в таблице 1. Порода считается тиксотропной при значении величины тиксотропного упрочнения больше 1. Лабораторные испытания показали, что уже при влажности 0,200 д.е. порода, отобранная из оползня (переотложенный алеврит) обладает тиксотропными свойствами (величина тиксотропного упрочнения 1,96).

**Таблица 1 – Результаты лабораторных испытаний тиксотропных свойств пород**

| № пробы | Место отбора пробы       | Влажность, $W$ , д.е. | Плотность породы, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Удельное сопротивление пенетрации, мгновенное, кг/см <sup>2</sup> | Удельное сопротивление пенетрации через 10 суток, кг/см <sup>2</sup> | Величина тиксотропного упрочнения |
|---------|--------------------------|-----------------------|--|---|--|-----------------------------------|
| 1       | Северо-зап. борт, гор345 | 0,304                 | 1,94   | 0,20  | 0,21   | 1,05                              |
| 2       | Северо-зап. борт, гор345 | 0,341                 | 1,71   | 0,30  | 0,59   | 1,97                              |
| 3       | Из оползня               | 0,391                 | 1,69   | 0,19  | 0,20   | 1,05                              |
| 4       | Из оползня               | 0,360                 | 1,77   | 0,34  | 0,64   | 1,88                              |
| 5       | Из оползня               | 0,315                 | 1,85   | 0,14  | 0,23   | 1,64                              |
| 6       | Из оползня               | 0,200                 | 1,85   | 0,26  | 0,51   | 1,96                              |

*Примечание.* Испытания проводились из отсева фракции менее 2 мм, при заданной влажности.

Кроме того, проба № 1 при заданной влажности 0,4 д.е. приобрела свойства пльвуна. Даже при незначительном встряхивании наблюдалось разжижение породы.

*Геофизические исследования* структурных особенностей массива северо-западного борта выполнены с использованием методов ССП (спектральное сейсмопрофилирование), геоэлектрическим методом в варианте срединного градиента [6; 7]. С целью выявления подвижных разрывных структур и предварительного геодинамического районирования была выполнена эманационная радоновая съемка.

Радонометрия обладает уникальными для геодинамической диагностики возможностями, поскольку согласно современным научным представлениям, геодинамическая активность участвует в формировании поля радоновых эманаций. При этом ра-

донометрия фиксирует весь частотный диапазон современной геодинамической активности. Основными геодинамическими факторами формирования поля радоновых эманацй являются:

- разрыхление и разуплотнение пород, образование новых трещин, подновление и расширение уже существующих за счет современной геодинамической активности;
- активизация процесса эманирования радона в результате вибровоздействия на горные породы, вызванного полем напряжений в массиве.

Таким образом, интенсивность выделения радона определяется степенью современной геодинамической активности. Это позволяет использовать поле радоновых эманацй для обнаружения подвижных разрывных нарушений и районирования горного массива по степени современной геодинамической активности [ 8; 9; 10]

Согласно результатам радонометрических исследований в варианте эманацйонной съемки в оползневой зоне были выявлены две подвижные системы разрывных нарушений:

- с азимутом простирания  $355^\circ$ ;
- с азимутом простирания  $11^\circ$  (рис. 1).



**Рис. 1. Результаты радонометрических исследований на Северном борту Коршуновского карьера**

Согласно результатам электроразведки и спектрального сейсмопрофилирования массив горных пород в оползневой зоне имеет блочную структуру. Межблочные шовные зоны заполнены выветрелыми до глинистого состояния породами.

Наблюдения с применением *технологий спутниковой геодезии GPS* в районе оползневой зоны показали высокий уровень современной геодинамической активности.

Исследованиями последних десятилетий выявлены два вида современных геодинамических движений – трендовые и циклические, которые придают массиву горных пород земной поверхности постоянную подвижность, выступающую как естественная форма существования геологической среды.

Относительное перемещение блоков происходит по разрывным нарушениям.

Трендовые движения сохраняют на относительно продолжительных промежутках времени направление и скорость смещения. Трендовые движения, укладываемые в продолжительные геологические и исторические временные рамки, известны давно [11; 12; 13]

Работами Ю.О. Кузьмина (Институт физики Земли РАН) выявлены циклические геодинамические движения. Циклические движения имеют периодические знакопеременные изменения направления движения и характеризуются частотой циклов и амплитудой перемещения в цикле [14].

В районе Северного борта Коршуновского карьера короткопериодные циклические геодинамические движения вызывают до 20 – 25 циклических нагружений массива в час с амплитудами 0,2 – 0,3 МПа. Длиннопериодные циклические геодинамические движения обуславливают здесь изменения напряжений в массиве за годичный цикл до 0,3 – 0,5 МПа. А за 30-летний период изменения напряжений достигают 2 – 3 МПа.

*Анализ гидрогеологической ситуации* исследуемого массива показал, что на участке Северного борта сформировались условия для переувлажнения глинистых, характеризующихся склонностью к проявлению тиксотропии пород, межблоковых шовных зон горизонтальной и вертикальной ориентировки залегания.

#### **Результаты исследований**

По результатам комплексной диагностики была подтверждена гипотеза механизма оползнеобразования, наблюдаемого в пределах Северного борта карьера. Под влиянием современных короткопериодных геодинамических движений, переувлажнённые, характеризующиеся тиксотропным разупрочнением глинистые породы, заполняющие межблоковые пространства, находятся в неустойчивом, потенциально текучем состоянии. Далее, длинопериодные циклические нагружения в определенный момент, когда параметры системы приобретают «благоприятные» значения, в так называемой точке бифуркации, переводят подготовленный массив в селеобразные оплывины. Понятие бифуркация происходит от (от латинского «бифуркус» – развилка, двузубый). В точке бифуркации происходит изменение стратегии развития.

Таким образом, процесс оползнеобразования на Северном борту Коршуновского карьера определяется тремя факторами:

1. Увлажнение глинистых, склонных к тиксотропному разупрочнению, глинистых пород.
2. Воздействие на массив короткопериодных циклических геодинамических нагрузок, поддерживающих глинистые, гидрослюдисто-монтмориллонитовые породы в неустойчивом состоянии.
3. Периодические длинопериодные циклические геодинамические движения, как спусковой механизм, вызывают сползание подготовленного массива в виде масштабных оплывин.

Природа перечисленных факторов, формирующих оползневые процессы в Коршуновском карьере, позволяет реально воздействовать только на гидрогеологический режим с целью уменьшения увлажнения глинистых пород.

#### **Выводы**

В качестве причин оползней и обрушений предыдущими исследователями определялись все возможные факторы, сопровождающие рассматриваемую ситуацию, от структуры и свойств пород, слагающих оползневой участок, до техногенного увлажнения и воздействия массовых взрывов. Безусловно, все они имеют место и на проблемном участке, и на любом другом участке бортов карьера. Но, ни один из приведенных факторов сам по себе не является единственно определяющим. Так, рекомендованные

меры по стабилизации оползневого участка – приведение углов откоса борта и его уступов в соответствие с конкретными условиями данного участка (структурой, физико-механическими свойствами и др.); сооружение нагорной канавы для предотвращения увлажнения от ливневых и паводковых вод; проведение гидроизоляции трещин в нагорной части борта, препятствующей проникновению воды в массив; применение специальной технологии взрывных работ в приконтурной зоне, снижающей действие взрывов на массив пород законтурной области и др., не решили существа проблемы.

Использование принципов синергетики при анализе реальностей существования изучаемого массива, как сложной и открытой системы, находящейся в процессе самоорганизации, основанном на постоянном стремлении к устойчивому состоянию, определило гипотезу механизма оползнеобразования в Коршуновском карьере и конкретный, междисциплинарный состав комплекса применённой диагностики. Использование традиционных и современных научных методов исследований, разработанных на основе новейших фундаментальных знаний о процессах, происходящих в горном массиве, позволило подтвердить гипотезу механизма оползнеобразования на объекте исследований и пути борьбы с этой хронической, многолетней проблемой.

### Список литературы

1. Андреев А.А. Философские аспекты синергетики/ Вестник Южно-Уральского государственного университета// А.А. Андреев Вып. №21(121) 2008
2. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л.: Недра. 1970.-528с.]
3. Бетехтин А.Г. Курс минералогии / А.Г. Бетехтин// – ГНТИ литературы по геологии и охране недр. – Москва, 1956 г. – 558 с.
4. Далатказин Т.Ш. Литологические особенности горного массива г. Березовский в прогнозе активизации процесса сдвижения горных пород в случае затопления подземного рудника// Проблемы недропользования № 3(10) 2016 с. 5 – 8
5. Сашурин А.Д., Яковлев А.В., Ермаков Н.И., Панжин А.А., Наумов А.В. Роль тектонических деформаций породного массива в формировании оползневых явлений на Коршуновском карьере/А.Д. Сашурин, А.В. Яковлев и др. //Горн. информ.– аналит. бюл. – 2003.– №2.–с.193 – 196.
6. Сашурин А.Д., Мельник В.В., Панжин А.А. Решение задачи устойчивости бортов в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм карьеров/Инженерная защита//2015. №2(7) с.80 – 86
7. Мельник В.В. Исследование причин деформирования инженерных сооружений/ Горный информ.- аналит. бюл. 2014 № 2 с. 161 – 167
8. Далатказин Т. Ш. Взаимосвязь уровня радоновой эмиссии с современной геодинамикой и тектоническими зонами/ Т. Ш. Далатказин //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № 2. - С. 212 - 215.
9. Далатказин Т.Ш. Диагностика современной геодинамической активности горного массива при строительстве и эксплуатации ответственных объектов/Горный информ.-аналит. бюл.// 2005 №11 с. 120 – 123.
10. Далатказин Т.Ш., Коновалова Ю.П., Ручкин В.И. Экспериментальные исследования возможности использования радонотрии для геодинамического районирования./Литосфера. 2013. №3. С. 146 – 150.
11. Панжин А.А., Панжина Н.А. Мониторинг геодинамических процессов на предприятиях и урбанизированных территориях/Горный информ.-аналит. бюл. 2007. №3 с. 171 – 182

12. Панжин А.А. Диагностика геодинамической активности массива горных пород геодезическим методом/Сборник научных трудов междунар. конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли» – Новосибирск: ИГД СО РАН. 2004

13. Сашурин А.Д., Панжин А.А., Коновалова Ю.П. Исследование геодинамических процессов с применением GPS-технологий/ горный информ.-аналит. бюл. 2003. №7].

Усанов С.В. Геодинамические движения горного массива при техногенном воздействии крупного горно-обогатительного комбината/С.В. Усанов //Горный информ.-аналит. бюл. – 2011. № 11. – С. 248 – 255.

14. Кузьмин Ю. О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании / Ю. О. Кузьмин. – М.: Агенство экологических новостей, 1999. – 220 с.

УДК 622.837:528.482

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЪЕМНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

ХАРИСОВА О. Д.  
Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В статье рассмотрено современное состояние развития методов мониторинга подрабатываемых объектов, выполнен краткий обзор действующих нормативных документов. Отмечено, что существующий в настоящее время подход к оценке и прогнозу состояния подрабатываемых сооружений основан на вычислении и сопоставлении с допустимыми значениями линейных деформаций. Однако деформирование сооружений при подработке может иметь сложный пространственный характер, при котором традиционные инструментальные методы не всегда позволяют достоверно выявить и оценить параметры деформаций. Описан пример из практики автора, когда при небольших значениях относительных деформаций, в несколько раз меньших допустимых, полученных по результатам инструментальных наблюдений, фактическое состояние изучаемого подрабатываемого сооружения свидетельствовало о высоком уровне протекающих в нем деформационных процессов. Представлены методика и результаты исследования подрабатываемого сооружения методом наземного лазерного сканирования. Выявлены неравномерные горизонтальные перемещения крупных частей здания, послужившие основной причиной образования трещин в его конструкции, а также кривизна несущих стен сооружения. Подчеркиваются преимущества выполнения мониторинга объемных деформационных процессов. Отмечена необходимость обновления или дополнения действующей в России нормативной документации.

**Ключевые слова:** подработанные территории, подработка зданий и сооружений, деформации зданий и сооружений, пространственные деформации, мониторинг, инструментальные наблюдения, лазерное сканирование

## INVESTIGATION OF THREE-DIMENSIONAL DEFORMATION PROCESSES OF UNDERMINED BUILDINGS AND STRUCTURES

KHARISOVA O. D.  
Institute of Mining of Ural branch of RAS

**Abstract.** In the article the modern state of development of methods of monitoring of undermined objects is considered, the brief review of the acting regulations is made. It is noted that the current approach to assessing and prognosing the state of undermined constructions bases on the calculation of linear deformations and comparison of them with the critical values. However, the deformation of structures under the influence of mining can have a complex spatial character, when traditional instrumental methods do not always allow reliable identification and evaluation of deformation parameters. An example is described from the author's practice when at small values of relative deformations (several times lower than the critical ones) obtained from the results of instrumental observations, the actual state of the undermined construction indicated a high level of acting deformation processes. The technique and results of the study of undermined structure by the method of terrestrial laser scanning are presented. Irregular horizontal movements of large parts of the building were revealed, which were the main cause of cracking of its construction, as well as the curvature of the bearing walls of the structure. The advantages of performing monitoring of volumetric deformation processes are underlined. The necessity of updating or addition of the acting national regulations is noted.

**Keywords:** undermined territories, undermining of buildings and structures, deformations of buildings and structures, spatial deformations, monitoring, instrumental observations, laser scanning

### Введение

При ведении горных работ процесс сдвижения горных пород может распространяться на большие расстояния от выработки и охватывать значительные по площади территории. Здания и сооружения, попавшие в зону вредного влияния горных работ, получают повреждения различной степени опасности. Увеличение объемов добычи полезных ископаемых, рост темпов строительства, усложнение систем разработки и конструкций зданий и сооружений усугубили воздействие процесса сдвижения земной поверхности на расположенные на ней объекты. Особенно актуальна данная проблема для горнопромышленных регионов, когда в зоне негативного влияния горных работ оказываются целые районы и даже отдельные населенные пункты. Вопросами эксплуатации зданий и сооружений на подработанных территориях занимаются исследователи России [1-4], ближнего [5, 6] и дальнего зарубежья [7-9].

Для обеспечения безопасной эксплуатации подрабатываемых объектов необходимо выполнять комплекс мер охраны, одной из которых являются инструментальные наблюдения за состоянием сооружений [10]. В настоящее время порядок выполнения наблюдений за процессом сдвижения земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями регламентируется четырьмя нормативными документами, перечень которых представлен в табл. 1.

**Таблица 1 – Перечень действующих инструкций по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и подрабатываемыми объектами**

| № п/п | Наименование документов   | Год утверждения |
|-------|---|-----------------|
| 1     | Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и за подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях                    | 1987            |
| 2     | Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке на рудных месторождениях                             | 1986            |
| 3     | Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и подрабатываемыми зданиями и сооружениями на калийных рудниках Верхнекамского месторождения | 2014            |

|   |  |      |
|---|--|------|
| 4 | Инструкция по созданию наблюдательных станций и производству инструментальных наблюдений за процессами сдвижения земной поверхности при разработке нефтяных месторождений в регионе Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей | 2014 |
|---|--|------|

Указанные Инструкции предполагают организацию мониторинга сооружений по традиционному принципу. Оборудование наблюдательной станции производится путем закладки ственных реперов по периметру здания, как правило, на уровне фундамента, а также грунтовых реперов, располагаемых напротив ственных. Величина расстояния между реперами зависит от конструкции сооружения, а также его расположения в мульде сдвижения. Например, в зоне сосредоточенных деформаций (уступов) реперы располагаются на расстоянии 4-5 м друг от друга, что при большом количестве сооружений приводит к значительным затратам на оборудование наблюдательной станции. Кроме того, как показывает практика маркшейдерских наблюдений, обеспечить сохранность реперов на весь срок продолжительности процесса сдвижения (особенно при многократной подработке) зачастую бывает затруднительно.

#### **Методы исследования**

К настоящему времени разработано достаточно большое количество различных методов мониторинга сооружений, которые условно можно разделить на две группы: геодезические и негеодезические (Табл. 2). Первая группа методов позволяет определять величины как относительных, так и абсолютных вертикальных и горизонтальных смещений сооружений по отношению к знакам, установленным на некотором расстоянии от сооружений и принимаемым за практически неподвижные [11].

Результаты измерений методами второй группы дают величины относительной осадки или деформации. Приборы для подобных измерений, представляющие собой различные датчики, устанавливаются непосредственно на сооружении или внутри него, причем эти приборы перемещаются вместе с сооружением. К таким приборам относятся отвесы, инклинометры, деформометры, щелемеры, микрокренометры и др.

**Таблица 2 – Методы измерения деформаций сооружений**

| Группа методов  | Определяемые смещения/деформации | Методы/приборы  |
|-----------------|----------------------------------|---|
| Геодезические   | Абсолютные и относительные       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Нивелирование</li> <li>- Линейные измерения</li> <li>- Тахеометрия</li> <li>- GPS</li> <li>- Фотограмметрия</li> <li>- Лазерное сканирование</li> <li>и др.</li> </ul> |
| Негеодезические | Относительные                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Инклинометры</li> <li>- Деформометры</li> <li>- Щелемеры</li> <li>- Микрокренометры</li> <li>и др.</li> </ul>  |

Геодезические методы измерений являются основными и в большинстве случаев незаменимыми, как правило, именно их применение регламентировано нормативными

документами. Согласно действующим Инструкциям, указанным в Таблице 1, состав наблюдений включает в себя определение высотных отметок стенных реперов методом нивелирования, а также линейные измерения расстояний между ними. По данным этих измерений вычисляются деформации, допустимые величины которых для различных типов сооружений приводятся в Правилах или Указаниях по охране сооружений, разработанных для ряда бассейнов и отдельных месторождений России. Таких нормативных документов существует порядка трех десятков, их перечень содержится, например, в «Инструкции о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов...» [12].

Определение деформаций подобным методом производится только в двух направлениях – в вертикальном и в направлении профильной линии (интервала между реперами). Таким образом, существующий в настоящее время подход к оценке и прогнозу состояния подрабатываемых объектов основан на вычислении и сопоставлении с допустимыми значениями линейных деформаций. Данный подход является в большой степени упрощенным и обусловлен распространенными (и регламентированными нормативными документами) методами мониторинга деформационных процессов.

Однако, как показывает практика, деформации подрабатываемых объектов зачастую имеют сложный пространственный характер, и не могут быть достоверно оценены по результатам вычисления указанных линейных деформаций. Кроме того, традиционные методы наблюдений являются дискретными, то есть позволяют изучать смещения лишь отдельных точек сооружения. Расположение реперов наблюдательных станций позволяет определять деформации только оснований и фундаментов, но не всей несущей конструкции сооружения. Недостаточный учет пространственных деформаций сооружения, которые зачастую невозможно выявить в полном объеме в ходе традиционной геодезической съемки [5, 13], приводит к недостоверной оценке деформационного состояния его конструкции, что, в свою очередь, может привести к аварийным последствиям [14].

На современном уровне развития маркшейдерско-геодезические методы позволяют определять трехмерные деформации подрабатываемых объектов. Одним из наиболее прогрессивных существующих методов натуральных наблюдений является наземное лазерное сканирование. Несмотря на относительно недавнее появление, данная технология все шире применяется для решения различных маркшейдерских, геодезических, горнотехнических и других задач, в том числе и для мониторинга различных сооружений [15, 16].

Специалистами Института горного дела УрО РАН данный метод внедряется в практику маркшейдерских наблюдений за деформациями подрабатываемых объектов. В качестве одного из экспериментальных объектов было выбрано здание в г. Нижний Тагил Свердловской области – одного из старейших горнодобывающих регионов России. Добыча руды на территории Нижнего Тагила была начата еще в 18 в. и производится до сих пор. В зону влияния процесса сдвижения от ведения горных работ оказались вовлечены значительные по площади территории, на которых расположены различные промышленные и гражданские объекты.

Для мониторинга деформационных процессов на территории г. Нижний Тагил была оборудована многоуровневая наблюдательная станция, на которой сотрудниками ИГД в течение длительного периода времени выполнялись инструментальные наблюдения. Станция состояла из традиционных профильных линий, стенных реперов в сооружениях, а также площадного геодезического полигона [17].

Для выполнения сканирования было выбрано здание больницы, построенное в середине 50-х гг. 20 в., и в настоящее время испытывающее на себе влияние подземных горных работ. Кроме того, сооружение расположено в зоне влияния одного из главных тектонических нарушений Высокогорского месторождения – взбросо-сдвига «Средний», который проявляет постоянную геодинамическую активность как в подземных выработках, так и на поверхности.

Здание имеет вытянутую в плане форму и достигает 75 м в длину; центральная его часть двухэтажная, крылья – одноэтажные. При организации наблюдательной станции здание было оборудовано тремя стенными реперами (рис. 1), по которым в течении 6 лет проводились инструментальные наблюдения методом геометрического нивелирования, причем в последние 2 серии наблюдались лишь 2 репера, так как один из них оказался утрачен. Максимальные оседания за весь период наблюдений достигли 132 мм, однако, при этом относительные деформации близки к нулю, так как оседания реперов, расположенных в разных частях здания, были равномерными (расхождения в сериях достигали 2-4 мм). Несмотря на это, здание претерпевает активное трещинообразование, которое продолжает развиваться (рис. 2).



**Рис. 1. Схема сооружения и наблюдательной станции**



**Рис. 2. Трещины в подрабатываемом сооружении**

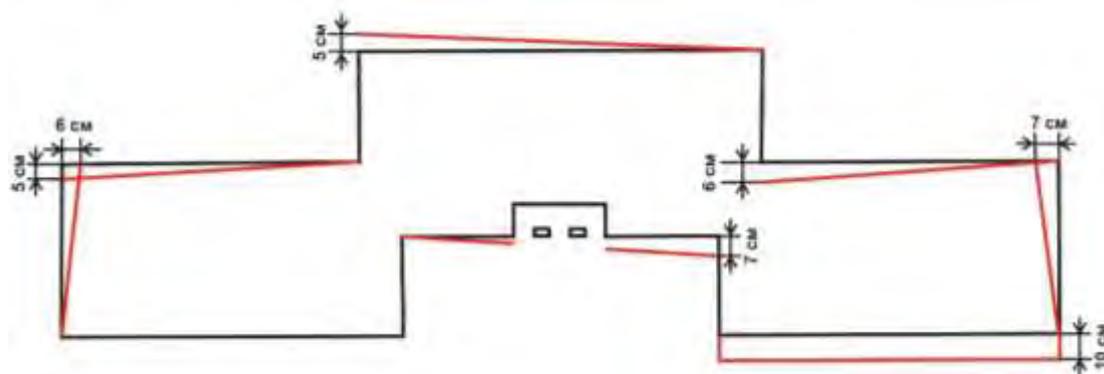
Лазерное сканирование было выполнено с 7 станций, положение которых было привязано тахеометром к опорным реперам G1 и G2, входящим в геодинамический полигон г. Нижний Тагил (рис. 1). Так как данные реперы также находятся в мульде сдвижения, их положение постоянно переопределяется GPS-методом в каждой серии наблюдений.

Последующая обработка данных сканирования включала в себя объединение сканов, полученных с различных точек стояния, фильтрацию лишних шумовых точек, а также моделирование. Объединение производилось с помощью специальных сферических марок, расположенных в зонах перекрытия облаков точек в количестве не менее трех. Средняя ошибка совмещения каждой пары связующих марок составила 8 мм. В результате было получено единое облако точек здания. Моделирование производилось путем аппроксимации наружных стен сооружения вертикальными плоскостями.

#### **Результаты исследования**

Для оценки деформаций изучаемого сооружения было выполнено проецирование облаков точек стен на построенные плоскости. В результате было установлено, что крылья здания обладают собственной кривизной, амплитуда которой достигает нескольких сантиметров, причем левое крыло имеет выпуклый вид, а правое – вогнутый.

Кроме того, был построен горизонтальный разрез здания (рис. 3), позволивший выполнить сравнение проектного и фактического контуров стен сооружения. Видно, что части сооружения имеют значительные смещения друг относительно друга. Максимальное смещение наблюдается у крыльев здания и достигает около 10 см.



**Рис. 3. Схема деформирования здания в плане**

Таким образом, причиной образования трещин в конструкции здания послужило неравномерное горизонтальное перемещение его крупных частей. Искривление стен также свидетельствует о том, что конструкция подрабатываемого сооружения испытывает сложный механизм деформирования, недоступный для контроля традиционными методами, но выявляемый по результатам трехмерного мониторинга.

#### *Заключение*

При определенных условиях деформирования подрабатываемых объектов применение традиционных методов мониторинга не всегда позволяет выявить наличие деформационных процессов и определить природу их появления и механизм развития.

Современные методы позволяют определять трехмерные деформации подрабатываемых объектов. Изучение пространственных деформаций сооружений дает возможность более полно оценить состояние их конструкций, способствуя повышению эффективности применения защитных мероприятий.

Необходимо также отметить несоответствие большинства действующих нормативных документов современному уровню развития маркшейдерско-геодезических технологий и необходимость их частичного или полного обновления или дополнения.

#### **Список литературы**

1. Численное моделирование усиления грунтового основания храма, расположенного на подработанной территории / Воробьев А. В., Фаизов И. Н., Кашеварова Г. Г. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2014. – Т. 10, №4. – С. 89-95.
2. Адаптивные модели краткосрочного прогноза оседания земной поверхности и определение наиболее неблагоприятного положения здания в мульде сдвижения / Воробьев А. В., Кашеварова Г. Г. // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №9. – С. 10-22. DOI: 10.5862/MCE.44.2
3. Оценка влияния подземных горных работ на состояние зданий и сооружений на земной поверхности на угольных месторождениях / Нестерова В. Ю., Барсуков И. В., Стрюков Ю. Н. // Уголь. – 2014. – №10. – С. 29-34.
4. Развитие методов оценки влияния горных работ на подрабатываемые здания и сооружения / Иофис М. А., Гришин А. В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – Отдельный выпуск №1. – С. 90-96.
5. Скашивание и скручивание земной поверхности при отработке пологих угольных пластов лавами неправильной формы и при подработке разрывов / Гаврилен-

ко Ю. Н., Петрушин А. Г., Маланчук Е. О. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Гірничо-геологічна. – 2007. – №6. – С. 30-43.

6. Воздействие подрботки на здания и сооружения / Лобов М. И., Морозова Т. В. // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – №6. – С. 110-114.

7. Gabriela Locality: Starting Geodetic Observations to Detect the Surface Manifestations from Undermining / Kajzar V., Doležalová H., Souček K., Staš L. // Acta Geodynamica et Geomaterialia. – 2012. – Vol. 9, No. 3. – P. 401-407.

8. Example Building Damage Caused by Mining Exploitation in Disturbed Rock Mass / Florkowska L. // Studia Geotechnica et Mechanica. – 2013. – Vol. XXXV, No. 2. – P. 19-37. DOI: 10.2478/sgem-2013-0021

9. Comparison of Building Damage Assessment Methods for Risk Analysis in Mining Subsidence Regions / Saeidi A., Deck O., Verdel T. // Geotechnical and Geological Engineering. – 2013. – Vol. 31, Issue 4. – P. 1073-1088. DOI: 10.1007/s10706-013-9633-7.

10. Меры охраны зданий и сооружений от подземных горных работ в карстующемся массиве / Желтышева О. Д., Драсков В. П., Усанов С. В. // Проблемы недропользования. – 2016. – №2. – С. 71-76. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.02.071

11. Брайт П. И. Геодезические методы измерения деформаций оснований и сооружений. – М.: Недра, 1965. – 298 С.

12. Инструкция о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок: Утв. Госгортехнадзором России, 07.09.96. – 26 с.

13. Особенности эксплуатации, обследования и обслуживания зданий на закарстованных территориях / Кобыща О. Е., Клевеко В. И. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – №1. – С. 18-33.

14. Технология мониторинга нелинейных деформаций зданий и сооружений / Желтышева О. Д., Ручкин В. И., Усанов С. В. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – №6. – С. 53-60.

15. Методика оперативного определения степени деформированности сооружений на основе 3D-сканирования / Овчаренко А. В., Медведев О. А. // Технологии гражданской безопасности. – 2015. – Т. 12, №2. – С. 54-59.

16. Методика определения перемещений пролетного строения моста в процессе его надвигки с применением наземного лазерного сканера в г. Новосибирске / Яшнов А. Н., Середович В. А., Иванов А. В. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013: IX Междунар. науч. конгр., 15 - 26 апр. 2013 г., Новосибирск; Междунар. науч. конф. "Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия": сб. материалов в 3 т. – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т. 1, №3. – С. 144-150.

17. Об особенностях проведения геодинамического мониторинга при разработке месторождений полезных ископаемых Урала с использованием комплексов спутниковой геодезии / Панжин А. А., Панжина Н. А. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – №6. – С. 46-55.

**УДК 624.001.25**

# О ПРОБЛЕМЕ АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ ИЗЫСКАНИЙ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

КАЮМОВА А. Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт горного дела УрО РАН

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** Проведен анализ требований существующей нормативной документации, регламентирующей составление проектной документации для районов развития природных и техноприродных процессов. Известно, что в соответствии с требованиями нормативных документов воздействие современных геодинамических движений земной поверхности на здания и сооружения подлежит исследованию до начала строительства. В статье указана недостаточность учета этого фактора при составлении документации как при строительстве, так и при эксплуатации опасных производственных объектов. На практике не рассматривается прогноз развития опасных природных и техноприродных процессов, который в целом оказывает большое влияние на безопасность проектируемого сооружения.

**Ключевые слова:** нормативная документация, экспертиза промышленной безопасности, опасный производственный объект, природный процесс, техноприродный процесс, инженерные изыскания, современные геодинамические движения.

## ABOUT THE PROBLEM OF ACTUALIZATION OF THE NORMATIVE DOCUMENTATION FOR THE SURVEYS IN THE AREAS OF DEVELOPMENT DANGEROUS NATURAL AND TECHNO-NATURAL PROCESSES

KAYUMOVA A. N.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mining of Ural Branch of RAS,

<sup>2</sup>Ural State Mining University

**Abstract.** The requirements of the normative documentation, reglamentaria preparation of project documentation for development areas of natural and human-nature processes are analyzed. It is known that in accordance with the requirements of normative documents the influence of modern geodynamic movements of the earth's surface is a subject to investigation for buildings and facilities to be examined prior to construction. The article mentioned failure to account for this factor when producing documentation for both construction and during operation of hazardous production facilities. In practice, does not consider the forecast of development of dangerous natural and techno-natural processes, which in general has a big impact on the safety of designed structures.

**Keywords:** normative documents, examination of industrial safety of hazardous production facility, a natural process, techno-natural process, engineering survey, modern geodynamic movements.

В большинстве случаев в результатах инженерно-геодезических изысканий не учитывается влияние современной геодинамики приповерхностной части литосферы и земной поверхности. Это становится особенно важным при проектировании опасных производственных объектов, к которым предъявляются повышенные требования безопасности. Во многом окончательный результат, а соответственно и учет всех факторов, оказывающих влияние на безопасность, зависит от экспертов, к которым документация поступает на экспертизу [1-2]. Организации, производящие изыскательные работы, делают акцент на проведение полевых работ и получение результатов измерений. В то же время интерпретационная часть проведенных работ, а именно влияние полученных измерений на динамику развития опасных природного и техноприродного процес-

сов, рекомендации по учету полученных результатов при строительстве, разработка дальнейшей стратегии для наблюдения за опасными процессами зачастую полностью отсутствует.

На этапе подготовки проектной документации проводятся инженерные изыскания с целью изучения природных условий и факторов техногенного воздействия для подготовки данных по обоснованию материалов для строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96» трактуют инженерные изыскания для строительства как вид градостроительной деятельности, осуществляемой с целью изучения природных условий и факторов техногенного воздействия для подготовки данных по обоснованию материалов для строительства и эксплуатации зданий или сооружений.

Инженерные изыскания для подготовки проектной документации должны обеспечивать получение:

- исходных данных для расчета оснований, фундаментов и конструкций,
- материалов о природных условиях территории, на которой будут осуществляться строительство, реконструкция объектов капитального строительства, и факторах техногенного воздействия на окружающую среду, о прогнозе их изменения;
- материалов для оценки опасных процессов и явлений, разработки проекта инженерной защиты и мероприятий по охране окружающей среды объекта.

Ранее одним из основных нормативных документов, регулирующих изыскательскую деятельность для строительства был СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». На базе его обязательных положений разработан СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства», а именно глава 10, регламентирующая проведение инженерно-геодезических изысканий в районах развития опасных природных и техноприродных процессов. Согласно этой главе, к ним относятся: склоновые процессы; карст; переработка берегов рек, морей, озер и водохранилищ; подвижки земной поверхности в районах разрывных тектонических смещений; деформации (смещения, наклоны) земной поверхности на подрабатываемых и подтопляемых территориях.

В настоящее время СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96» учитывает опасные природные и техногенные условия территории уже на подготовительной (начальной) стадии производства работ при подготовке программы инженерно-геодезических изысканий в соответствии с требованиями технического задания заказчика. Задание на выполнение инженерных изысканий для подготовки проектной документации помимо необходимой информации должно содержать требования оценки и прогноза возможных изменений природных и техногенных условий территории изысканий.

В этом же нормативном документе есть указания на то, что по отдельному заданию для строительства особо опасных и технически сложных объектов могут выполняться геодинамические исследования, включающие создание специальных геодезических сетей и наблюдения за современными вертикальными и горизонтальными движениями земной поверхности на геодинамических полигонах. Градостроительный кодекс РФ относит опасные производственные объекты к особо опасным и технически сложным объектам (ст. 48.1).

Дополнительно предусмотрено, что в случае выявления в процессе инженерных изысканий непредвиденных сложных или опасных природных и техногенных условий, которые могут оказать неблагоприятное влияние на строительство и эксплуатацию сооружений и среду обитания, исполнитель инженерных изысканий должен поставить застройщика или технического заказчика в известность о необходимости дополнительного изучения и внесения изменений и дополнений в программу инженерных изысканий и в договор в части изменения объемов, видов и методов работ, увеличения продолжительности и (или) стоимости инженерных изысканий.

В действительности специалисты изыскательских организаций, а тем более заказчики работ не всегда обладают специальными знаниями для правильной постановки задачи с указанием полного перечня работ для обеспечения промышленной безопасности проектируемого объекта. Каким образом это проявляется?

Исследование вопроса особенностей экспертизы промышленной безопасности документации выявило отсутствие интерпретационной части у большинства представленных на экспертизу результатов изысканий. В нормативной документации регламентирован состав технического отчета по результатам инженерно-геодезических изысканий, который должен содержать:

- инженерную цифровую модель местности с данными и оценками развития опасных процессов на территории изысканий;
- контроль устойчивости опорных пунктов геодезической сети и выбор исходных геодезических пунктов при уравнивании;
- конечные результаты наблюдений (горизонтальные и вертикальные смещения и т. п.) и другие данные о геодезических измерениях на объекте с оценкой точности в виде таблиц, графиков, профилей и др.;
- заключение о качестве конечных результатов геодезических наблюдений, их сравнение с расчетными результатами;
- заключение о характеристиках и интенсивности процессов;
- предложения по совершенствованию методов и технологии дальнейшего проведения инженерных изысканий.

Такой технический отчет составляют с привлечением специалистов, выполняющих инженерно-геологические (инженерно-геотехнические) изыскания.

На практике многие из указанных положений отсутствуют. Изыскательские организации не выполняют работы по диагностике геодинамической активности и сравнению параметров геодинамических движений и деформаций с допустимыми критериями объекта. Главные функции геодезических наблюдений: выявление разрывных тектонических смещений, получение количественных характеристик тектонических движений, оценка и прогнозирование их развития, а также наблюдение за разрывными тектоническими смещениями в период строительства и эксплуатации опасных производственных объектов для обеспечения условий их безаварийного функционирования – не выполняются в полном объеме.

При исследовании закономерностей формирования катастрофических геомеханических процессов для обеспечения безопасности объектов недропользования используются геодезические и геофизические методы. Исследованиями установлено, что ведущая роль в развитии широкого класса катастроф при недропользовании принадлежит современной геодинамической подвижности массива горных пород и его земной поверхности. Более подробно механизм формирования и реализации катастроф при недропользовании описан в трудах А. Д. Сашурина [3–6].

Анализ и интерпретация результатов инженерно-геодезических изысканий является важным этапом в исследовании опасных природных и техноприродных процессов, представляющим возможность прогнозирования дальнейшего поведения массива с учетом современных геодинамических движений. Методика производства и результаты исследований широко представлены научной общественности в следующих работах [4,6,7-8]. Есть много примеров строительства объектов разного назначения, созданных без учета геодинамической безопасности. Это разрушение атомного реактора Чернобыльской АЭС (1986 г.), обрушение кровли аквапарка «Трансвааль» в Москве (2004 г.), затопление калийного рудника в г. Березники (2006 г.), авария на Саяно-Шушенской ГЭС (2009 г.) [5], разрушение моста через Транссибирскую железную дорогу в г. Екатеринбург (2007 г.) [9-10]. Несмотря на то, что все перечисленные аварии по официальным версиям имеют свои разные причины, их объединяет одна исходная – воздействие современных геодинамических движений, диагностирование которых предусмотрено на стадии проведения проектных работ в соответствии с требованиями нормативных документов.

По состоянию на сегодняшний день нормативная база для изысканий пополнилась очередным документом: СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96», вступившими в силу с 1 июля 2017 г. Данный Свод правил представляющих собой пересмотр предыдущей версии СП 2012 года. У изыскателей возникает вопрос каким документом в работе необходимо сейчас руководствоваться? Оба свода правил 2012 и 2016 года действуют одновременно, но в перечне национальных стандартов и сводов правил в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» (Постановление Правительства РФ от 26 декабря 2014 года N 1521, с изменениями на 7 декабря 2016 года) значатся требования СП 2012 года. В этом случае необходимо руководствоваться обязательными пунктами СП 47.13330.2012 и добровольными пунктами свода правил 2016 года.

В обновленных СП 47.13330.2016 определен следующий порядок выполнения инженерных изысканий для подготовки проектной документации в районах развития опасных природных и техноприродных процессов.

На первом этапе – должны быть получены материалы и данные о природных условиях территории выбранной площадки и факторах техногенного воздействия для составления качественного прогноза развития опасных природных процессов и явлений и их воздействия на проектируемые здания и сооружения.

На втором этапе – уточняются характеристики природных условий в пределах сферы взаимодействия зданий и сооружений с окружающей средой с учетом принятых конструктивных решений. Результаты второго этапа выполнения инженерных изысканий должны обеспечивать получение необходимых материалов для:

- уточнения расчетных характеристик природных условий, полученных при инженерных изысканиях на первом этапе, и повышения их достоверности;
- расчета оснований, фундаментов и конструкций зданий и сооружений;
- составления количественного прогноза развития опасных природных процессов и явлений и их воздействия на проектируемые здания и сооружения.

Таким образом, требования нормативной документации устанавливают проведение изыскательских работ с оценкой (прогнозом) дальнейшего развития опасных природных и природно-техногенных явлений. На практике в настоящее время для проведения особо важных работ на ответственных и опасных объектах на практике приме-

няется так называемая схема предэкспертизы результатов изысканий, проведенных сторонней экспертной организацией на предмет соответствия требованиям, регламентирующим эту процедуру. Экспертной организацией может выступать специализированная научная организация, имеющая большой опыт исследований. Уже после положительного решения предварительной экспертизы документация передается на государственную экспертизу проектной документации и результатов инженерных изысканий. Если поставленная проблема существует из-за отсутствия высококвалифицированного персонала для проведения необходимых камеральных работ и интерпретации полученных результатов, то возможно дополнительно рассмотреть варианты решения проблемы в области обучения персонала: изучение современного научного опыта в области геодинамической безопасности и повышение заинтересованности сотрудников к получению качественных результатов исследований.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что комплексная оценка результатов инженерных изысканий современной геодинамики для опасных производственных объектов определяется законодательно, но не всегда учитывается на практике. Анализ документации, поступающей на экспертизу, показывает недостаточность проработки результатов изысканий для прогноза развития опасных природных и техноприродных процессов, а иногда и полное отсутствие таковой. В целях обеспечения безопасности нового строительства или эксплуатации уже существующих опасных производственных объектов необходимо проведение диагностики современной геодинамической активности осваиваемого и эксплуатируемого участка недр для оценки современных геодинамических движений и своевременного принятия мер по снижению риска и тяжести последствий возникновения катастроф.

### Список литературы

1. Каюмова А. Н. Роль экспертизы промышленной безопасности в снижении риска техногенных катастроф // Геомеханика в горном деле: докл. науч.-техн. конф. с междунар. уч. (1–3 октября 2013 г.). Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. С.240–243.
2. Каюмова А.Н. Особенности экспертизы промышленной безопасности строительной документации для районов развития опасных природных и техноприродных процессов // Известия ВУЗов. Горный журнал, № 8, 2017 – С.102-107.
3. Сашурин А. Д., Усанов С. В., Мельник В. В., Балек А. Е. Истоки формирования катастрофических геомеханических процессов на объектах недропользования // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. (5–13 апреля 2016 г.). Екатеринбург: УГГУ, 2016. С. 166–172.
4. Сашурин А. Д. Современная геодинамика и безопасность объектов недропользования // ГИАБ. 2010. № 10. С. 329–332.
5. Сашурин А. Д. Роль современной геодинамики в развитии природно-техногенных катастроф в среде недропользования // Геомеханика в горном деле: докл. науч.-техн. конф. (14–15 октября 2009 г.). Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. С. 158–164.
6. Сашурин А.Д., Балек А.Е., Панжин А.А., Усанов С.В. Инновационная технология диагностики геодинамической активности геологической среды и оценки безопасности объектов недропользования // Горный журнал. - №12 – 2017 – С. 16-20.
7. Ручкин В.И., Коновалова Ю.П. Изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды под воздействием комплекса естественных и техногенных геодинамических факторов на горнодобывающих предприятиях // Проблемы

недропользования. Сетевое периодическое научное издание. - № 1.- 2015. – С.32-37. Режим доступа <https://trud.igdur.ru/edition/4/5>

8. Усанов С.В. Коновалова Ю.П. Аварийные деформации зданий при строительстве перегонных тоннелей на урбанизированных территориях // Проблемы недропользования. Сетевое периодическое научное издание. - № 4.- 2016. – С.104-110. Режим доступа <https://trud.igdur.ru/edition/11/12>

9. Сашурин А. Д., Панжина Н. А. Влияние земных разломов на прочностные характеристики зданий и сооружений // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2010. № 1. С. 69–72.

10. Сашурин А. Д. Почему мост «опустил крылья» // Технадзор. 2009. №8. С. 20–22.

УДК 622.583.2

## ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТА КАРЬЕРА

ЗАМЯТИН А. Л.

Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В статье приведен пример выявления истоков и механизм нарушения устойчивости локального участка борта карьера с использованием современных технологий выявления структурных неоднородностей с помощью геофизических методов. Разработаны рекомендации по безопасному продолжению работ на деформирующейся и окружающих зонах борта карьера.

**Ключевые слова:** прогноз, массив горных пород, структурно-тектоническое строение, устойчивые параметры бортов карьера, безопасные условия ведения горных работ.

## THE STUDY OF THE STATE OF ROCKS TO ENSURE THE STABILITY OF PIT EDGES

ZAMYATIN A. L.

Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Abstract.** The article gives an example of the structure and method for breaking the stability of a local site using modern technologies of structural heterogeneities with the help of geophysical methods. Recommendations have been developed for the safe continuation of work on the deforming and surrounding zones of the quarry side.

**Keywords:** forecast, rock massif, structural-tectonic structure, stable parameters of quarry sides, safe mining conditions.

Безопасная эксплуатация объектов недропользования подразумевает постоянный контроль над массивом горных пород. Разработка месторождения открытым способом включает в себя не только отработку уступов, но и эксплуатацию путепроводов обеспечивающих непрерывную и безопасную отработку объекта недропользования. Повреждение некоторых путепроводов, таких как, автомобильная или железная дорога, трубопроводов по откачке воды со дна карьера, может привести к полному или частичному прекращению эксплуатации объекта недропользования. Перенос путепроводов, из зоны охваченной влиянием оползневых процессов, может повлечь за собой дополни-

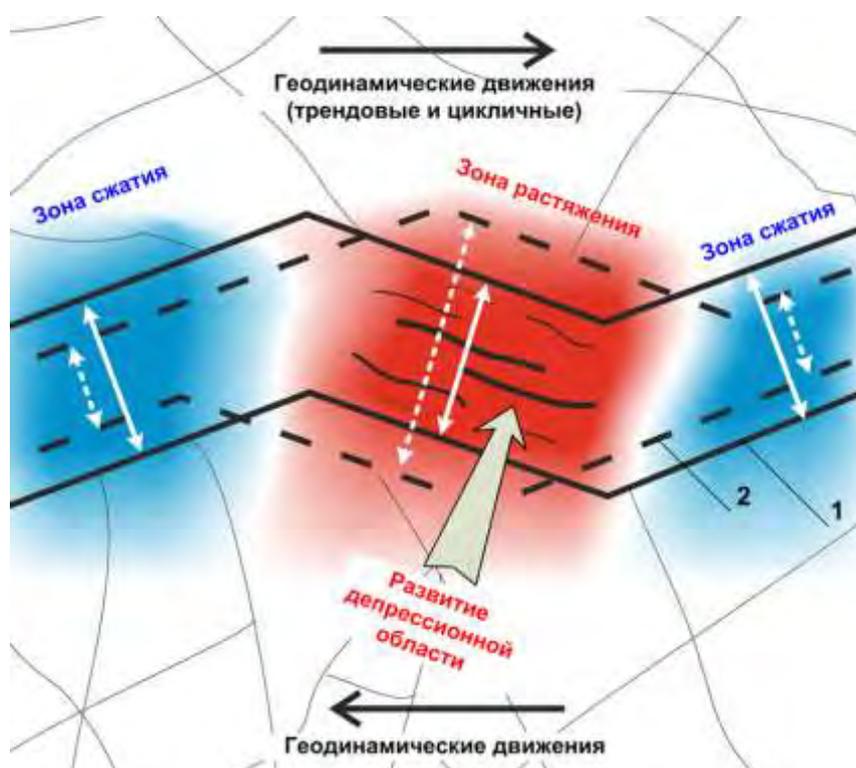
тельные финансовые и трудовые расходы, что в конечном итоге негативно скажется на эксплуатации объекта недропользования [1-3].

Объектом исследования является прибортовой массив горных пород одного карьера, на борту которого произошла локальная деформация. Целью исследований было выявить истоки и механизм нарушения устойчивости локального участка борта карьера и разработать рекомендации по безопасному продолжению работ на деформирующейся и окружающих зонах борта карьера. Задачи работы требовали изучить структурные особенности массива горных пород на аварийном и прилегающих участках борта карьера; и оценить степень влияния гидрогеологических условий на устойчивость борта на аварийном участке.

Методология проведения работы заключается в экспериментальной оценке напряженно-деформированного состояния массива горных пород борта карьера на аварийном участке, в полевых работах по изучению структуры массива горных пород геофизическими методами зондирования, в маркшейдерском мониторинге деформационных процессов на аварийном участке.

Приуроченность месторождения к региональной, а также внутриразломной тектонике определяют высокую геодинамическую активность массива горных пород, сопровождаемую неординарностью и изменчивостью напряженно-деформированного состояния массива горных пород во времени, создающими сложности в обеспечении устойчивости бортов карьера.

Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород производилось сотрудниками ИГД УрО РАН. Полные вектора горизонтальных смещений пунктов государственной геодезической сети за период от их оборудования до 2015 года, представляющие трендовые современные геодинамические движения за этот же период в районе разрабатываемого карьера. В картине их распределения по территории размещения месторождения и карьера следует отметить существенную для рассматриваемой проблемы деталь – встречную направленность векторов смещений. Подобная направленность имеет определяющее значение в формировании мозаичной структуры напряженно-деформированного состояния района ведения горных работ, в которой зоны концентрации напряжений чередуются с депрессионными зонами [1-3]. Принцип формирования мозаичной структуры схематично показан на рис. 1.



**Рис. 1. Схема формирования мозаичной структуры напряженно-деформированного состояния под воздействием встречных геодинамических движений**

Сорский медно-молибденовый карьер предприятие по добыче и переработке медно-молибденовых руд в Хакасской автономной области Красноярского края. Проектом развития Сорского карьера предусматривается вскрытие глубинной части рудного тела участка «Лагерный» на глубине более 400 м.

При таких глубинах эффективность открытой разработки напрямую зависит от углов откоса бортов карьера. Поэтому адаптация технологического процесса под горно-геологические и геомеханические условия месторождения, обеспечивающая максимальное использование геомеханических возможностей по формированию устойчивых бортов карьера, является решающим фактором эффективности разработки месторождения.

Вместе с тем, завышенные углы откосов таят в себе опасность развития деформаций и обрушений бортов карьера, при этом на восточном борту Лагерного участка Сорского карьера зафиксированы деформационные процессы, которые могут получить дальнейшее развитие.

Разрешение противоречия между повышением эффективности разработки и снижением уровня безопасности возможно только с использованием обоснованного уровня риска развития катастрофического события, требующего организации и проведения постоянного действенного мониторинга деформационных процессов в бортах карьера на всех этапах разработки. При этом следует принимать во внимание, что действенность и достоверность мониторинга при минимальных затратах на его проведение достигаются лишь в том случае, когда система мониторинга отстраивается с учетом конкретных особенностей развития деформационных процессов, концентрируясь на потенциально опасных участках.

Для изучения Лагерного участка был проведен комплекс геофизических исследований направленных на изучение геомеханических условий борта карьера в районе современных геодинамически активных тектонических разломов. Комплексование методов позволяет повысить достоверность полученных результатов путем их сравнения и взаимного дополнения [4,5]. Для получения наиболее полной информации об исследуемом массиве проведены полевые инженерно-геофизические работы по уточнению структурно-тектонического строения массива горных пород до глубины 200 метров методом спектрального сейсмопрофилирования (ССП) и площадные исследования методом срединного градиента (МСГ).

Электроразведочные работы на исследуемом участке производились методом срединного градиента (МСГ) для изучения площадного геологического и структурно-тектонического строения. В основу интерпретации геоэлектрических параметров для построения геологического разреза положены многочисленные параметрические наблюдения, материалы предыдущих электроразведочных работ и справочные данные.

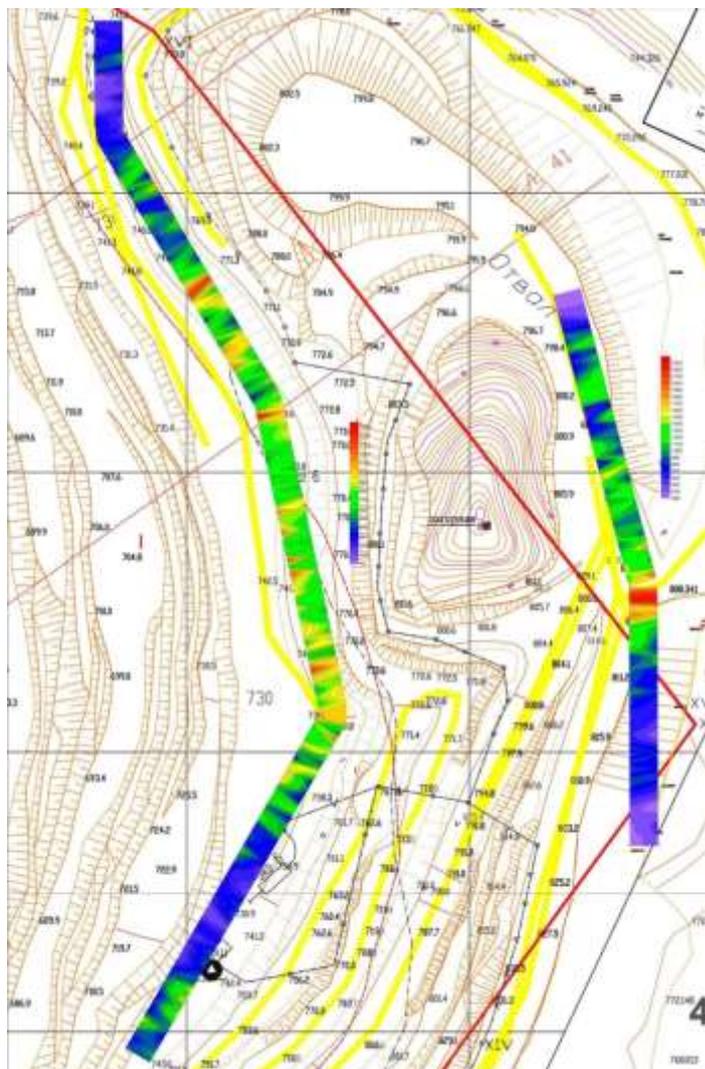
Метод срединного градиента (МСГ) позволяет на конкретном разное питающих электродов “А” и “В”, неизменном на протяжении всего процесса измерений, изучить распределение удельного электрического сопротивления по площади. Полученные на местности разности потенциалов пересчитываются в параметр кажущегося удельного электрического сопротивления [6-7].

Особенностью метода срединного градиента является возможность получения достаточно информативной картины только в случае проведения исследований по двум и более профильным линиям на планшет. В этой связи на данном объекте для исследования были выбраны два участка, на верхней берме карьера (гор. 800 м) и на горизонте 740 м.

Всего было пройдено 2 планшета длиной 400 м (верхний планшет) и 800 м (нижний планшет), количество профилей на каждом планшете 2, шаг профиля составлял 5 метров. При обработке полевых исследований каждый профиль был посчитан отдельно для уменьшения влияния превышений.

В результате проведенных исследований получена геоэлектрическая модель борта карьера (рис. 2).

Аппаратурно-методический комплекс ССП позволяет выявлять зоны тектонических нарушений (ЗТН), а также зоны повышенной трещиноватости. В основе прогнозирования надежности и безопасной эксплуатации объектов недропользования с помощью метода ССП лежит принцип уменьшение несущей способности грунта есть следствие увеличения нарушенности пород, которое происходит в зонах тектонических нарушений. Процесс увеличения нарушенности пород в зонах разрывных тектонических нарушений идет снизу вверх, с очень больших глубин. Зоны повышенной трещиноватости формируются в результате разного рода подвижек. В первую очередь, источником и стимулятором постоянно протекающих микроподвижек в осадочных породах являются находящиеся в породах кристаллического фундамента тектонические нарушения. В связи с этим, метод ССП оказался инструментом, с помощью которого могут выявляться зоны тектонических нарушений [6].



Всего было пройдено 20 профилей различной длины, в зависимости от бермы. Шаг профиля в среднем составил 4 метра, точная привязка каждого профиля проводилась с помощью спутниковых систем GPS.

Интерпретация результатов измерений проводилась на основании опыта проведения подобных исследований на многих карьерах Урала и Сибири, с учетом

**Рис. 2. Геоэлектрическая модель участка работ**

рекомендаций производителя оборудования [5,6].

Как показали результаты исследований методом спектрального сеймопрофилирования, на большинстве профилей присутствуют структурные нарушения, на исследуемом участке они дублируют друг друга выше и ниже по уступам.

На рисунке 3 приведена совмещенная схема структурных особенностей, созданная по результатам электроразведки и спектрального сейсмозондирования массива. На ней синим цветом выделена периферийная зона общей области структурной нарушенности. Внешняя ее граница, соответствует границе месторождения, образующего тектоническое нарушение, имеющее субширотное простирание с небольшим отклонением к юго-востоку. Внутри нее, по данным электроразведки, отстроена дополнительная зона структурной неоднородности, в которой чередуются породы с разной степенью нарушенности.

Таким образом, массив горных пород восточного борта Лагерного участка, представляя собой в целом деструктурированные породы, по степени структурной нарушенности разделяется на граничные зоны, где нарушенность относительно однородна, и центральную зону, в которой чередуются породы с разными уровнями структурной нарушенности.

Проведенный комплекс исследований, включающий полевые экспериментальные работы, позволил произвести оценку проектных решений с учетом конкретных геомеханических условий.



**Рис. 3. Совмещенная схема структурных неоднородностей приборного массива по всем исследованиям**

Предельное состояние устойчивости восточного борта требует постановки мониторинга за изменениями напряженно-деформированного состояния и развитием деформационных процессов. Контроль за изменением напряженно-деформированного состо-

яния рекомендуется проводить путем слежения за смещениями пунктов полигонометрии методом спутниковой геодезии. Мониторинг деформационных процессов восточного борта рекомендуется осуществлять методом объемного лазерного сканирования.

В заключение следует отметить, что грамотный профессиональный подход к вопросам обследования горных выработок шахт, уступов и бортов карьеров, может значительно сократить капитальные затраты и повысить безопасность отработки месторождений полезных ископаемых.

#### Список литературы

1. Далатказин Т.Ш. Прогнозные исследования последствий затопления Турьинского медного рудника / Т.Ш. Далатказин, Т.Ф. Харисов // Проблемы недропользования. - 2017. № 3(14). С.67-75.
2. Желтышева О.Д. Меры охраны зданий и сооружений от подземных горных работ в карстующемся массиве / О.Д. Желтышева, С.В. Усанов, В.П. Драсков // Проблемы недропользования. - 2016. – №2(9). – С. 71-76.
3. Мельник В.В. Исследование структурных особенностей массива горных пород в окрестности подземных сооружений / В.В. Мельник, А.Л. Замятин // Известия вузов. Горный журнал. Екатеринбург. -2008. -№8. – С.165-171.
4. Усанов С.В., Мельник В.В., Замятин А.Л. Мониторинг трансформации структуры горного массива под влиянием процесса сдвижения [Текст] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 6. С. 83-89.
5. Замятин А.Л. Исследование состояния массива горных пород при строительстве и эксплуатации объектов недропользования [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №S11 – С. 100-106.
6. Замятин А.Л. Исследование геодинамической активности геофизическими методами [Текст] // Горный журнал. – 2012. – №6 – С. 312-315.
7. Замятин А.Л. Экспериментальные исследования состояния массива горных пород на объектах недропользования [Текст] // Сетевое периодическое научное издание «Проблемы недропользования» – 2014. – №2 – С. 29-33.

*Исследования выполнены в рамках Программы ФНИ №136 тема 0405-2015-0012*

УДК 622.235

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗОНЫ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ПРИ ВЗРЫВЕ СФЕРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

НУРИДДИНОВ Ф. А.

Навоийский государственный горный институт, Узбекистан.

**Аннотация.** Энергетическую теорию взрывного процесса в грунтовом массиве можно рассматривать в следующем виде: при взрыве заряда, помещенного на достаточной глубине, на стенки зарядной камеры оказывает действие чрезвычайно высокое давление, вызывающее ударную волну, влияние которой проявляется в весьма небольшой промежуток времени.

**Ключевые слова:** заряд, стенки зарядной камеры, выработка, сферическая поверхность, сферический заряд, грунт, объемный вес.

## DETERMINATION OF THE SIZE OF THE GROUND SEALING ZONE IN THE EXPLOSION OF A SPHERICAL CHARGE

NURIDDINOV F. A.

Navoi State Mining Institute

**Abstract.** The energy theory of the explosive process in a soil massif can be viewed in the following form: when an explosion is placed at a sufficient depth, the action of an extremely high pressure on the walls of the charging chamber exerts an extremely high pressure, causing a shock wave whose effect manifests itself in a very short time.

**Keywords:** charge, walls of the charging chamber, production, spherical surface, spherical charge, ground, volumetric weight.

Вследствие кратковременности процесса взрыва действие его можно принять мгновенным, т.е. время передачи энергии в среде равно нулю; можно также принять, что среда обладает малой подъемной сжимаемостью.

На основании этих допущений действие взрыва в грунтовом массиве при образовании открытых горных выработок можно описать следующим образом. Движение среды за фронтом ударной волны под действием высоких давлений приводит к сжатию ее с одновременным увеличением геометрических размеров зарядной камеры. При достижении средой предельного расширения вследствие понижения давления происходит ее обратное движение, в результате чего, кроме радиальных трещин, на стенках боковых выработок образуются кольцевые трещины. Вблизи места взрыва обратное движение среды приводит к дополнительному сжатию, образуя уплотненные зоны в боковых выработках.

Рассмотрим изменение скорости  $v$  некоторой точки среды на расстоянии  $R$  от центра заряда. При этом силами трения и сцепления необходимо пренебречь, что вполне допустимо при небольших расстояниях от центра взрыва и чрезвычайно больших давлений.

На основании изложенного выше можно построить скоростное поле, исходя при этом из положений кинетической теории, что «через любую сферическую поверхность радиуса  $R$ , проведенную вокруг заряда радиусом  $R_0$ , в единицу времени проходит такой объем материала, каков объем газов, вышедших за пределы начальных границ заряда» [1], т.е.

$$4\pi R^2 v = 4\pi R_0^2 v_0,$$

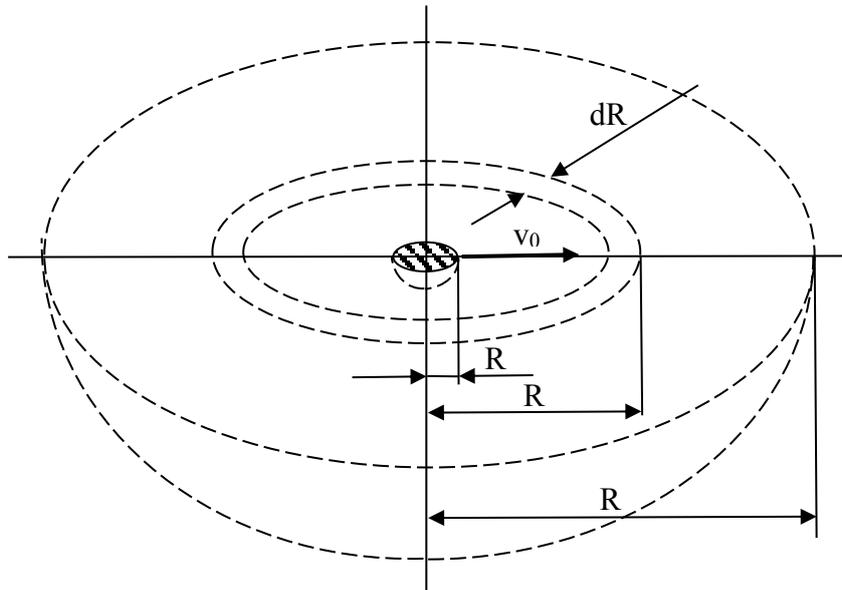
или

$$v = v_0 \left( \frac{R_0}{R} \right)^2, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость частиц грунта на расстоянии радиуса  $R$ , м/с;  $v_0$  – скорость частиц грунта на поверхности заряда, м/с;  $R$  – расстояние от центра заряда до данной точки, м;  $R_0$  – радиус заряда, м.

Согласно выражению (1) наибольшая скорость  $v_0$  будет соответствовать скорости частиц грунта, непосредственно соприкасающихся с продуктами взрыва, а наименьшую скорость  $v$  будут иметь частицы грунта, расположенные на расстоянии  $R$ .

Рассмотрим расчетную схему действия сферического заряда в грунтовой массе, приведенной на рис. 1.



**Рис. 1. Расчетная схема действия взрыва сферического заряда**

По данной схеме определим величину кинетической энергии слоя грунта внутри радиуса  $R$ . Для этого определим запас энергии сферического слоя толщиной  $dR$  и введем следующие обозначения: поверхность сферы –  $4\pi R^2$ ; плотность среды (грунта) –  $\rho_{гр}$ ; радиус сферического заряда –  $R_0$ .

Тогда элементарный объем массы составит

$$dm = 4\pi R^2 \rho_{гр} dR,$$

а кинетическая энергия элементарного объема  $dE$  будет

$$dE = \frac{dmv^2}{2} = 2\pi R^2 v^2 \rho_{гр} dR.$$

Следовательно, кинетическую энергию массы грунта на расстоянии  $R_1$  можно определить из выражения

$$E = \int_{R_0}^{R_1} \frac{dmv^2}{2} = 2\pi \rho_{гр} v_0^2 R_0^2 \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_1} \right),$$

или

$$E = 2\pi \rho_{гр} v_0^2 R_0^2 \left( \frac{R_1 - R_0}{R_1} \right).$$

Так как  $R_1 > R_0$ , можно принять, что

$$\frac{R_1 - R_0}{R_1} \cong 1.$$

Обозначив через  $\gamma_{\text{вв}}$  объемный вес ВВ ( $\text{кг/м}^3$ ), а через  $Q$  – энергию единицы веса ВВ ( $\text{кгм/кг}$ ), получим выражение для определения кинетической энергии, выделившейся при взрыве заряда ВВ

$$E = \frac{4}{3} \pi R_0^3 \gamma_{\text{вв}} Q.$$

Приравняв кинетическую энергию массы грунта энергии, выделяемой при взрыве заряда ВВ, получим

$$\frac{4}{3} \pi R_0^3 \gamma_{\text{вв}} Q = 2\pi \rho_{\text{сп}} v_0^2 R_0^3 \left( \frac{R_1 - R_0}{R_1} \right). \quad (2)$$

Так как  $\frac{R_1 - R_0}{R_1} \cong 1$ , из уравнения (2) определим скорость частиц грунта на поверхности заряда

$$v_0 = \sqrt{\frac{2\gamma_{\text{вв}} Q}{3\rho_{\text{сп}}}}. \quad (3)$$

Подставив значение  $v_0$  из выражения (3) в формулу (1), получим

$$v = \sqrt{\frac{2\gamma_{\text{вв}} Q}{3\rho_{\text{сп}}} \left( \frac{R_0}{R} \right)^2}. \quad (4)$$

Плотность среды (грунта) может быть выражена как:

$$\rho_{\text{сп}} = \frac{\Delta}{g} \quad [\text{кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4], \quad (5)$$

где  $\Delta$  – объемный вес грунта в естественном состоянии,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ .

Подставив выражение (5) в уравнение (4), получим

$$v = \sqrt{\frac{2\gamma_{\text{вв}} Q g}{3\Delta} \left( \frac{R_0}{R} \right)^2}. \quad (6)$$

По выражению (6) можно определять скорость частиц среды на различном расстоянии от центра взрыва.

Известно, что объемный вес грунта зависит от минералогического состава, пористости и влажности; при изменении этих компонентов будет изменяться величина  $v$ , определяемая по выражению (6).

Пользуясь выражением (6), определим радиус заряда  $R_0$

$$\frac{R_0^2}{R^2} = \frac{v}{\sqrt{\frac{2\gamma_{\text{вв}} Q g}{3\Delta}}},$$

Откуда

$$R_0 = 0,625 \frac{\sqrt{v} R}{\sqrt{\frac{\gamma_{\text{вв}} Q}{\Delta}}}.$$

Разрушение среды возможно в случае, если скорость перемещения частиц грунта в соответствующих условиях будет больше некоторой критической величины  $v_{\text{кр}}$ . Принимая, что  $v=v_{\text{кр}}$ , окончательно получим

$$R = \frac{R_0 \sqrt{\frac{\gamma_{BB} Q}{\Delta}}}{0,625 \sqrt{v_{кр}}}$$

Таким образом, установлено, что величина зоны уплотнения грунта взрывом сферического заряда изменяется прямо пропорционально радиусу заряда, энергетическим показателям промышленных ВВ и обратно пропорционально критической скорости разлета частиц грунта.

#### Список литературы

1. Бибик И.П., Рубцов С.К., Сытенков Д.В. Управление взрывной подготовкой пород технологических потоках карьеров. – Ташкент: Фан, 2008.-399 с.
2. Мальгин О.Н., Рубцов С.К., Шеметов П.А., Шлыков А.Г. Совершенствование технологических процессов буровзрывных работ на открытых горных работах. Изд. «ФАН» АН РУз, 2003, 199 с
3. Мальгин О.Н., Сытенков В.Н., Рубцов С.К. Оптимизация типов взрывчатых веществ для карьера Мурунтау // Записки горного института, том 148 (часть 1), Санкт-Петербург, 2001, 197-199 с.
4. Бибик И.П., Лунин С.В., Джос В.Ф. Взрывание высоких уступов в карьере Мурунтау // Горный журнал - 2007-№ 5, 52-54 с.

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

---

УДК 330.15

## УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ КАК ВАЖНЕЙШАЯ ПРОБЛЕМА СОВРЕМЕННОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

КОВАЛЕВ Р. Н., ПОПОВ А. М.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Интенсивность загрязнения окружающей среды промышленными отходами, бытовым мусором и отбросами растет быстрее, чем население планеты, что представляет собой, наряду с другими факторами, угрозу цивилизации. В России ежегодно образуется более 60 млн. тонн твердых коммунальных (бытовых) отходов (ТКО), что составляет около 400 кг отходов на 1 человека в год. Из них в хозяйственный оборот вовлекается только около 7-8% собираемых ТКО, остальной их объем направляется на захоронение. Вторичное использование отходов – наиболее ресурсосберегающий путь, но пока не всегда рентабелен как в экономическом, так и в экологическом плане.

**Ключевые слова.** Твердые отходы, способы утилизации, комплексная стратегия и уровни подготовки и переработки.

## UTILIZATION AND PROCESSING OF SOLID WASTE AS THE MOST IMPORTANT PROBLEM OF MODERN CIVILIZATIONS

KOVALEV R. N., POPOV A. M.  
Ural State Mining University

**Abstract.** The intensity of environmental pollution by industrial waste, household garbage and garbage grows faster than the population of the planet, which is, along with other factors, the applications of civilization. In Russia, more than 60 million tons of solid municipal (household) waste (TCO) are generated, which is about 400 kg of waste per person per year. Of these, only about 7-8% of the collected TCOs are involved in the economic circulation, the rest of their volume is directed to the disposal. Secondary use of waste is the most resource-saving way, but it is not always economically viable either economically or ecologically.

**Keywords:** solid waste, disposal methods, integrated strategy and levels of preparation and processing

Одной из растущих угроз для устойчивости экологических систем в мире в настоящее время является «мусорный кризис». Он обусловлен тем, что интенсивность загрязнения окружающей среды промышленными отходами, бытовым мусором и отбросами растет быстрее, чем население планеты. Отсюда десятки миллиардов тонн промышленных отходов, сотни миллионов тонн бытовых отходов и мусора образуются на поверхности нашей планеты, включая дно поверхностных водоемов. Все это отрицательно влияет на экологию окружающей среды, ухудшает качество жизни населения и не принятие своевременных мер в этой области, наряду с другими глобальными факто-

рами, грозит необратимыми последствиями для экологии планеты и потере ее устойчивого развития [11].

Исторически на государственном уровне объектом первоочередного контроля и регулирования являлись массовые промышленные и коммунальные выбросы жидких и газообразных отходов, дающие значительные загрязнения воды и воздуха, в то время как твердые отходы всегда можно было увезти подальше или закопать, попросту тем или иным способом убрать "с глаз долой", например, в прибрежных городах они довольно часто просто сбрасывались и сбрасываются в море. В частности, в России ежегодно образуется более 60 млн. тонн твердых коммунальных (бытовых) отходов (далее ТКО), что составляет около 400 кг отходов на 1 человека в год. Из них в хозяйственный оборот вовлекается только около 7-8% собираемых ТКО, остальной их объем направляется на захоронение. Низкий процент утилизации (использования) ТКО связан с недостаточным развитием инфраструктуры: в настоящее время в России функционирует 243 комплекса по утилизации (использованию) отходов, 53 комплекса по сортировке отходов, около 40 мусоросжигающих заводов. При этом система сбора и анализа статистической информации о ТКО охватывает не все источники их образования, отсутствуют средства объективного учета количества образующихся ТКО [2,13].

Основные отличия экологической ситуации в России по сравнению с западными странами обусловлены влиянием факторов, которые имеют чисто российское происхождение. Столь низкий процент переработки ТКО обусловлен рядом следующих причин:

а) ликвидирована система заготовки и переработки «вторичного сырья», которая функционировала в СССР, а надлежащая система управления деятельностью по обращению с ТКО за «постсоветский» период не создана;

б) произошел скачкообразный рост потребления населением, особенно городским, товаров (продукции), которые после утраты своих потребительских свойств относятся к ТКО, а также резкого увеличения количества упаковочных отходов;

в) инфраструктура по раздельному сбору, утилизации (использованию) и обезвреживанию образовавшихся ТКО имеет крайне недостаточное развитие;

г) предусмотренный действующим законодательством РФ механизм привлечения финансовых средств на создание и развитие инфраструктуры по удалению ТКО пока мало эффективен [4-7].

Поскольку экологические последствия захоронения ТКО через загрязнение почв и подземных вод проявляются иногда только через несколько лет или даже несколько десятков лет, то в общественном сознании постепенно сформировалась идея о том, что закапывание отходов в землю или сброс их в море – это недопустимое перекалывание наших проблем на плечи потомков. Но параллельно наметилась и другая тенденция: чем жестче становилось законодательство по контролю загрязнения воды и воздуха, тем больше производилось твердых токсичных отходов, так как практически все методы очистки газообразных и жидких сред приводят к концентрации загрязнителей в твердом веществе. Преобладание удаления ТКО посредством захоронения и нарушение экологических и санитарно-эпидемиологических требований при их размещении ведет к ряду проблем, которые связаны с негативным воздействием на окружающую среду, включая:

- а) загрязнение и захламление земель;
- б) загрязнение верхних водоносных горизонтов;
- в) выделение больших объемов биогаза;
- г) негативное воздействие на среду обитания.

в) безвозвратно теряются материальные и энергетические ресурсы, которые могли бы быть повторно использованы, в том числе в качестве сырья для производства ряда товаров (продукции).

Кроме того, существуют другие взаимосвязанные аспекты этой проблемы, которые делают ее насущной именно в наше время:

- структура ТКО резко усложняется, включая в себя все большее количество экологически опасных компонентов (рис. 1);

- отношение населения к традиционным методам сваливания мусора на свалки становится резко отрицательным, по утверждению британского журнала «The Economist», твердые отходы это экологическая проблема, вызывающая наибольшую озабоченность жителей развитых стран;

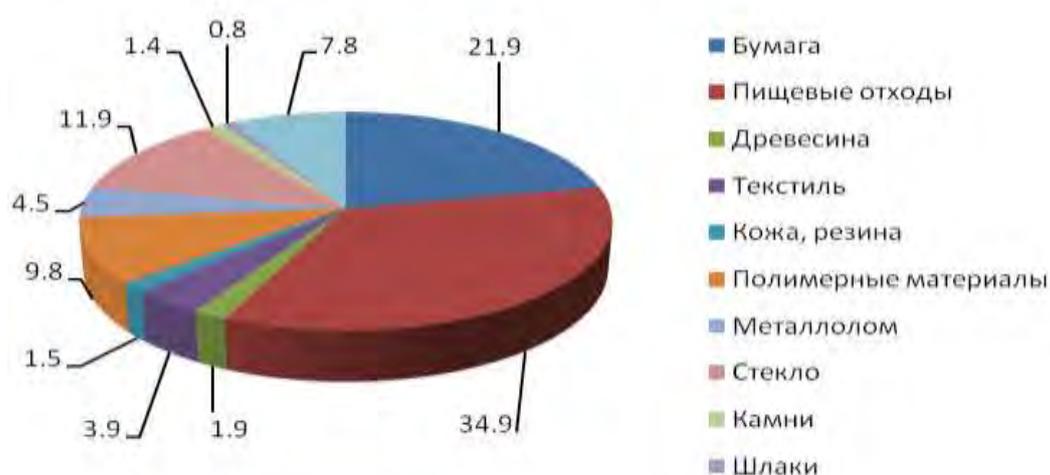
- на всех уровнях государственного и муниципального управления принимаются правила, ужесточающие обращения с отходами, что ведет к росту затрат предприятий, на которых образуются и утилизируются отходы.

В то же время муниципальные образования и регионы:

а) испытывают недостаток финансовых средств для реализации возложенных полномочий по регулированию деятельности по обращению с отходами;

б) располагают ограниченными возможностями по учету геологических и физико-географических условий и по привлечению инвестиций для создания и развития инфраструктуры по удалению и переработке ТКО;

в) в силу сложившегося законодательства не могут принимать решения межмуниципального характера при выборе способа удаления образующихся ТКО.



**Рис. 1. Среднегодовой морфологический состав ТКО Свердловской области**

По официальным данным только в Свердловской области более 200 тыс. га земли отведено под свалки, на которых уже накоплено порядка 42 млн. тонн бытовых отходов, причем 70% всех полигонов (330 из 456) являются бесхозными. Ежегодно под свалки дополнительно отчуждается 1 тыс. га областной земли. Такая ситуация осложняется неразберихой во властных структурах: проблемой утилизации отходов занимаются сразу несколько министерств, в то время как местное самоуправления в большинстве случаев самоустраняется и органы местного самоуправления зачастую не выполняют свои прямые обязанности. В частности, не организована работа по сбору ртутьсо-

державших ламп, неудовлетворительная организация работы управляющих компаний (УК), в том числе, по содержанию придомовых территорий. Между УК и органами местного самоуправления отсутствует распределение ролей, не соблюдаются сроки выполнения работ по сбору и утилизации ТКО. Управляющие компании не разрабатывают техрегламенты по обращению с отходами.

Чтобы высвободить огромные площади, занимаемые свалками, возникла идея сжигания мусора: он должен превратиться в газообразные продукты, которые развеялись бы в воздухе и включились в естественный круговорот. Однако действительность, как показала практика, значительно отличается от благой идеи. Во-первых, далеко не весь мусор горит. В частности, железо, содержащееся, например, в сломанных бытовых приборах. Многие горючие отходы при сгорании дают золу, масса которой может составлять несколько процентов от массы исходного мусора. Поэтому все шлаки, которые остаются после сгорания, всё равно приходится вывозить на свалки. Во-вторых, мусор содержит много влаги и трудносгораемых материалов, поэтому горит плохо. Неполное сгорание мусора приводит к выбросу огромного количества сажи и вредных органических соединений. Чтобы подобные вещества не выделялись, температура сгорания мусора должна быть выше 1200 С, но при простом сгорании мусора температура редко превышает 800 С. Приходится либо не давать энергии сгорания мусора рассеиваться, либо специально подогревать горящий мусор. Теоретически предполагалось, что бытовые отходы сравнимы с бурными углями. Однако бурные угли однородны по составу, а бытовые отходы представляют собой смесь различных по составу и свойствам компонентов. Теория горения бытовых отходов должна быть универсальной для всех его компонентов, это необходимо для обеспечения полноты сгорания и минимального образования вредных веществ. Мусоросжигательные заводы действуют сегодня в 20 странах мира, включая и Россию, но доля России в переработке отходов на мусоросжигательных заводах по сравнению с ведущими странами невелика и составляет всего около 2 %.

Вторичное использование отходов – наиболее ресурсосберегающий путь, но не всегда рентабелен как в экономическом, так и в экологическом плане, здесь существует ряд проблем. Первая проблема заключается в том, что прежде чем мусор использовать, его необходимо рассортировать. Вторая проблема: доставка мусора к месту переработки. Если мусора и потребителей продуктов его переработки много, то и заводов, способных перерабатывать отходы такого типа, можно понастроить много. Третья проблема: мусор это сырьё принципиально нестандартное (каждая новая партия мусора, поступившая на переработку, будет заметно отличаться от предыдущей по целому ряду параметров). Поэтому мусор невозможно использовать как сырьё для производства высококачественной продукции.

На рис. 2 представлены способы утилизации ТКО и их удельный вес в столицах европейских стран и Москве, на рис. 3 – схема уровней подготовки и переработки ТКО.

Для решения проблемы утилизации ТКО в стране разработана и утверждена комплексная стратегия, главной целью стратегии является предотвращение вредного воздействия ТКО на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечение компонентов, содержащихся в отходах (органика, металлолом, бумага, стеклянная и пластиковая тара, текстиль, изношенные автомобильные шины и другие), в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг или для получения энергии[2].

Комплексная стратегия основана на общепризнанной иерархии приоритетов государственной политики в области обращения с отходами (в порядке снижения приоритета):

- а) максимальное использование исходного сырья и материалов;
- б) сокращение объёмов образования и снижение класса опасности отходов;
- в) обработка (предварительная подготовка) отходов к утилизации (использованию);
- г) утилизация (использование) отходов;
- д) другие операции в целях вовлечения отходов в хозяйственный оборот;
- е) обезвреживание отходов;
- ж) размещение отходов экологически и санитарно-эпидемиологически безопасным способом.

Основными принципами Стратегии являются [2]:

- а) соблюдение прав человека на благоприятную окружающую среду;
- б) соблюдение прав каждого человека на получение достоверной информации о деятельности по обращению с ТКО;
- в) участие каждого гражданина и всего населения в организации деятельности по минимизации количества ТКО и их негативного воздействия на окружающую среду;
- г) неотвратимость наказания за нарушения законодательства РФ при обращении с ТКО;
- д) предотвращение загрязнения компонентов природной среды ТКО.

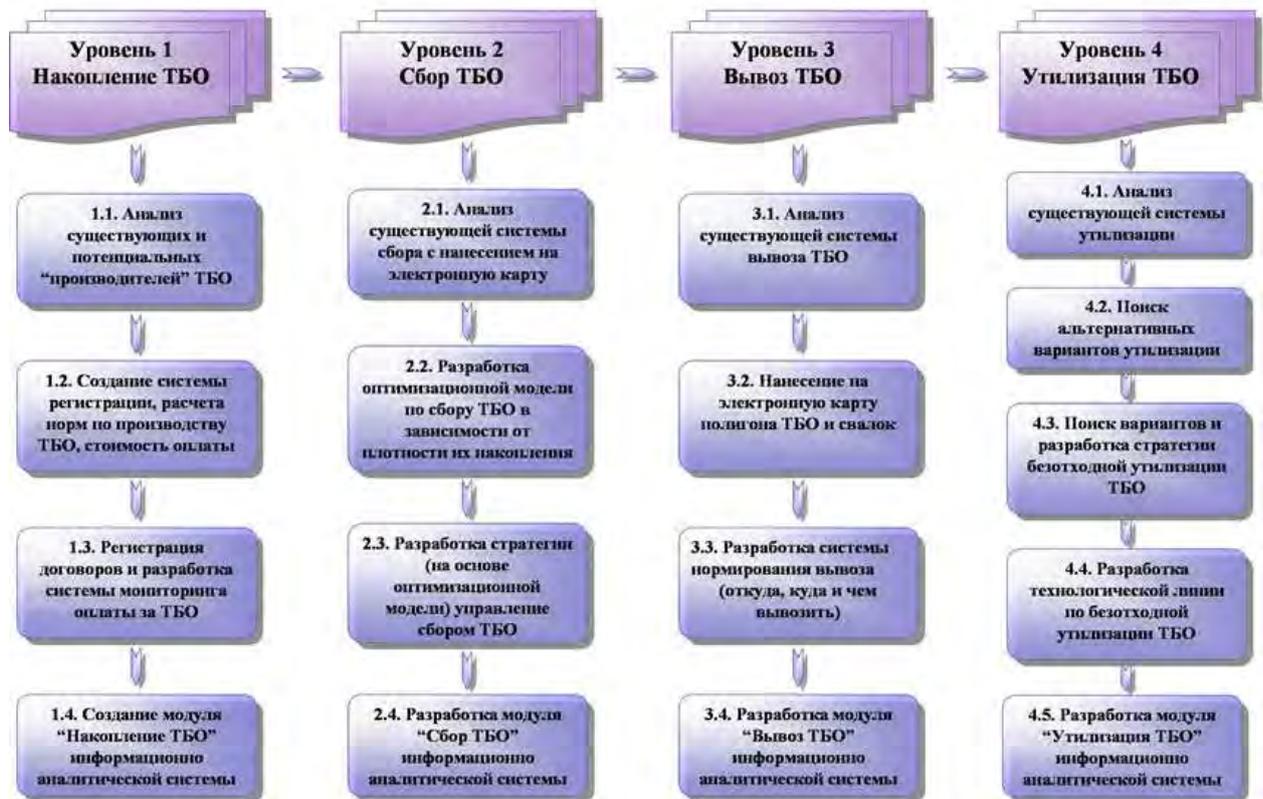


**Рис. 2. Способы утилизации ТКО в Москве и некоторых европейских столицах**

Достижение главной цели комплексной стратегии планируется обеспечить решением следующих основных задач:

- а) совершенствование нормативно-правового регулирования деятельности по обращению с ТКО;
- б) создание эффективной системы управления в области обращения с ТКО;
- в) развитие инфраструктуры по отдельному сбору, утилизации (использованию), обезвреживанию и экологически и санитарно-эпидемиологически безопасному размещению ТКО;

- г) обеспечение экологической и санитарно-эпидемиологической безопасности при сборе, обезвреживании и захоронении ТКО;
- д) внедрение механизмов экономического регулирования деятельности по обращению с ТКО по уровням (рис. 3);
- е) совершенствование ценообразования при обращении с ТКО;
- ж) развитие системы экологического и санитарно-эпидемиологического образования, просвещения и воспитания по вопросам обращения с ТКО;
- з) обеспечение сбора и представления достоверной информации о деятельности по обращению с ТКО.



**Рис. 3. Схема уровней подготовки и переработки ТКО**

Целевыми показателями, характеризующими деятельность по обращению с ТКО, являются:

- а) количество образующихся ТКО (календарный год, т);
- б) количество образования ТКО на душу населения (календарный год, т);
- в) количество ТКО, направляемых на захоронение и сжигание (термическое уничтожение) (календарный год, т);
- г) доля утилизированных (использованных) ТКО в общем объеме образовавшихся ТКО (календарный год, проценты);
- д) доля ТКО, используемых для производства тепловой и электрической энергии к общему объёму отходов (календарный год, проценты);
- е) другие показатели, устанавливаемые в основных направлениях деятельности Правительства РФ, концепциях долгосрочного социально-экономического развития РФ на соответствующие периоды, а также в федеральных и региональных программах в области обращения с отходами.

Реализация комплексной стратегии планируется в 3 этапа (2013-2015 гг.; 2016-2020 гг.; 2021-2030 гг.)

I – проведение институциональных изменений в управлении ТКО и совершенствование нормативной правовой базы и механизмов экономического регулирования деятельности по обращению с ТКО для реализации комплексной стратегии;

II – создание и развитие материально-технической базы, методического, информационного обеспечения, развитие системы экологического и гигиенического воспитания и образования;

III – достижение значений целевых показателей и показателей задач, установленных в основных направлениях деятельности Правительства Российской Федерации, концепциях долгосрочного социально-экономического развития РФ.

Финансирование реализации комплексной стратегии обращения с ТКО осуществляется за счет средств федерального бюджета в рамках Государственной программы РФ «Охрана окружающей среды на 2012-2020 годы» [9].

### Список литературы

1. Об отходах производства и потребления: федер. закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ (ред. от 29.12.2015 г.). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

2. Комплексная стратегия обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации: приказ Минприроды РФ от 14.08.2013 г. № 298. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

3. О внесении изменений в Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" и другие законодательные акты Российской Федерации в части экономического стимулирования деятельности в области обращения с отходами. Законопроект Правительства РФ № 584399-5. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

4. О правилах разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение: Постановление Правительства РФ № 632 от 28.08.1992. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

5. Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия: Постановление Правительства РФ № 632 от 28.08.1992. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

6. Об утверждении положения о лицензировании деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке, размещению опасных отходов: Постановление Правительства № 524 от 26.08.2006. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

7. Об утверждении Правил предоставления услуг по вывозу твердых и жидких бытовых отходов: Постановление Правительства РФ № 155 от 07.03.2008. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

8. О порядке ведения государственного кадастра отходов и проведения паспортизации опасных отходов: Постановлению Правительства № 818 от 07.11.2008. До-

ступ из справ.- правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

9. Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Охрана окружающей среды" на 2012-2020 годы. Постановление Правительства РФ № 326 от 15.04.2014. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70345114/#ixzz52Md85gKv>

10. Колесников С.И. Экология: учеб. пособие для вузов. М.: Академцентр, 2010. 384 с.

11. Коробкин В. И., Передельский Л. В. Экология: учебник для вузов. Ростов н/Д.: Феникс. 2010. 602 с.

12. Мир. Население 1800-2100. [Электронный ресурс]. URL: <http://naseleniye.population.city/world>

УДК 008.2

## ОБОСНОВАНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

ЛЕБЕДЕВ Ю. В., КОВАЛЕВ Р. Н., КОКОВИН П. А.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Фундаментальные научные знания в области устойчивого развития территорий основаны на данных биологии (экологии), социологии, экономики, технических наук. Формирование научной методологии устойчивого развития общества, обоснование принципов управления им, должно основываться на установлении приоритетов различных областей знаний и междисциплинарном подходе. Реализация экологически устойчивого развития будет способствовать решению задач существования общества на принципиально новом уровне, на системе соответствующих ценностей и следованию этой системе ценностей при решении реальных практических вопросов.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие территорий, обоснование принципов управления, междисциплинарный подход, границы экологического коридора, биологический природный аспект.

## SUBSTANTIATION OF THE BASIC SCIENTIFIC BASIS SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIES

LEBEDEV Y. V., KOVALEV R. N., KOKOVIN P. A.  
Ural State Mining University

**Abstract.** Fundamental scientific knowledge in the field of sustainable development of territories is based on data from biology (ecology), sociology, economics, and engineering. The development of a scientific methodology for the sustainable development of society, the rationale for its management principles, should be based on prioritizing different areas of knowledge and an interdisciplinary approach. The implementation of environmentally sustainable development will contribute to solving the problems of the existence of society on a fundamentally new level, on a system of relevant values and following this system of values when solving real practical issues.

**Keywords:** sustainable development of territories, substantiation of management principles, interdisciplinary approach, boundaries of ecological corridor, biological natural aspect.

Концепция устойчивого развития территорий (sustainable development), декларированная (Рио–92 [1]) и по мере возможностей пропагандируемая мировым сообществом (Йоханнесбург–2002 [2, 3], Рио+20 [4, 5], Указ Президента РФ – 1996) базируются на совокупности фундаментальных научных знаний. Отметим, что наука – это выработка объективных знаний о действительности, это сумма знаний о картине мира (СЭ, 1984, с. 863). Фундаментальные научные знания в области устойчивого развития территорий основаны на данных биологии (экологии), социологии, экономики, технических наук. Формирование научной методологии устойчивого развития общества, принципов управления им должно основываться, на наш взгляд, на установлении приоритетов различных областей знаний и междисциплинарном подходе. Рассмотрим основные положения биологии (экологии), социального аспекта, экономического и технологического (технического) факторов в концепции устойчивого развития.

### **Биологический аспект в устойчивом развитии территорий**

Биота – совокупность всех организмов (на Земле насчитывается около 10 млн. видов растений и животных, численность которых составляет  $10^{20-30}$  особей; это, в основном, микроорганизмы [6]). Биота контролирует и регулирует жизненные процессы на всей поверхности Земли, это сложнейшая система, законы функционирования которой человечество только начинает познавать. В настоящее время распространены две концепции взаимодействия биоты и окружающей природной среды (ОПС):

- традиционная концепция взаимодействия биоты и ОПС – адаптация;
- концепция биотической регуляции ОПС.

На рисунке 1 дана сравнительная характеристика этих концепций.

Согласно традиционной концепции ОПС оказывается пригодной для жизни в силу уникальных физических условий на земной поверхности, определяемых исключительно особым расположением околосолнечной орбиты Земли. Биота – естественная фауна и флора биосферы, приспосабливается к ОПС за счёт эволюционного видообразования. Существенные изменения ОПС могут происходить и за счёт воздействия самой биоты, к которым она приспосабливается таким же образом. Например, в прошлом биота вызвала переход от восстановительной (бескислородной) к окислительной (содержащей кислород) атмосфере.

Главным свойством жизни считается способность к эволюции и непрерывной адаптации к меняющимся внешним условиям. Расширение использования ресурсов биосферы рассматривается как единственная возможность обеспечить удовлетворение растущих потребностей растущего человеческого общества. Единственная экологическая проблема, которую предстоит решить человеку при данной концепции, – это ликвидация загрязнений, изменяющих ОПС в неблагоприятном для него направлении.

Таким образом, традиционная концепция взаимодействия биоты и ОПС, где ключевым является положение об адаптации, не даёт решения проблемы допустимой хозяйственной ёмкости экосистемы, а она является главной для экологически устойчивого развития. По терминологии последнего заседания Римского клуба (2017) такое представление о взаимодействии биоты и ОПС было допустимо для периода «пустого» мира (открытого для экспансии и взрывного развития человечества), рассматриваемого, например, Чарльзом Дарвином.



**Рис. 1. Две концепции взаимодействия биоты и окружающей природной среды (ОПС)**

Основополагающие идеи биотической регуляции ОПС были заложены в трудах В.И. Вернадского [7] и Н.В. Тимофеева–Ресовского [8], в дальнейшем эта теория активно разрабатывалась профессором–биофизиком В.Г. Горшковым [9]. Начиная с 1970 г., он опубликовал в России и за рубежом множество статей по проблемам экологии, в том числе работу с расчётами потребления человеком чистой первичной продукции растительности (1980), спустя 6 лет эта работа была повторена группой известных аме-

риканских экологов [10]. В основу концепции биотической регуляции ОПС положена идея о физической неустойчивости земной среды, где биота является единственным механизмом поддержания пригодных для жизни условий и параметров ОПС. Отметим, что в традиционной концепции взаимодействия биоты и ОПС Земля устойчиво имеет уникальные физические условия, а биота приспосабливается к ним через эволюционное видообразование. Биотическая регуляция – регуляция со сложнейшей программой, информация о которой записана в геномах видов естественного сообщества. Эта программа направлена на поддержание сообществами конкретной оптимальной ОПС, информация о характеристиках этой среды также записана в геномах видов. В процессе биорегуляции при преобразовании энергии Солнца растениями создаётся новое органическое вещество – валовая первичная продукция биосферы [11]. Она измеряется в единицах: массы (тонны), мощности (ватты) или энергии (джоули). Часть (примерно 20%) расходуется на рост и дыхание растений, другая часть (около 80%) используется в переносе накопленного органического вещества (или энергии) от одной группы организмов к другой или с одного трофического уровня на следующей. Эта чистая первичная продукция биосферы (ЧППБ).

ЧППБ биосферы представляет собой общее количество биомассы, производимое растениями на данной территории за год, после вычитания из неё затрат на поддержание и рост самих растений. Это основа жизни на Земле и источник питания всех остальных организмов.

Установлено, что в настоящее время ЧППБ составляет в виде массы органического углерода примерно  $1,6 \times 10^9$  т/год [6]. Также установлено [11, 12], что:

- более 90% растительной органики (ЧППБ) в естественных экосистемах потребляется бактериями, грибами и простейшими организмами;
- более 9% растительной органики потребляется мелкими беспозвоночными;
- около 1% растительной органики (энергии, депонированной в биоте) потребляется позвоночными животными, в том числе и человеком. Указанные характеристики имеют силу закона природы и отличаются высокой стабильностью на протяжении десятков миллионов лет по палеоэкологическим данным [13].

На ранней стадии развития человечества общество потребляло менее 1% от общего энергопотока в биосфере. Эта величина очерчивала в соответствии с биотической регуляцией первоначальные границы энергетического коридора, в который вписывалось общественное «производство» того времени. Резкие отклонения от естественного распределения потоков массы и энергии органического вещества стали происходить в XIX–XX веках. К началу XX века площадь хозяйственного освоения суши достигла 20%, что соответствовало потреблению обществом энергии уже около  $2 \times 10^{10}$  Вт (2% ЧППБ). В настоящее время площадь освоенных хозяйственной деятельностью территорий (нарушенных экосистем) в мире достигает 60%, что соответствует потреблению человеком 10% чистой первичной продукции биосферы [14]. Теория биотической регуляции ОПС позволяет сформировать основную цель человечества для решения экологических проблем – сохранение и восстановление естественных экосистем в объёме, необходимом для поддержания устойчивости ОПС. А, уже зная цель, можно переходить к разработке стратегии развития и на каждом этапе использовать научно обоснованную тактику действий.

Таким образом, теория биотической регуляции и стабилизации ОПС прочно опирается на современную физику и биологию, не противоречит их основным законам. Теория биорегуляции с единой позиций позволяет объяснять явления и процессы, изу-

чаемые в этой области знаний, обладает значительными прогностическими возможностями и допускает экспериментальную проверку. Она выявляет законы устойчивости биосферы, которые налагают ограничения на развитие цивилизации. В ней решён ключевой вопрос о несущей ёмкости земных экосистем. Потенциал биотической регуляции, по мнению В.Г. Горшкова [11] и В.И. Данилова–Данильяна [12], достаточен для компенсации современных антропогенных воздействий на окружающую среду при условии существования и сохранения естественной биоты на больших территориях.

### **Социальный аспект**

Социология (от латинского *societas*) – наука об обществе и об отдельных процессах в нём, общественных группах (СЭС, 1984, с. 1245). Вопрос: может ли социальная сфера сформировавшегося в России капитализма быть фундаментальной основой устойчивого развития территорий?

В августе 2017 г. международный коллектив экспертов под руководством Т. Пикетти [15] опубликовал доклад «От Советов к олигархам: неравенства и собственность в России в 1905–2016 годах». Согласно этому докладу, объём оффшорного капитала россиян превышает уровень валютных резервов страны примерно в три раза, в 2015 году объём активов, выведенных в оффшоры, составил 75% национального дохода страны. Иными словами, в оффшорных центрах содержится почти столько же финансов богатых россиян, сколько всё население РФ держит внутри страны.

По данным Global Wealth Report [16], на долю 1% богатых россиян приходится 71% всех личных активов России. Для сравнения: на долю 1% богатых в Индии приходится 49% личных активов, в Африке – 44%, в США – 37%, в Китае – 32%, в Европе – 17%. Таким образом, средний мировой показатель – 46%, а у нас – 71%. Ещё один показатель, по которому лидирует РФ, – это доля самых состоятельных 5% населения в богатстве страны – 82,5%, остальные 95%, значит, имеют 17,5%. Ещё убийственная цифра: 96 российских миллиардеров владеют 30% всех личных активов граждан РФ, средний мировой показатель – 2%.

По данным компании Knight Frank, которые приводятся в докладе, подготовленном под руководством Т. Пикетти [15], в РФ число мультимиллионеров, имеющих от 30 млн. долларов, центамиллионеров – от 100 млн., и миллиардеров выросло с 2004 по 2014 год в 3,5 раза.

По оценке Global Burden of Disease Studies [17], РФ занимает 119–е место в мире по состоянию здоровья граждан. В промышленных регионах, где велико загрязнение и даже разрушение ОПС, основные показатели об уровне заболеваемости населения общими болезнями полезно дополнять данными о психических и наркологических расстройствах населения региона (таблицы 1, 2).

Данные таблиц 1, 2 чётко свидетельствуют, что психические расстройства у людей в современных условиях увеличиваются, и эта тяжелейшая по опасности ситуация существует даже при росте средней продолжительности жизни. Пессимистические мнения напоминают, что через несколько поколений таких людей станет значительно больше, а кое–где и большинство, и это страшное предположение свидетельствует скорее не о кризисе духовности и нравственности, а об их коллапсе. В рейтинге комфортной жизни пожилых людей РФ по данным международных организаций находится на 79 месте из 91. По сведениям Росстата на 2017 г., 22,7 млн. чел. (15,7%) имеют доход ниже прожиточного минимума, то есть являются нищими. По критериям Евростата, к числу бедных относятся те, кто имеет доход ниже 60% медианного дохода в данной стране, таких у нас 25%.

**Таблица 1 – Заболеваемость населения Свердловской области психическими расстройствами**

| Район (территория)                     | Общая заболеваемость, |      |      | Первичная заболеваемость, по годам |      |      |
|--|-----------------------|------|------|------------------------------------|------|------|
|  | 2008                  | 2009 | 2010 | 2008                               | 2009 | 2010 |
| г. Екатеринбург (1386,5 тыс. чел.)     | 1974                  | 267  | 2129 | 287                                | 36   | 288  |
| г. Нижний Тагил (361,4 тыс. чел.)      | 1202                  | 2593 | 2353 | 87                                 | 400  | 691  |
| г. Каменск–Уральский (176,5 тыс. чел.) | 1541                  | 1995 | 2884 | 137                                | 229  | 329  |
| г. Первоуральск (149 тыс. чел.)        | 1580                  | 3659 | 4478 | 65                                 | 773  | 773  |
| г. Серов (101,2 тыс. чел.)             | 3312                  | 2435 | 0    | 67                                 | 679  | 0    |
| г. Асбест (98,7 тыс. чел.)             | 1884                  | 3254 | 0    | 335                                | 347  | 0    |

Примечание: Данные ОГУЗ «Свердловская областная клиническая психиатрическая больница» (Форма 10, 2010).

**Таблица 2 – Заболеваемость населения Свердловской области наркологическими расстройствами (2009 г.)**

| Район (территория)                     | Общая заболеваемость на 100 000 чел. |            | Первичная заболеваемость на 100 000 чел. |            |
|--|--------------------------------------|------------|--|------------|
|  | Алкоголизм                           | Наркомания | Алкоголизм                               | Наркомания |
| г. Екатеринбург (1 386,5 тыс. чел.)    | 530                                  | 366        | 102                                      | 75         |
| г. Нижний Тагил (361,4 тыс. чел.)      | 553                                  | 399        | 75                                       | 33         |
| г. Каменск–Уральский (176,5 тыс. чел.) | 2723                                 | 511        | 79                                       | 18         |
| г. Первоуральск (149 тыс. чел.)        | 812                                  | 386        | 63                                       | 14         |
| г. Серов (101,2 тыс. чел.)             | 975                                  | 214        | 82                                       | 51         |
| г. Асбест (98,7 тыс. чел.)             | 1385                                 | 459        | 66                                       | 36         |
| Алапаевск МО (без г. Алапаевска)       | 581                                  | 8,3        | 5,5                                      | 0          |
| Бисертский городской округ             | 361                                  | 47,5       | 9,5                                      | 0          |

Примечание: Данные наркологической службы Свердловской области (2010).

Из приведённых выше данных можно сделать вывод, что расслоение общества в РФ колоссальное, и развитие страны, как показывает мировая практика, без сокращения большой социальной дифференциации населения невозможно. Но перераспределение доходов в пользу неимущих и малоимущих эволюционным путём в Истории пока ни у кого не получалось; это обычно политический революционный процесс, совершаемый сверху или снизу. Политическое решение данного вопроса предполагает наличие идеологии, которой в РФ по Конституции нет. Поэтому в настоящее время наука социология не может являться базой фундаментальных научных знаний для формирования устойчивого развития территорий. Необходимо социально-эффективное общество, нужно снижать уровень социального неравенства. Люди могут умирать за деньги, но умирать за деньги никто не будет, – умирают за близких, за Родину, за высшие идеалы и за тех, у кого они есть. Какие идеалы могут быть у олигархов и их государства, – всем известно.

## Экономика как основа устойчивого развития

Экономика (от греческого *Oikonomiké* – буквально искусство ведения домашнего хозяйства) – это совокупность производственных отношений, экономический базис общества (СЭС, 1984, с. 1530). Современная особенность заключается в том, что учёные–экономисты не исследуют процессы, которые находятся в центре внимания общества, т.е. кризис. Такое впечатление, что они забыли о кризисе, как забывают о постыдном событии. Никто глобального кризиса не предсказал – напротив, все ожидали устойчивого роста экономики на глобальных рынках в условиях глобализации и открытости. Наука «экономика» вроде бы должна была предсказывать будущие события, но не получается. Самой престижной премией современного мира является Нобелевская премия (фонд создан в 1900 г.). Учредитель премии Альфред Нобель экономик в перечень не включал, она от его имени была установлена в 1968 г. В последние годы пошла волна нобелевских лауреатов, занимающихся финансовыми манипуляциями, крупным бизнесом. В 2016 г. Нобелевскую премию получили Оливер Харт и Бенгту Хольмстром «За вклад в развитие теории контрактов». В 2017 году Нобелевская премия по экономическим наукам была присуждена американцу Ричарду Тейлору с формулировкой «За вклад в поведенческую экономику», такая экономика изучает влияние социальных и эмоциональных факторов на принятие экономических решений. Кратко, суть поведенческой экономики заключается в следующем.

В XIX веке утвердилась фикция экономического человека, согласно которой средний экономический человек имеет полную информацию о рынке, предпочитает всегда более дешёвое более дорогому, осознаёт свои нужды и потребности и ищет способы их удовлетворить наиболее дешёвым и простым способом. Сегодня рациональное экономическое поведение сохранилось только в низшем сегменте рынка – среди бедного слоя общества. В более высоком сегменте рынка рациональности меньше, а в верхнем – рациональности нет совсем. У современного человека на первый план выходит потребность в собственной значимости, и он платит в первую очередь не за товар или услугу, а за «самоуважение», т.е. собственную значимость. И современный рынок даёт человеку суррогат надёжности и собственной значимости – бренд. Брендирование все – от половой швабры до места проживания. Торговец раскручивает бренд, внушает потребителю, что пользоваться этим престижно, достойно и потребитель покупает всё, что торговец предлагает, у человека формируется определённая совокупность рефлексов. Именно поэтому операторы рынка вкладывают затрат в бренд больше, чем даже в товар; товар превращается в придаток к бренду. Таким образом, иррациональное в экономическом поведении человека – очень практичная и актуальная научная тема для современной финансовой сферы Мира, поэтому за неё и дают Нобелевские премии. А в принципе, это всё античеловечно, хотя, по большому счёту, в этом не вина науки «экономика». Человек в основной своей массе в этой системе теряет духовный, эмоциональный и мыслительный иммунитет, становится податливым для внешних воздействий «хозяев денег», формируется согласно их интересам.

Известный австралийский экономист Джон Куиггин в 2010 г. представил обществу [18] критический анализ системы экономических и политических идей («великое смягчение», гипотеза эффективного рынка, теория динамического стохастического общего равновесия, «обогащение сверху вниз» и приватизация), сложившейся в последние три десятилетия и сыгравшей, по мнению автора, определяющую роль в наступлении глобального экономического кризиса 2008-2009 г.г. Книга была переведена на русский язык и издана Высшей школой экономики в 2016 г.; название книги – «Зомби-экономика. Как мертвые идеи продолжают блуждать среди нас». Д. Куиггин показывает, что, не-

смотря на теоретическое и практическое опровержение существующих экономических идей, они будут сохранять доминирующее положение в экономической науке и экономической политике до тех пор, пока не сформируется новая концепция конкурентоспособных альтернативных идей.

В октябре 2017 г. обществу был представлен доклад [19] одной из наиболее авторитетных западных «фабрик мыслей» – Римского клуба «Come on» («Давай же»). Это был 43–й доклад за 50–летнюю историю клуба, он резко отличается по содержанию от предыдущих клубных докладов. Авторы доклада Андерс Вийкман и Эрнст Вайцзеккер при участии тридцати четырёх других членов клуба утверждают, что классический капитализм, который тоже был не идеален в вопросе устойчивого развития и понимания будущего планеты, позднее был заменён более «хищной» формой. Ею стал глобальный финансовый капитализм, который привёл к вырождению капиталистического способа производства до уровня финансовых и банковских спекуляций, уничтоживших идеи реального развития и провозгласивших приматом любого бизнес–начинания «прибыль ради прибыли». Кроме того, по словам авторов доклада, спекулятивный капитал, спровоцировав глобальный финансовый кризис 2005–2009 г.г., вышел из него в значительной мере окрепшим, переложив издержки внутреннего кризиса на всю мировую экономику.

Авторы доклада в описания проблемы устойчивого развития подвергли сомнению экономические и научные подходы таких классиков, как Адам Смит, Давид Рикардо и Чарльз Дарвин, которые творили в условиях «пустого» мира (открытого для экспансии и взрывного развития человечества). Существующий «полный мир» заполнен человеческим влиянием и человеческими интересами, в которых фундаментальные природные процессы оказались подчинены наиболее алчной части человечества, не осознающей всей сложности и неоднозначности происходящих изменений. Основной вывод авторов доклада Римского клуба (2017 г.) – это необходимость демонтажа существующей модели экстенсивного развития капитализма и разрушение системы глобального финансового паразитизма.

### **Научно-технологический фактор**

Научно–технологический фактор в концепции устойчивого развития территорий имеет важное практическое значение; его роль рассмотрим на примере территорий недропользования.

В табл. 3 приведены показатели, характеризующие значение горнопромышленного комплекса в промышленном потенциале Свердловской области [22]. Несмотря на относительно небольшую долю недропользования в валовом региональном продукте Свердловской обл. (не более 6%) и еще меньшую часть работников этого сектора в экономике области (около 3%), он обеспечивает металлургическое и последующие ключевые производства, доля которых в ВВП области достигает 60% [23].

**Таблица 3 – Показатели горнопромышленного комплекса в Свердловской области**

| Показатели   | 2006 г. | 2010 г. | 2014 г. |
|--|---------|---------|---------|
| Валовой региональный продукт, млрд руб.  | 653,9   | 923,5   | 1046,0  |
| Валовой региональный продукт в сфере недропользования, млрд. руб.                                    | 37,2    | 53,8    | 57,9    |
| Валовой региональный продукт в обрабатывающем производстве (в т.ч. в секторе металлургии), млрд руб. | 379,3   | 493,5   | 474,2   |
| Производство продукции, тыс. т:  |         |         |         |

|  |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|
| руда железная  | -      | 6,436  | 51,034 |
| агломерат железной руды  | -      | 3,991  | 4,570  |
| Численность работников в экономической деятельности области, тыс. чел.                                   | 1609,5 | 1642,6 | 1579,4 |
| Численность работников в секторе недродобычи, тыс. чел.  | 46,6   | 39,5   | 31,9   |
| Численность работников в секторе обрабатывающего производства (в т. ч. в секторе металлургии), тыс. чел. | 461,0  | 436,0  | 362,6  |

В работах В.Л. Яковлева, С.В. Корнилова [24, 25] принцип системности выражен в разработанной технологической платформе (подчеркнём – технологической), включающей множество технологических операций на территории административного образования, то есть система в сфере недропользования здесь рассматривается как «организация предприятий ..., потребляющих ресурсы извне...». Но система предприятий недропользования на современном этапе описывается не только «потреблением ресурсов извне», а и технологическими, экономическими последствиями такого потребления для самого предприятия, для ОПС (нарушение биотической регуляции в регионах), для общества (необходимость согласования интересов индивидуальных недропользователей с общественными предпочтениями), причём в условиях современных вызовов и рисков. И рисков не столько от перечисленных выше возрастающих технологических трудностей, имеющих для рассматриваемой системы внутренний смысл, а рисков от внешних факторов. Таким образом, системность здесь ограничивается рассмотрением «... организации предприятий, потребляющих ресурсы извне...»; комплексность включает совместное рассмотрение технологически связанных машин и процессов, а междисциплинарность – рассмотрение способов добычи и рудоподготовки, доменной плавки, фрагментов функционирования техногенных систем.

Д.Р. Каплунов [26] предложил изменить подход к проектированию освоения рудных месторождений на основе синтеза аналитических методов, развиваемых в трудах научной школы академика К.Н. Трубецкого [27] с новыми представлениями о комплексном освоении и сохранении недр. Исследование закономерностей функционирования горнотехнических систем базируется на минеральных веществах, процессах, характеризующих данную горнотехническую систему (геологических, геомеханических, аэрогазодинамических, технологических, экономических, социальных) во взаимосвязи с внешней средой. Теоретические основы проектирования горнотехнических систем включают принципы и методы, обеспечивающие устойчивое и экологически сбалансированное состояние горнотехнологических систем за счёт обоснования рациональных параметров подсистем полного цикла комплексного освоения месторождений. По мнению Д.Р. Каплунова, в области проектирования горнотехнологических систем пока не нашли достаточного отражения принципы устойчивого развития для освоения биологических ресурсов, способных к самовосстановлению. Важным здесь является то, что проблема устойчивого развития технологических систем представлена приоритетной для технологических систем и, по-видимому, включает вопросы учёта биотической регуляции ОПС. Часть таких вопросов освещена в публикациях И.П. Добровольского (Томинское месторождение медных руд [28, 29]), Н.М. Чернышева (Еланское месторождение никелевых руд [30, 31]).

Л.А. Пучков [32] считает, что мировое энергетическое потребление есть результат неверного определения целей хозяйствования, а «финансово-экономические методы прогноза глобального минерально-энергетического потребления не учитывают главный природный характер этих ресурсов, что приводит к серьёзным противоречиям

с законами развития природы...». Л.А. Пучков пишет: «С позиции природного императива минерально–энергетических ресурсов они являются материальной основой развития цивилизации – главной задачи природной эволюции на планете Земля». И в итоге – «бескризисное существование экономики можно ожидать, если дальнейшее развитие мировой цивилизации будет скоординировано с законами природы».

Творческий коллектив УГГУ в результате исследований по грантам РФФ № 14–18–00564 «Обоснование методологии и разработка научно–технологических принципов комплексного решения эколого–экономических и социальных проблем при обработке природных и техногенных месторождений» [22, 23]; РФФИ № 17–06–00433 «Прогнозирование путей инновационного развития и выработка опережающих рекомендаций по созданию перспективных научно–технических решений в сфере недропользования на Урале и Западной Сибири» [33] предложил понятие – «система недропользования» представляет собой совокупность объектов, явлений и процессов, а именно разрабатываемых участков недр (характеризующихся геологическими, геомеханическими и аэрогазодинамическими процессами), промышленных производств (геологическая разведка, добыча и обогащение минерального сырья, глубокая переработка, утилизация отходов), объединённых потоками энергии и информации между собой и ОПС (воздухом атмосферы, водой, растительным покровом), а также с обществом.

### **Заключение**

Таким образом, основополагающим в концепции устойчивого развития территорий является природный (экологический) фактор. Выделение экологического аспекта среди рассмотренных областей знаний обусловлено следующими соображениями:

- без природной базы исчезают всякие основания для постановки вопроса об устойчивом развитии;
- в других областях знаний (социальных, экономических, технологических) меньше методологических ясностей, в них много субъективных моментов, а биологический природный аспект на объективной основе позволяет определить границы экологического «коридора», в котором должно развиваться общество;
- характеристики этого «коридора» (например, хозяйственная ёмкость биосферы на территории) выражается через чистую первичную продукцию биосферы;
- реализация экологически устойчивого развития будет способствовать решению задач существования общества на принципиально новом уровне, на системе соответствующих ценностей и следованию этой системе ценностей при решении реальных практических вопросов.

### **Список литературы**

1. Наше общее будущее: докл. междунар. комиссии по окружающей среде и развитию / пер. с англ. М.: Прогресс. 1989. 376 с.
2. Доклад Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию. /Йоханнесбург, Южная Африка. 2000. URL: docs/cntd,ru/document/1893000 (дата обращения: 02.01.2018).
3. Зубаков В.А. Йоханнесбургский саммит ООН: анализ итогов / Вестник РАН. 2003. № 11.
4. От переходного периода к трансформации: устойчивое и всеобъемлющее развитие в Европе и Центральной Азии / докл. Европ. экон. комиссии ООН. Нью-Йорк, Женева. 11. 2012. 156 с.

5. Будущее, которого мы хотим: итоговой документ Конференции ООН по устойчивому развитию. Бразилия, Рио-де-Жанейро, 2012. 62 с.
6. Реймерс Н.Ф. Природопользование Словарь-справочник. М.: Мысль. 1990. 637 с.
7. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения М.: Наука. 1965. 376 с.
8. Тимофеев–Ресовский Н.В., Яблоков А.В., Глотов А.В. Очерк о популярности. М.: Наука. 1973.
9. Горшков В.Г. Структура биосферных потоков энергии // Ботанический журнал. – 1980. № 11. С. 1579-1590.
10. Vitousek P.M., Erlich P.R., Erlich A.E., Matso P.A. Human appropriation of the products of photosynthesis // Bioscience. 1986. 36 P. 368-373.
11. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995.
12. Данилов–Данильян В.И., Лосев К.С. Экономический вызов и устойчивое развитие. М.: Прогресс–Традиция. 2000. 416 с.
13. Елинек Я. Большой иллюстрированный атлас человека. – Прага: Артия. 1982. 559 с.
14. Лосев К.С. Мифы и заблуждения в экологии. М.: Научный мир. 2011. 225 с.
15. Piketty N., Novokmet F., Zucman G. From soviets to oligarchs: inequality and property in russia, 1905–2016. National bureau of economic research, cambridge, 2017. URL: <http://www.nber.org/papers/w23712> (дата обращения: 02.01.2018).
16. Global Wealth 2017: The Year in Review. URL: <https://www.credit-suisse.com/corporate/en/research/research-institute/global-wealth-report.html> (дата обращения: 02.01.2018).
17. Global Burden of Disease Study /Глобальное бремя болезней (GBD). URL: <http://www.healthdata.org/about> (дата обращения: 02.01.2018).
18. Quiggin J. Sombie Economics. How dead ideas walk among us. Princeton University Press. 2010.
19. Come On!: Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. URL: <http://www.clubofrome.org>
20. Hotelling. The Economics of Exhaustible Resources // Journ. Polit. Econ. 1931. Vol. 39. P. 137-175.
21. Солоу Р.М. Экономическая теория ресурсов или ресурсы экономической теории // Вехи экономической мысли . Т.3 / под ред. В.М. Гальперина. СПб. 1999. С. 19-20.
22. Anufriev V.P., Lebedev Y.V Multi-objective optimization of complex subsoil use issues// 5th Int. Conf. on the Political, technological, economic and social processes, 23–29 July 2015, London. P. 16-25.
23. Белов В.В., Кокарев К.В., Лебедев Ю.В. Научные основы комплексного решения эколого-экономических и социальных проблем в недропользовании. «Известия Самарского научного центра РАН». Самара. 2016. С. 583-586.
24. Яковлев В.Л., Корнилков С.В. Методологические особенности освоенных недр на современном этапе // Вестник Уро РАН. 2013. № 4(46). С. 11–18.
25. Корнилков С.В., Яковлев В.Л. О методологическом подходе к исследованиям в области освоения недр на основе системности, комплексности междисциплинарности и инновационной направленности // Известия вузов «Горный журнал». 2015. № 1. С. 4-5.

26. Каплунов Д.Р. Теоретические основы проектирования освоения недр: становления в развитии // Горный журнал. 2014. № 4. С. 49–51.
27. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Панфилов Е.И. Обоснование и практическое применение нового направления научной деятельности: «Научно-техническая экспертиза недропользования». Изучение и освоение минеральных георесурсов. М.: ИПКОН РАН. 2016. 79 с.
28. Бархатов В.И., Добровольский И.П., Капкаев Ю.Ш. Рациональное использование природных ресурсов Челябинской области: монография в 2 частях. Челябинск: изд-во ЧГУ. 2015. 265 с.
29. Добровольский И.П. Можно ли сделать всех южноуральцев богатыми? // «Правда». 2016. № 39.
30. Чернышев Н.М. Благородные металлы в сульфидных кобальто-медноникелевых рудах Еланской группы месторождений Воронежского региона (закономерности распределения, геолого-экономический потенциал, перспектива освоения) // Регион: системы, экономики, управления. 2011. № 2 (13). С. 59-84.
31. Чернышев Н.М. Как защитить Хопер // Аиф–Черноземье. 2012. № 49.
32. Пучков Л.А. Прогноз минерально-сырьевого потребления при бескризисном развитии экономики // Горный журнал. 2014. № 4. С. 45–48.
33. Валиев Н.Г., Лебедев Ю.В., Кокарев К.В., Арефьев С.А. Ассоциативные связи в сфере недропользования. Екатеринбург: УГГУ. 2017. 194 с.

*Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 18-45-860010.*

**УДК 338.2**

## **«ЗЕЛЁНАЯ» ЭКОНОМИКА: ОТХОД ОТ ДОГМ**

КОВАЛЕВ Р. Н., ЛЕБЕДЕВ Ю. В.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье рассматривается понятие «зелёной» экономики с позиции сохранения и восстановления зелёного покрова Планеты, даётся характеристика роли «зелёной» экономики в концепции устойчивого развития, приводятся распространённые в научной среде в настоящее время представления о «зелёной» экономике. Изложены авторская концепция методологии и научно-технологических принципов «зелёной» экономики.

**Ключевые слова:** «зелёная» экономика, методология, научно-методологические принципы, уровни управления, комплексная оценка природно-ресурсного потенциала, границы «коридоров» допустимого природопользования, согласование интересов.

## **«GREEN» ECONOMY: WASTE FROM DOGMES**

KOVALEV R. N., LEBEDEV Yu. V.  
Ural State Mining University

**Abstract.** The article deals with the notion of a "green" economy from the standpoint of preserving and restoring the green cover of the Planet, describing the role of the "green" economy in the concept of sustainable development, and the ideas about the "green" economy that are widespread in

the scientific community at the present time. The author's conception of methodology and scientific and technological principles of the "green" economy is outlined.

**Keywords:** "green" economy, methodology, scientific and methodological principles, management levels, integrated assessment of natural resource potential, borders of "corridors" of permissible nature management, coordination of interests.

В настоящее время тема экологизации экономики, «зеленой» экономики, «зеленого» роста является одной из самых актуальных в мировой науке и практике, она активно обсуждается международными экспертами, политиками, общественными организациями. Наиболее интенсивно этот процесс начался в период подготовки к конференции ООН по устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро в 2012 г. и особенно после опубликования ее итогового документа «Будущее, которого мы хотим», в частности раздела «От переходного периода к трансформации: устойчивое и всеобъемлющее развитие в Европе и Центральной Азии» [1]. В мире активно идет разработка критериев устойчивого развития, включающих сложную систему показателей, поскольку традиционные экономические показатели, прежде всего ВВП, не дают объективного представления об эффективности экономики, поскольку не отражают отрицательного влияния производства и безудержного потребления на окружающую природную среду[2].

На наш взгляд смысл термина «зелёный» символичен и он не случаен. «Зелёный» – это преобладающий цвет растительного покрова планеты Земля и «зелёные» экономика и рост должны быть в первую очередь направлены на поддержание и развитие этого цвета на нашей планете. «Зелёная» экономика является научным фундаментом устойчивого роста, она должна обеспечивать естественный круговорот биогенных элементов в окружающей среде, то есть поддерживать биотическую регуляцию на планете [3].

В настоящее время в информационном пространстве формируется представление о тождественности понятий «устойчивое развитие» и «зелёная» экономика; во многих статьях в этой области знания данная мысль проводится в явной или неявной форме. Такое представление основано на тождественности целей «зелёной» экономики и концепции устойчивого развития [4]. Недостаток такого представления состоит в том, что в обоих случаях отсутствует фундаментальная научная база – сохранение окружающей природной среды через поддержание биотической регуляции (то есть сохранение естественного круговорота биогенных элементов в природе). На отсутствие фундаментальной научной базы устойчивого развития указывали многие ученые ещё как в процессе подготовки документов «Рио-92», так и после принятия доклада МКОСР «Наше общее будущее» [5,6,7]. В предварительном итоговом документе Конференции Рио+20 [8] есть раздел III: «Зеленая экономика в контексте устойчивого развития и ликвидация нищеты». Считая, что название такого авторитетного документа ООН включает только ключевые слова, отметим два термина: «...в контексте» и «...ликвидация нищеты». Первый термин чётко определяет соотношение понятий «зеленая» экономика и устойчивое развитие; «зелёная» экономика – это одно из приложений к устойчивому развитию, то есть она не считается в документе ООН синонимом устойчивого развития.

Приведём существующие представления о «зелёной» экономике в России. Д.э.н. В.П. Ануфриев с соавторами (Уральский Федеральный университет) считают [9], что «зелёная» экономика обеспечивает более рациональное потребление истощающихся природных ресурсов, повышает энергоэффективность и сокращает негативное влияние на окружающую среду и в том числе на человека; «зелёная» экономика – более конкурентоспособна. Д.э.н. С.Н. Бобылев (МГУ) в одной из последних работ по «зелёной» экономике назвал новые подходы и идентификаторы[2]. В качестве «магистральных»

направлений формирования в России «зелёной» экономики он предложил инвестирование ресурсосберегающих структур, экологизацию технологического базиса, сбережение природного капитала. Д.э.н. В.С. Бочко (Институт экономики УрО РАН) при определении сути понятия «зелёная» экономика [10] рассмотрел четыре подхода: общеэкономический, отраслевой, технологический и цивилизационный; он считает, что в соответствии с данными подходами «зелёная» экономика есть «... выпуск экологически чистых продуктов питания или развитие отдельных отраслей на «зелёных» принципах, в том числе на основе перехода к низкоуглеродной экономике ... переход всех производств на технологии, обеспечивающие создание экологически чистых промышленных и продовольственных товаров». Д.э.н. Ю.Г. Лаврикова и к.э.н. Н.В. Малыш (Институт экономики УрО РАН) актуальными направлениями развития «зелёной» экономики для Свердловской области считают [11]: использование возобновляемых источников энергии, энергоэффективность в сфере ЖКХ, органическое земледелие в сельском хозяйстве, совершенствование системы управления отходами, совершенствование системы управления водными ресурсами, сохранение и эффективное управление энергосистемами. Вышедшая в 2015 г. под эгидой Минэкономразвития РФ, РАН и СОПС книга «Зелёная экономика – новая парадигма развития страны» [2] излагает все прежние принципы развития экономики, «зелёная» экономика воспринимается авторами «... как адекватный механизм экономического роста». Повторяется, на наш взгляд, история с «Повесткой дня на XXI век» (Рио–92), которая включала широчайший диапазон вопросов, но где выпали совсем, либо оказались представлены в очень слабой степени многие важнейшие проблемы (например, проблема структуры потребления ресурсов обществом). Приведём слова известного экономиста-эколога Г. Дейли [5]: «Недавно я проанализировал главу из черного варианта «Повестки дня на XXI век» о международной политике, направленной на ускорение устойчивого развития. Этот обескураживающий документ – не что иное, как совместный храп праздных экономистов, пребывающих в глубочайшей догматической дреме. Основная тема данной главы – «содействие развитию посредством торговли». Её истинное назначение состоит в том, чтобы содействовать международной торговле и глобальной экономической интеграции как вещам, само собой разумеется, полезным, а затем назвать их «устойчивым развитием». Надеюсь, что до того как «Повестка дня на XXI век» будет окончательно сформулирована, возобладает более здравомыслящий подход, поскольку застарелые догмы сами по себе несут серьёзную угрозу для нашей планеты» («Развитие во имя человека», 1995).

Из вышесказанного очевидно, что необходима разработка фундаментальной научной базы «зелёной» экономики – совершенствование методологии «зелёной» экономики и обоснование научно-технологических принципов ее развития.

Как известно, методология в общем понимании («Советский энциклопедический словарь, 1984, с. 795) есть учение о построении научного познания. В сфере «зелёной» экономики это учение о:

- системах взаимосвязей объектов хозяйствования с природой и социальной средой на основе междисциплинарного комплексного подхода;
- способах управления сложными социо-эколого-экономическими системами природопользования на основе учёта широкопространственных и долговременных накопленных влияний на окружающую природную среду;
- совокупностях научно-технологических принципов, являющихся основными исходными положениями теории «зелёной» экономики.

Реализация вышеперечисленных научных положений формирует следующую методологию «зелёной» экономики:

- обеспечение высшего приоритета учёту экологического фактора в решении проблемы обеспечения общества природными ресурсами;
- иерархию уровней управления «зелёной» экономики: концептуального, идеологического, политического и экономического;
- обоснование научно-технологических принципов «зелёной» экономики.

Фундаментальная научная база методологии «зелёной» экономики должна основываться на знаниях в областях экологии (биологии), экономики, социологии, технических наук. Методология «зелёной» экономики выделяет экологический аспект, поскольку без природной основы исчезнет всякий смысл для развития «зелёной» экономики. Экологический аспект выражается в концепции биотической регуляции [12], где принимается во внимание физическая неустойчивость земной среды, в которой биота является единственным механизмом поддержания пригодных для жизни условий.

Напомним, что существующая концепция развития недропользования в основном построена на установках низшего, т.е. экономического уровня управленческой иерархии.

Концептуальный уровень управления «зелёной» экономики задаёт основные целевые установки на длительный период времени – восстановление и развитие зелёного покрова планеты, сохранение оставшихся естественных природных экосистем, ведение природопользования в границах научно обоснованных «коридоров».

Идеологический уровень управления «зелёной» экономики определяет главное направление и пути реализации концептуальных установок, конкретно – в экологизации общественного сознания, выражающегося в организации более полной и глубокой переработке добываемых природных ресурсов, в сознательном, а не только рыночном формировании и регулировании потребительского спроса на различные виды продукции.

Политический уровень управления «зелёной» экономики, исходя из концептуальных установок и идеологического уровня, полагает формирование соответствующего нормативно-правового поля. Он регулирует характер недро-земле- и природопользования в рамках компетенций муниципальных образований, субъектов РФ и Российской Федерации в целом.

Экономический уровень управления «зелёной» экономикой является тем звеном, где концептуальные, идеологические и политические установки реализуются в экономической сфере.

Научно-технологические принципы «зелёной» экономики включают:

- полную комплексную оценку природно-ресурсного потенциала территорий (а не только «ассимиляционного»);
- обоснование границ «коридоров» допустимого использования природно-ресурсного потенциала территорий (а не только расчёт фрагментарного и эпизодического вреда);
- междисциплинарную многокритериальную оптимизацию на строгих математических методах (а не сравнительный межотраслевой анализ);
- эффективное согласование кратковременных интересов субъектов бизнеса и долгосрочных предпочтений общества.

Комплексная оценка природно-ресурсного потенциала территории (природных ресурсов, средоформирующих социальных функций) включает [13]:

- формирование совокупностей биометрических параметров природных объектов (ресурсов) и параметров интенсивности биологических процессов в экосистемах (различных экологических функций);

- обоснование экономических эквивалентов натуральных параметров в соответствии с состоянием природной и социальной среды и прогнозированием их развития;
- выбор и формирование критерия комплексной оценки на основе существующего состояния оцениваемых объектов и характера их пространственного и долгосрочного развития.

Обоснование границ «коридоров» допустимого использования природно-ресурсного потенциала территории выполняется с учётом и на основе:

- трансформации балансов потоков биогенных элементов и потоков энергии в окружающей среде;
- уровня сокращения естественных экосистем;
- степени изменения экологического потенциала на территориях (загрязнение воздуха, почв, воды);
- степени изъятия природных ресурсов (земля-территория, растительный покров, почва).

С позиции экологически устойчивого развития территории и «зелёной» экономики важен учёт широкопространственных и долгосрочных последствий недропользования. Так, в период с 1866 по 2004 год на Урале (сайт «Наш Урал») произошло более 30 сейсмогеодинамических явлений (землетрясений), вызванных недропользованием («обвалами» участков земной поверхности, горными технологическими ударами), интенсивностью (магнитудой по MSK-64) от 3-х до 6-ти баллов (г. Губаха, 09.10.1959). Оценка степени влияния природопользования на окружающую среду не должна ограничиваться сравнением этого влияния с существующими нормами ПДК; в научной литературе существует много сведений о недостаточности такого подхода (Кудрявцева, 2011).

Многокритериальная оптимизация на основе междисциплинарного подхода в сфере «зелёной» экономики включает:

- вначале однокритериальную оптимизацию по индивидуальным (отраслевым) критериям с раскрытием неопределённости оптимальных решений, вызываемых ограниченностью информационной базы (неполноты, недостаточности, неточности данных),
- затем компромиссное решение с использованием интегральных комплексных критериев или совокупностей строго ранжированных индивидуальных критериев (векторная форма критерия).

Многокритериальная оптимизация природопользования использует новые научные понятия, такие как «минимаксный риск» и «уступка» экстремальным значениям критериев в этой сфере. Показатель «минимаксного риска» позволяет определить варианты природопользования с минимальными рисками негативных последствий при возникновении самых неблагоприятных ситуаций за счет снижения чисто экономической эффективности. Величины уступок экстремальным значениям индивидуальных критериев определяются на основе анализа зависимостей критериев от вариантов природопользования.

Научный принцип согласования экономических интересов индивидуальных природопользователей и общественных предпочтений обусловлен их несовпадением, особенно на коротких периодах времени, когда проявляется наибольшая активность первых. Основные особенности соотношения индивидуальных интересов и общественных предпочтений заключаются в следующем:

- максимизация использования конкретных видов природных благ в индивидуальных интересах и эффективное использование всего природно-ресурсного потенциала территории в общественных интересах;
- в индивидуальные интересы не входят такие показатели как занятость населения, долгосрочная стабильность природно-ресурсного потенциала, сохранение значи-

мости отдельных видов природных благ, но эти показатели имеют решающее значение для общества;

- индивидуальные интересы игнорируют побочные и косвенные эффекты природопользования, а общественные интересы учитывать их обязаны;

- существует большое число индивидуальных интересов, не имеющих возможности проявить себя на рынке, а общественные в определённой мере позволяют использовать рыночный принцип для эффективного использования всей совокупности природных благ;

- индивидуальные интересы связаны с большим риском возникновения неблагоприятных эколого-экономических ситуаций для отдельных природопользователей, а общественные дают возможность этот риск уменьшить;

- индивидуальные природопользователи неохотно идут на риск при реализации НТП, характеризуемого непредсказуемостью и неизвестностью результатов – так, чтобы произвести один коммерчески успешный продукт, иногда нужно апробировать десятки изобретений. Кроме того, индивидуальные природопользователи (частный капитал) не способны преодолевать порог синхронных затрат (затрат на освоение прорывных технологий). Общественные предпочтения в лице государства могут взять на себя эти риски и затраты через гарантии, через бюджетное финансирование, через целевые программы; общественные предпочтения (государство) всегда является крупным игроком на рынке новых технологий.

Механизм согласования экономических интересов индивидуальных природопользователей на ограниченных периодах времени с эколого-экономическими и социальными предпочтениями общества в широкопространственном и долговременном аспектах состоит в:

- последовательной экологизации экономики природопользователей путём перехода от существующей максимизации доходов за счёт снижения собственных затрат сначала к дисконтированию экстерналий издержек, а затем к максимальному учёту экологических последствий и минимизации негативных воздействий;

- обосновании (определении) уступок интересам индивидуальных природопользователей и общественным предпочтениям на основе анализа зависимостей критериев от вариантов хозяйствования.

Насколько сложна проблема устойчивого развития и важность в ее практической реализации социальной составляющей, а также взаимосвязь всех влияющих факторов, говорит публикация к.э.н И. Абакумова [14]. В ней отмечается, что в начале XXI века окрепшему «городскому» бизнесу в России дали возможность неограниченно скупать разорившиеся колхозы и совхозы, и прежде всего их землю, в результате чего появились гигантские частные латифундии с миллионами гектаров и десятками тысяч наемных рабочих в районах Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской области и Поволжья. Латифундисты, среди которых немало иностранных совладельцев, имеют своих прямых и выборных представителей в органах власти и общественных организаций всех уровней и влияют на политику не просто в интересах своих компаний, но и для развития сословий крупных землевладельцев. В Европе вопрос латифундий решен (после трудных политических споров и соглашений) к 80-м годам XX века путем прогрессивного налога на земли сверх нормы. Наши фермеры тоже требуют ввести норму земельной собственности одного владельца не более 10 % от земель муниципалитета, потому что:

- 1) крупный аграрный бизнес ориентирован прежде всего на извлечение прибыли, а не на развитие сельских территорий;

- 2) неограниченное внедрение крупного бизнеса в сельскую сферу нарушает права населения на сохранение образа жизни, развитие институтов частной собственности и независимых источников дохода семей;

3) разорение одного или даже десятка фермеров есть драма отдельных семей, но не драма целой территории в случае разорения крупного агрохолдинга и связанных с этим социальных и политических рисков. Поэтому в установлении здорового баланса крупного и мелкого производства – залог стабильности экономики;

4) множество мелких фирм – это вопрос физического выживания нации при чрезвычайных ситуациях.

### **Заключение**

Декларируемая в настоящее время в информационном пространстве необходимость производства экологически чистых продуктов, переход к низкоуглеродной экономике, инвестирование ресурсосберегательных структур, сбережения природного капитала и другие подобные вещи сами собой, разумеется, полезны; но вопрос в том, что ими занимаются уже несколько десятилетий, но ничего кругом пока не «зеленеет». Отсутствует фундаментальная научная база «зелёной» экономики; необходим переход от застарелых догм к здравомыслящему подходу, где главным является не экологизация технического базиса, а экологизации сознания управляющего начала в экономике страны – в концептуальном и идеологическом уровнях управления экономикой природопользования.

### **Список литературы**

1. Доклад Европейской экономической комиссии ООН «От переходного периода к трансформации: устойчивое и всеобъемлющее развитие в Европе и Центральной Азии». New York and Geneva, 2012. 156 с.
2. «Зелёная» экономика. Новая парадигма развития страны / Под общ. ред. А.В. Шевчука. М.: СОПС, 2014. 248 с.
3. Захаров В.Н. Устойчивое развитие требует «зелёной» экономики в России: интервью порталу Green Evolution // <http://greenevolution.ru/analytics/ustojchivoe-razvitie-trebuets-zelenojekonomiki>
4. Бобылев С.Н. «Зелёная» экономика для России: новые подходы и индикаторы. Мат. 12-й Междунар. конф. РОЭЭ. Иркутск, 2013. С. 13-16.
5. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экономический вызов и устойчивое развитие. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 416 с.
6. Коптюг В.А. Избранные труды. Том 4. Информатика // Экология. Устойчивое развитие / М.: Наука, 2006. 503 с.
7. Лосев К.С. Мифы и заблуждения в экологии. М.: Научный мир, 2011. 225 с.
8. Итоговый документ Конференции ООН по устойчивому развитию (Рио-де-Жанейро, Бразилия, 20-22 июня 2012 г.) / «Будущее, которого мы хотим». 62 с.
9. Ануфриев В.П., Ануфриева Е.И., Петрунько Л.А. Повышение конкурентоспособности регионов и предприятий за счёт зелёной экономики (на примере Свердловской области). С. 134-145.
10. Бочко В.С. Зелёная экономика: вторая вечная проблема человечества. Вестник УрФУ. Серия «Экономика и управление». 2014. № 3. С. 113-119.
11. Лаврикова Ю.Г., Малыш Е.В. Зелёная экономика в кластерном развитии. Вестник УрФУ. Серия «Экономика и управление». 2014, № 3. С. 120-133.
12. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М., ВИНТИ, 1995 г., XXX VIII. 472 с.
13. Лебедев Ю.В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 574 с.
14. Абакумов И. «Земля – крестьянам». Что дальше? Почему за сто лет этот лозунг не удалось сделать былью. Российская газета. 2018. № 10 (7473).

*Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433*

## ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ УРАЛА

КОЛЧИНА М. Е., КОНОВАЛОВ В. Е.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Данная статья посвящена вопросам устойчивого развития территорий, анализу землепользования и застройки территорий промышленных городов Урала, экологических и техногенных проблем, возникших в предыдущие периоды их развития и угрожающих сегодня окружающей градостроительной среде и жизнедеятельности населения. В статье предложены пути решения вопросов, связанных со сложившейся ситуацией, в целях обеспечения комфортной и безопасной среды обитания человека в промышленных и горнопромышленных городах.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие территорий, промышленные города, источники техногенного воздействия.

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIES THE INDUSTRIAL CITIES OF THE URALS

KOLCHINA M. E., KONOVALOV V. E.  
Ural State Mining University

**Abstract.** This article is devoted to the issues of sustainable development of the territories, the analysis of land use and development of the territories of the industrial cities of the Urals, environmental and man-caused problems that arose in previous periods of their development and threaten today the urban environment and people's livelihoods. The article suggests ways of solving issues related to the current situation, in order to provide a comfortable and safe human environment in industrial and mining cities.

**Keywords:** sustainable development of territories, industrial cities, sources of man-made impact.

Многочисленные исследования показали, что проблемы экологического, техногенного, экономического и социального характера возникают, как правило, на *застроенных территориях*, а именно: землях промышленности, энергетики, транспорта и землях населенных пунктов, предназначенных в основном для строительства [1]. К концу прошлого столетия (века индустриализации) стало ясно, что более чем столетняя история активного развития городов привела не только к урбанизации территорий, но и к росту экологических и техногенных проблем в густонаселенных промышленных регионах, особенно в городах, на территориях которых помимо зданий гражданского назначения расположены производственные объекты, несущие угрозу окружающей градостроительной среде и жизнедеятельности населения. Человечество наконец-то осознало, что если такое интенсивное использование природных ресурсов и необдуманная застройка городов будет продолжаться, то через несколько лет ситуация может еще ухудшиться и тот, кто будет жить после нас, останется с исчерпанными ресурсами, выжженной землей, и нашим потомкам уже нечего будет положить в основу своей жизне-

деятельности. В этой связи *устойчивое развитие территорий* – это не столько экологический лозунг, сколько лозунг политический.

Вопросы устойчивого развития уже давно поднимаются мировой общественностью, но только в начале девяностых годов прошлого века их вынесли на межгосударственный уровень. В 1992 г. в Рио-де-Жанейро состоялся глобальный форум под эгидой ООН. Важность этого форума состояла в том, что его участниками были главы государств, и все принятые там документы, подписаны на высшем государственном уровне. Россия также подписала документ «Повестка дня на 21 век», а подписав его признала необходимость следования принципам устойчивого развития. В результате, после 4-летних дискуссий и споров (профессиональных и политических) Указом Президента № 440 от 1 апреля 1996 года была принята «Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». Видный специалист в области градостроительства, охраны окружающей среды и инженерной защиты городов, доктор архитектуры, Щитинский В.А. считает, что этот документ не был идеальным, как все компромиссные документы, но тем не менее он выполнил свою главную задачу – возвести принципы устойчивого развития в ранг государственной политики.

После конференции в Рио-де-Жанейро был предпринят еще ряд акций в целях продвижения идеологии устойчивого развития, в частности в ООН был создан специальный центр по населенным пунктам – Хабитат (Хабитат в переводе с английского – жилище или среда обитания). Задачей центра стала выработка и практическое продвижение идей устойчивого развития в практику управления городов и др. населенных пунктов [2, 3].

За прошедший период в нашей стране немало сделано для реализации основных положений Концепции: принято ряд законов и нормативно-правовых актов в сфере охраны окружающей среды, земель и обеспечения безопасной среды обитания человека, выполнено множество исследований по данным вопросам.

Автор «Концепции устойчивого развития и модельного проектирования городов» Щитинский В. А. утверждает, что с точки зрения градостроительства, устойчивое развитие городов и межселенных территорий – это создание благоприятной среды проживания, ограничение вредного воздействия на окружающую среду, опять же с целью создания благоприятных условий проживания не только для ныне живущих, но и для последующих поколений [4].

Данное утверждение согласуется с основными положениями современного градостроительного законодательства. Например, в соответствии с градостроительным кодексом РФ 2004 года *устойчивое развитие территорий* – это обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности:

- 1) безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека;
- 2) охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений
- 3) ограничения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду.

Также законодательство о градостроительной деятельности говорит:

- что комплексное и устойчивое развитие территории обеспечивается на основе территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки территории с учетом экологических, экономических, социальных и иных факторов, с соблюдением требований охраны окружающей среды, экологической безопасности и безопасности территорий в целом;

- что ответственность за обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека несут органы государственной власти Российской Федерации, субъектов РФ и органов местного самоуправления, в том числе за обеспечение предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [5].

С целью защиты окружающей и градостроительной среды *санитарным законодательством* предусмотрены санитарно-защитные зоны (СЗЗ) от источников техногенного воздействия. Согласно санитарных норм и правил СЗЗ предназначены для:

1) обеспечения снижения уровня воздействия до требуемых гигиенических нормативов по всем факторам воздействия;

2) создания санитарно-защитного и эстетического барьера между территориями предприятий и территорией жилой застройки;

3) организации дополнительных озелененных площадей, обеспечивающих экранирование, ассимиляцию и фильтрацию загрязнителей атмосферного воздуха.

Размеры СЗЗ устанавливаются в зависимости от мощности, характера и количества выделяемых в окружающую среду токсических и пахучих веществ, создаваемого шума, вибрации и др. вредных физических факторов.

СЗЗ устанавливаются от всех наземных объектов, являющихся источником химического, биологического или физического воздействия на среду обитания и здоровье человека. Использование площадей таких зон может осуществляться с учетом ограничений, установленных санитарными нормами. В частности, в СЗЗ зоне запрещается размещать:

- жилые дома и социальные объекты (детские сады, школы, поликлиники и пр.).

- дачные и садово-огородные участки;

- предприятия пищевой промышленности, предприятия по производству оборудования для пищевой промышленности, склады готовой продукции, комплексы водопроводных сооружений для подготовки и хранения питьевой воды.

В границах СЗЗ допускается размещать объекты с производствами меньшего класса вредности, чем основное производство [6].

*Законодательством о недрах* запрещается строительство зданий гражданского назначения в границах выявленных месторождений полезных ископаемых, а при проведении подземных горных работ на застроенных территориях предусматриваются меры защиты существующих зданий и сооружений.

Таким образом, в России сложились определенные правовые и технические нормы и механизмы, регулирующие землепользование и застройку промышленных городов в целях обеспечения безопасности их территорий.

При этом, возникает вопрос, а что же делать с теми городскими территориями, которые уже давно застроены без учета требований современных норм и правил?

Рассмотрим такие проблемы на примере уральских городов.

Урал – высокоразвитый промышленный регион России, в котором наблюдается высокая концентрация производственных предприятий и городских населенных пунктов. Достаточно сказать, что в Свердловской области насчитывается 48 городов, в Челябинской – 30, а в Пермской крае – 25. Практически все они являются промышленными, так как на их территориях расположены предприятия с производствами различных классов вредности, включая такие, которые современным законодательством отнесены к числу особо опасных [7].

Главными проблемами многих уральских городов являются экологические и техногенные проблемы, вызванные загрязнением воздушного и водного бассейнов, а также почвенного покрова. Основными источниками плохой экологической обстановки

являются предприятия горнодобывающего, металлургического, химического комплекса, ГРЭС и др.

На сегодняшний день, во многих из этих городов в зонах влияния опасных и особо опасных объектов, в том числе в границах СЗЗ предприятий, оказались жилые дома, детские сады, школы, предприятия торговли и пр., построенные в советский период в соответствии с градостроительной политикой государства, по принципу соцгородков [7].

В своем докладе на 12 международной конференции «Российские регионы в фокусе перемен» (УрФУ, ноябрь 2017 г.) автор статьи в очередной раз поднимал вопрос о эколого-экономических проблемах промышленных городов Свердловской области.

Решение их предусматривает реализацию ряда технологических и градостроительных мероприятий, к которым относятся:

- вывод жилых и социальных объектов за границы СЗЗ, снос ветхих строений и изменение видов использования капитальных объектов на разрешенные правилами землепользования и застройки;

- максимальное озеленение территорий СЗЗ специальными породами деревьев и кустарников и территорий городов в целом.

Необходимо отметить, что генеральными планами городов предусматриваются названные мероприятия, но пока их реализация осуществляется далеко не везде и не в полном объеме по причине отсутствия финансирования.

Главной особенностью многих уральских городов является присутствие еще одного источника техногенной нагрузки – объектов горнопромышленного комплекса (ГПК). Только в Свердловской области половина городов относится к группе горнопромышленных, так как на их территориях или в непосредственной близости от их границ находятся горнодобывающие и горно-перерабатывающие предприятия. И это, не считая рабочих поселков [8].

Безусловно, ГПК – важнейший базовый элемент народного хозяйства и играет определяющую роль в экономике государства, т. к. является поставщиком большей части минерального сырья и топлива [9]. При этом, горнодобывающее производство оказывает существенное негативное влияние на окружающую среду и территории городов, в границах некоторых находятся карьерные выработки и отвалы горных пород (Асбест, Волчанск, Еманжелинск, Карпинск, Коркино, Н-Тагил и др.), занимающие огромные территории, подземные горные выработки (Березники, Березовский, Краснотурьинск, Н-Тагил, Соликамск и др.), проявляющиеся себя в виде плавного оседания земной поверхности или провалов [10].

Авторы в своих многочисленных докладах и публикациях неоднократно обращались к проблемам, вызванным горными работами, главным образом к их последствиям, к накопленному за 300 лет разработки уральских месторождений полезных ископаемых экологическому и экономическому ущербу.

Многие исследователи считают, что в настоящее время не представляется возможным дать сравнительную количественную оценку влияния на окружающую среду горного производства и других видов деятельности человека, поскольку отсутствуют научно-методические основы для такого сравнения. Применение же различных частных критериев не позволяет получить однозначный ответ на этот вопрос.

Например, японский учёный М. Накао разделяет негативное воздействие горного производства на окружающую среду на следующие группы:

- осадка земной поверхности вследствие образования подземных пустот, которые возникают при извлечении полезных ископаемых и откачке шахтных вод;

- ущерб сельскому хозяйству, рыболовству и лесоводству от воздействия откачанных шахтных вод и выделений газов, содержащих сернистые оксиды;

- ущерб живым существам, строениям и земельным угодьям вследствие образования терриконов, отстойников шахтных вод и складирования отходов.

Эта классификация не отражает специфики горнопромышленных городов и всех особенностей воздействия горного производства на окружающую среду.

Другие исследователи делают акцент на геомеханические изменения, обусловленные:

- строительством карьеров, отвалов, отстойных водоёмов, различных насыпей и траншей;

- деформациями поверхности в результате ведения горных работ;

- хранением отходов обогатительных фабрик;

- монтажными работами, работой тяжёлого оборудования и др. [9].

Как бы то ни было, практически все из них говорят о деформациях земной поверхности, возникающих над выработанными пустотами. При этом никто не ставит вопрос, насколько опасными являются ПГВ для жизненного пространства городов.

*Провалы* – довольно частое явление в районных с развитой горнодобывающей промышленностью, таких как Урал. Они могут быть связаны с суффозионными процессами и другими причинами. Отличительной чертой их является внезапность проявления и непредсказуемость во времени. В местах провалов образуются воронки, а на поверхности возникают необратимые деформации, опасные для застроенных территорий, соответственно, представляющие угрозу жизни людей.

Таким образом, техногенная нагрузка на территории горнопромышленных городов, включающих ПГВ, носит двойной характер. Например, в городе Краснотурьинске Свердловской области на центральные городские кварталы, застроенные в 50-60-е годы прошлого века многоквартирными жилыми домами и зданиями социального и общественного назначения, оказывает влияние не только северная промзона, расположенная в наветренной стороны, но и старые ПГВ бывших Турьинских рудников. В этой части города встречаются небольшие, по сравнению с поселком Медный, провалы, но есть здания, которые буквально «трещат по швам» [10].

Другим проблемным городом Свердловской области является Березовский, расположенный недалеко от Екатеринбурга. По данным РосНИИВХ (Екатеринбург) в результате ведения подземных горных работ на Березовском руднике, на территории города образовалось большое количество воронок глубиной до 3 метров, диаметром в 3-5 метров, так называемых зон сдвижения. Общий объем всех воронок и провалов около 600 тыс. куб. метров, время их образования относится к 1950-70 гг. Большинство провалов находится в непосредственной близости от жилых массивов, представляя реальную угрозу для горожан. Кроме того, под влиянием шахтного водоотлива сформировалась депрессионная воронка площадью до 60 кв. километров, включающая в себя всю городскую территорию [11].

Город Березники Пермского края стоит на территории, подработанной горными выработками (предприятие «Уралкалий»). В процессе отработки калийного месторождения не удалось в полной мере обеспечить сплошность и водоупорные свойства покровных отложений, поэтому атмосферные осадки проникают в очистные выработки, растворяя калийную соль. Оставленные для поддержания пород в кровле целики постепенно растворяются и перестают выполнять свою обеспечивающую устойчивость роль. В результате, обрушается поверхность и уходят под землю производственные корпуса не только в производственной зоне, но и в селитебной – большинство жителей города

придется переселять из-за угрозы обрушения горных пород и сдвижения массивов на огромных территориях.

Устойчивое развитие территорий городов и обеспечение безопасности жизнедеятельности населения могут быть достигнуты в результате подготовки документов территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки территорий с учетом результатов комплексного анализа и оценки состояния земель и застроенных территорий. В этом случае, необходимо учитывать, что комплекс оценочных мероприятий при освоении новых территорий и реконструкции застроенных территорий несколько отличаются.

В целом, анализ и оценка подработанных ПГВ территорий включает:

- 1) экономико-географические и физико-географические характеристики района или состояние застроенных территорий;
- 2) выявление нарушенных горными работами земель;
- 3) оценка техногенных факторов и источников воздействия;
- 4) сбор данных по источникам техногенного влияния:
  - о их месторасположении и состоянии;
  - о технологии и времени производства горных работ;
  - об основных побочных продуктах (отвалы, отстойники, канавы и пр.).
- 5) формирование границ зон влияния ПГВ в зависимости от уровня их опасности для городского землепользования и застройки;
- 6) проведение инженерных изысканий;
- 7) подготовка градостроительных регламентов для всех видов зон.

Для выполнения таких работ в нашей стране сложилась достаточная нормативно-техническая и инструментальная база, следовательно, реализация их возможна.

*По пункту 2.* К нарушенным относятся земли, характеризующиеся отсутствием почвенного покрова, образованием неорельефа, требующего проведения планировочных работ, изменением характера сложения и состава почвообразующих пород.

В соответствии с ГОСТ 17.5.1.01 *земли нарушенные* – это земли, утратившие первоначальную природную, хозяйственную и (или) социальную ценность и (или) являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с нарушением почвенного и растительного покрова, гидрологического режима и образованием неорельефа в результате негативного воздействия антропогенных и природно-антропогенных процессов.

По происхождению процессов нарушения земель подразделяют на антропогенные, включая техногенные, и природно-антропогенные. К антропогенным классам относятся земли, подвергшиеся воздействию человека на окружающую среду, которое непосредственно вызвало нарушение земель и их почвенного покрова [12].

Классификация нарушенных земель, применительно к зонам ведения горных работ, представлена в табл. 1.

По результатам выполненного анализа готовится заключение о состоянии земель на обследуемой территории, степени их деградации и нарушения.

В 2003 году были проведены исследования воронок обрушения и провалов (образовавшихся в результате ведения подземных горных работ на Березовском руднике), находящихся в пределах г. Березовского. В результате были составлены карты зон обрушения. Предполагалось, что это первый шаг к реализации комплексных мероприятий по рекультивации нарушенных горными работами земель в Березовском. Над разработкой мер по рекультивации нарушенных земель работали Институт геофизики Ураль-

ского отделения РАН, Уральский филиал ВНИИ маркшейдерского дела и горной геомеханики, ОАО "Унипромедь" и др. [11].

**Таблица 1 – Классификация нарушенных земель (ГОСТ 17.5.1.01)**

| Разряд           | Класс                                     | Тип                                 | Вид                             | Подвид   |
|------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|--|
| Нарушенные земли | Антропогенные (техногенно-денудационные)  | Выемки земляные                     | Шурфы                           | Неглубокие, глубокие   |
|                  |   | Деформированные земли шахтных полей | Прогибы                         | Западинные (до 1,5 м)  |
|                  |   |                                     | Провалы                         | Котловинные (1,5-5 м), каньонообразные (5-15 м), наклонные террасированные |
|                  | Антропогенные (техногенно-аккумулятивные) | Отвалы внешние                      | Платообразные одноярусные       | Невысокие (до 15 м)  |
|                  |   |                                     | Отвалы конические (терриконики) | Невысокие (до 30 м), высокие (более 30 м)                                  |
|                  |   |                                     |                                 |  |

Одним из методов изучения техногенной трансформации компонентов окружающей среды, в том числе деформаций земной поверхности, является ретроспективное исследование, основанное на использовании разновременных материалов дистанционного зондирования поверхности Земли (МДЗ). Метод направлен на выявление тенденций и закономерностей изменения во времени геологической среды и техногенной трансформации геосистем. МДЗ также может показать места образования провалов.

*По пункту 3.* На данном этапе работ составляется карта техногенных нагрузок изучаемой территории, на которую наносятся размещенные в пространстве источников техногенного воздействия, зоны их возможного влияния.

*По пункту 4.* Необходимые сведения о современных ПГВ сосредоточены в маркшейдерских службах предприятий ГПК и органах Ростехнадзора. Сведения о старых (наиболее опасных для застроенных территорий ПГВ) могут иметься в архивах и музеях городов, но именно о них данные, как правило, отсутствуют.

Сегодня существуют различные технологии выявления ПГВ. Большое значение для решения данного вопроса имеют исследования института горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург). Разработанная методика использовалась для выявления безопасных для строительства участков на подработанных территориях в городах Березовский и В-Пышма [13].

Большое значение сегодня в вопросе формирования сведений о ПГВ имеет деятельность кадастровых инженеров, которые занимаются сбором информации о зданиях и сооружениях, в том числе подземных, в том числе о их пространственном положении, для постановки их на ГКУ. К методам и технологиям производства таких работ неоднократно обращались специалисты УГГУ [14]. Главным недостатком является тот факт, что ЕГРН не аккумулирует сведения о состоянии сооружений.

*По пункту 5.* Для определения границ зон влияния ПГВ *горное законодательство* предусматривает соответствующие методики, позволяющие расчетным путем определить границы наиболее опасных зон (мульды сдвижения). В своих научных исследованиях автор статьи предложил классифицировать зоны влияния ПГВ по уровню опасности для землепользования и застройки. В основе определения границ таких зон лежат два метода: расчетный и практический (инструментальный). Расчетный метод аналогичен тому, что применяют горняки. Величину зон определяет уровень опасности

ПГВ. Инструментальный метод предусматривает натурное обследование территории и выявление границ деформаций земной поверхности [15].

Здесь уместно отметить значение *мониторинга земной поверхности*, который служит главным источником информации об изменениях состояния земель. Целью мониторинговых наблюдений является контроль за оседанием земной поверхности, выявление зон ее возможных просадок, прогноз деформаций земной поверхности во времени. При необходимости разрабатывается проект, закладываются наблюдательные станции и производят режимные наблюдения за сдвижением земной поверхности, а также разрабатывается предложение по предупреждению и ликвидации ее просадок.

В середине 90-х годов кафедрой геодезии и кадастров УГГУ были проведены работы по обследованию состояния застроенных территорий в центральном районе г. Краснотурьинска. К сожалению акция носила разовый характер, т. к. местные власти, видимо, не были заинтересованы в решении вопроса.

*По пункту 6.* Долговечность зданий и сооружений во многом зависит от прочности их оснований. Отсутствие детальной инженерно-геологической информации на базе которой ведется проектирование и строительство, недооценка отдельных факторов, появление дополнительных негативных явлений в процессе эксплуатации, например, проходки горных выработок метрополитенов, подтопления, часто ведет к деформациям зданий и даже аварийным ситуациям.

Одним из видов выявления неблагоприятных для строительства территорий (земель) являются *инженерные изыскания*.

Инженерные изыскания – это изучение природных условий и факторов техногенного воздействия в целях рационального и безопасного использования территорий и земельных участков в их пределах, подготовки данных по обоснованию материалов, необходимых для территориального планирования, планировки территории и архитектурно-строительного проектирования [5].

Инженерно-геологические изыскания в районах просадочных грунтов наиболее важная составляющая исследований. Они проводятся в соответствии с требованиями СП 47.13330.2012 (СНиП 11-02-96), требованиями нормативных документов регионального уровня, требованиями к составу и объему изыскательских работ, установленными с учетом специфических особенностей просадочных грунтов, распространенных на данной территории. Отнесение грунтов к просадочным производится по ГОСТ 25100-82, а выделение типов грунтовых условий по просадочности (I и II типы) осуществляется в соответствии с разделом 3 СНиП 2.02.01-83\*.

*По пункту 7.* На основании анализа и оценки подработанных ПГВ территории:

- устанавливается система планировочных ограничений, которые, как правило, совпадают с границами зон влияния техногенных объектов;
- разрабатываются градостроительные регламенты, устанавливающие возможные виды разрешенного использования земельных участков в зонах влияния ПГВ и др. техногенных объектов, ограничения на строительство, в том числе применение тех или иных конструктивных схем;
- устанавливается система правовых ограничений в части предоставления земельных участков в пользование.

Из всего сказанного можно сделать *вывод*, что горное производство по характеру своего воздействия на компоненты окружающей природной среды является одним из наиболее масштабных и долговременных. Однако, планирование и регулирование землепользования и застройки в зонах влияния ПГВ, основанное на выше изложенных

принципах, обеспечит устойчивое развитие территорий горнопромышленных городов и позволит сформировать безопасную среду обитания человека.

### Список литературы

1. Земельный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Закон от 25.10.2001 № 136-ФЗ (с изменениями, вступившими в силу в 2017). Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
2. Щитинский В.А. Проект Программы ООН по населённым пунктам (ООН-Хабитат).
3. Щитинский В.А. Проект Программы «Устойчивое развитие населённых пунктов Российской Федерации».
4. Щитинский В.А. Градостроитель - профессия или образ жизни?: сборник статей. СПб: Зодчий, 2013. 151 с.
5. Градостроительный кодекс РФ Российской Федерации [Электронный ресурс]: Закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ (с изменениями, вступившими в силу в 2017). Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов [Электронный ресурс]: утв. Постановлением Главного государственного врача РФ от 25.09.2007 № 74. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
7. Колчина М.Е., Колчина Н.В. Влияние техногенных объектов на состояние и использование земель промышленных городов Урала // Всероссийская научн.-практическая конференция «Агротехнологии XXI века», 8-10 ноября 2017 г. [материалы]: в 2ч. Ч.2. / редкол. Ю.Н. Зубарев [и др.]. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2017. С. 116-119.
8. Колчина М.Е. Правовое регулирование использования земель населенных пунктов в зонах влияния опасных подземных выработок // II Междунар. научн.-практ. конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 3-4 апреля 2013 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 1-10 апреля 2013 г.): сборник докладов. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2013. С. 75-84.
9. Воздействие горного производства на окружающую среду [Электронный ресурс] / [сайт]. URL: <http://www.refstar.ru>, (дата обращения 2014).
10. Колчина М.Е., Коновалов В.Е. Модели устойчивого развития территорий в горнопромышленных городах Урала // Эколого-экономические проблемы развития регионов и стран (устойчивое развитие, управление, природопользование) / Материалы 14-й Международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2017. С. 202-206.
11. Старые провалы и воронки в земле угрожают безопасности жителей Березовского [Электронный ресурс] / [сайт]. URL: <http://viperson.ru>, (дата обращения 2015)
12. ГОСТ 17.5.1.01-83. Охрана природы. Рекультивация земель. термины и определения. [Электронный ресурс]: Стандарт межгосударственный. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
13. Сашурин А.Д. Сдвигение горных пород на рудниках черной металлургии. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. 268 с.
14. Колчина Н.В. Формирование объектов кадастрового учета горнодобывающего предприятия, разрабатывающего месторождения полезных ископаемых подземным способом // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 3. № 2. С. 225-229.
15. Колчина М.Е. Обеспечение безопасности территорий и жизнедеятельности населения в городах, подверженных негативному влиянию подземных горных выработок // Геомеханика в горном деле: доклады научно-технической конференции 12-14 октября 2011 г. Екатеринбург: ИГД УрО РАН. 2012. С. 126-134.

## ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАДАСТРОВУЮ СТОИМОСТЬ ЗЕМЕЛЬ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

КОНОВАЛОВ В. Е., БЕДРИНА С. А., ЕРШОВА Т. Л.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Рассматриваются основные ценообразующие факторы, влияющие на кадастровую стоимость земель горнопромышленных территорий.

**Ключевые слова:** кадастровая оценка, недропользование, горнопромышленные территории, земли, земельные участки, ценообразующие факторы.

## THE MAIN FACTORS AFFECTING THE CADASTRAL VALUE OF LANDS OF THE MINING TERRITORIES

KONOVALOV V. E., BEDRINA S. A., ERSHOVA T. L.

**Abstract.** The main price-forming factors affecting the cadastral value of the lands of mining territories are considered.

**Keywords:** cadastral valuation, mining, mining site, land, land, pricing factors.

В настоящее время горнопромышленный комплекс, обеспечивающий добычу полезного ископаемого и его первичную переработку, несмотря на свою промышленную направленность, достаточно часто формируется на земельных участках, не относящихся к землям промышленности и иного специального назначения, а по существующему законодательству может располагаться на землях других категорий.

Земельный кодекс РФ не рассматривает земли недропользования как отдельную категорию земель [1], но с 2014г. они определены в отдельную группу в соответствии с Классификатором видов разрешенного использования земельных участков [2]. Данный документ включает в себя возможность осуществления следующего перечня работ:

- осуществление геологических изысканий;
- добыча недр открытым (карьеры, отвалы) и закрытым (шахты, скважины) способами;
- размещение объектов капитального строительства, в том числе, подземных, в целях добычи недр;
- размещение объектов капитального строительства, необходимых для подготовки сырья к транспортировке и (или) промышленной переработке;
- размещение объектов капитального строительства, предназначенных для проживания в них сотрудников, осуществляющих обслуживание зданий и сооружений, необходимых для целей недропользования, если добыча недр происходит на межселенной территории [2].

В горнопромышленную территорию (ГПТ) входят горнодобывающее и горноперерабатывающее предприятия, а также зоны вредного воздействия на окружающую среду, вместе образующие горнопромышленный комплекс [3].

Следовательно, при проведении государственной кадастровой оценки земель горнопромышленных территорий должны быть учтены их особенности в соответствии с утвержденной методикой для соответствующих категорий земель [4].

В недропользовании, где участок земной поверхности выступает как кладовая минерального сырья, оценка объектов должна обуславливаться следующими составля-

ющими: сырьевая или функциональная ценность природного ресурса как продукта переработки и потребления; инженерно-геологические условия залегания минерального ресурса; экономико-географическое положение участка недр.

Кадастровая стоимость земельных участков имеет рыночную природу и может быть использована с целью совершения сделок с земельными участками, в частности, при определении размера арендной платы, она представляет собой интегральную характеристику, отражающую как ценность конкретного земельного участка, так и уровень экономического развития территории в целом. Кроме того, кадастровая стоимость земельного участка является функцией от целого ряда ценообразующих факторов.

Условно можно провести кластеризацию факторов, которые должны учитываться при определении кадастровой стоимости земельных участков, занятых в целях разработки месторождений полезных ископаемых (табл. 1).

**Таблица 1 – Ценообразующие факторы, учитываемые при государственной кадастровой оценке земель ГПТ**

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>1 кластер</b> | <b><i>Природные условия оцениваемой территории</i></b><br>природно-климатические<br>инженерно-геологические<br>гидрологические и гидрогеологические условия<br>степень подверженности территории разрушительным воздействиям природы  |
| <b>2 кластер</b> | <b><i>Ценность и объем запасов полезных ископаемых</i></b><br>существующие запасы полезных ископаемых<br>ценность добываемого полезного ископаемого, а также сопутствующих полезных компонентов<br>различные технологические свойства полезного ископаемого и компонентов, влияющих на добычу   |
| <b>3 кластер</b> | <b><i>Инженерно-технологические условия</i></b><br>горнотехнические и горно-геологические условия разработки месторождения (характер залегания и конфигурация рудных тел)<br>физико-технические характеристики рудных тел и вмещающих пород, возможность применения высокопроизводительной горной техники<br>обогатимость руд<br>варианты технологий в обогащении и металлургии |
| <b>4 кластер</b> | <b><i>Возможность обеспеченности ресурсами</i></b><br>трудовыми ресурсами<br>инженерной инфраструктурой<br>благоустройство территории земель  |
| <b>5 кластер</b> | <b><i>Транспортная доступность</i></b><br>доступность объектов грузоперевозок<br>трубопроводы<br>технического обслуживания  |
| <b>6 кластер</b> | <b><i>Экологические факторы</i></b><br>наличие особо охраняемых природных территорий, защитных лесов<br>учет эстетической и ландшафтной ценности территории<br>степень различных видов загрязнения таких территорий<br>необходимость рекультивации и восстановления нарушенных земель   |

*Первый кластер факторов* должен учитывать природно-климатические условия оцениваемой территории, инженерно-геологические, гидрологические и гидрогеологические условия и степень подверженности территории разрушительным воздействиям природы.

Природно-климатические условия характеризуются коэффициентом увлажнения (количество осадков/испаряемость), направлением, скоростью и продолжительностью ветров, периодом и высотой снежного покрова, глубиной промерзания почв, наличием многолетней мерзлоты, водных объектов, крупных площадок, пригодных для размещения объектов ГПК и др.

*Второй кластер факторов* должен учитывать существующие запасы полезных ископаемых, ценность добываемого полезного ископаемого, а также сопутствующих полезных компонентов; различные технологические свойства полезного ископаемого и компонентов, влияющих на добычу и переработку.

Запасы, извлекаемые из месторождения, характеризуются количеством добываемых полезных ископаемых за период, этот период приравнивают к сроку, на который производится оценка земель промышленности. Содержание основных полезных компонентов характеризуется физическим и минералогическим составом добываемого полезного ископаемого.

*Третий кластер факторов* должен учитывать горнотехнические и горно-геологические условия разработки месторождения: характер залегания и конфигурация рудных тел, физико-технические характеристики рудных тел и вмещающих пород, возможность применения высокопроизводительной горной техники; обогатимость руд; варианты технологий в обогащении и металлургии.

Важной характеристикой минерально-сырьевых ресурсов является их потенциальная экономическая эффективность. Это зависит в первую очередь от условий залегания, качества и территориального (географического) размещения минерально-сырьевых ресурсов. Указанные факторы определяют размеры затрат на промышленное освоение, вовлечение и использование минерально-сырьевых ресурсов. Величина оценки земельного участка так или иначе должна связываться с затратами на освоение природных ресурсов (воспроизводство) с эффектом от их эксплуатации (учет ренты), с разнообразием ресурсооценочных условий и факторов, различием затрат и денежной ценностью вырабатываемых полезных продуктов из минерального сырья.

*Четвертый кластер факторов* должен учитывать возможность обеспечения трудовыми ресурсами, инженерной инфраструктурой и благоустройство территории земель.

Наличие централизованных сетей электроэнергии, водоснабжения и сетей телефонной связи, наличие автомобильных дорог с твердым покрытием в пределах месторождения - характеризует уровень общего благоустройства. Доступность трудовых ресурсов, сырьевой и энергетической базы, близость потребителей продукции, характер инфраструктуры обеспечивает эффект от агломерации производств и инвестиционный климат (инвестиционная привлекательность и риск).

*Пятый кластер факторов* должен учитывать доступность объектов для грузоперевозок, либо наличие трубопроводов, а также технического обслуживания.

Важным фактором является расстояние до основного потребителя продукции, в том числе наличие железнодорожных путей и/или наличие подъездных путей для грузового автотранспорта к горнопромышленной территории.

*Шестой кластер факторов* должен учитывать наличие особо охраняемых природных территорий, защитных лесов, учитывать эстетическую и ландшафтную ценность территории, степень различных видов загрязнения таких территорий.

Наличие специально охраняемых лесов, ландшафтных заказников и памятников природы, охраняемых и исчезающих видов растительности, степень естественной защищенности от поверхностного загрязнения, уровень фонового загрязнения почвенного покрова (по суммарному показателю химического загрязнения), степень фонового загрязнения (по суммарному показателю химического загрязнения относительно ПДК), степень техногенной нарушенности природных ландшафтов (площадь деградированных территорий, %), а также наличие объектов хранения производственных отходов (отвалы, накопители жидких отходов) характеризуют данную группу факторов.

При определении кадастровой стоимости земельных участков, предоставленных недропользователям для разработки месторождений полезных ископаемых, одним из главных факторов является экологическая составляющая – восстановление нарушенных, деградированных и загрязненных земель.

Необходимость принимать во внимание количество и содержание ценообразующих факторов, которые более полно характеризуют объект оценки, неизбежно повлечет за собой наибольшую объективность и точность в оценке земельных участков горнопромышленных территорий, в том числе и после отработки месторождений полезных ископаемых.

#### **Список литературы**

1. "Земельный кодекс Российской Федерации" от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 08.03.2015) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.04.2015) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//http://base.consultant.ru](http://base.consultant.ru).
2. Об утверждении классификатора видов разрешенного использования земельных участков: [утв: пр. Минэкономразвития РФ от 01.09.2014 г. №540] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//http://base.consultant.ru](http://base.consultant.ru).
3. Коновалов В. Е. Взаимодействие объектов недвижимости в горнопромышленном комплексе. // Землеустройство, кадастр, мониторинг земель. 2011. № 7. С. 78–85.
4. “Об утверждении методических указаний о государственной кадастровой оценке” Приказ Министерства экономического развития РФ от 12 мая 2017 г. № 226 1 июня 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//http://base.consultant.ru](http://base.consultant.ru).

## ПРОБЛЕМА ВОЗРОЖДЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

БИЛИН А. Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук

<sup>2</sup> Мурманский арктический государственный университет

**Аннотация.** Освоению объектов стратегической сырьевой базы редкоземельной промышленности препятствует ситуация на рынке редкоземельных элементов и отсутствие государственной политики возрождения и развития стратегических отраслей металлургии. Необходимо создавать нормативно-правовую базу для государственно-частного партнерства при реализации проектов, связанных с капиталоемким горнорудным производством при освоении новых рудных районов.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, минерально-сырьевая база, государственная политика, государственно-частное партнерство.

## A PROBLEM OF REVIVAL OF RARE-EARTH INDUSTRY IN RUSSIA

BILIN A. L.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Science

<sup>2</sup>Murmansk Arctic State University

**Abstract.** The development of the objects of the strategic raw-material base of the rare-earth industry is prevented by the situation on the rare-earth element market and the absence of a state policy for the revival and development of strategic metallurgy industries. It is necessary to create a legal and regulatory framework for public-private partnerships when implementing projects related to capital-intensive mining of new ore areas.

**Keywords:** rare-earth elements, raw material base, state policy, public-private partnerships.

В качестве первоочередных объектов восстановления сырьевой базы редкоземельной промышленности в России рассматриваются три направления: освоение Томторского рудного узла в северо-западной Якутии; извлечение редкоземельных элементов (РЗЭ) из апатитового концентрата Хибинских руд и освоение эвдиалитового комплекса Ловозерского щелочного массива нефелиновых сиенитов. Однако главной проблемой является отсутствие технологии глубокой переработки добываемого сырья.

### Сферы применения редкоземельных элементов

Редкоземельные элементы (РЗЭ) – металлы и их оксиды, – используются в самых разных областях современной техники: в радиоэлектронике, приборостроении, атомной технике, машиностроении, химической промышленности, в металлургии и т. д. (рис. 1)

La, Ce, Nd, Pr повышают светопрозрачность стекол, входят в состав стекол специального назначения, пропускающих инфракрасные лучи и поглощающих ультрафиолетовые лучи, кислотно- и жаростойких стекол. РЗЭ применяют для создания лазерных и других оптически активных и нелинейных элементов в оптоэлектронике. На основе Nd, Y, Sm, Er, Eu получают сплавы с рекордными магнитными свойствами для создания постоянных магнитов высокой мощности. В химической промышленности они используются в производстве пигментов, лаков и красок. В нефтяной промышленности – катализаторов. РЗЭ применяются при производстве систем наведения и ночного видения,

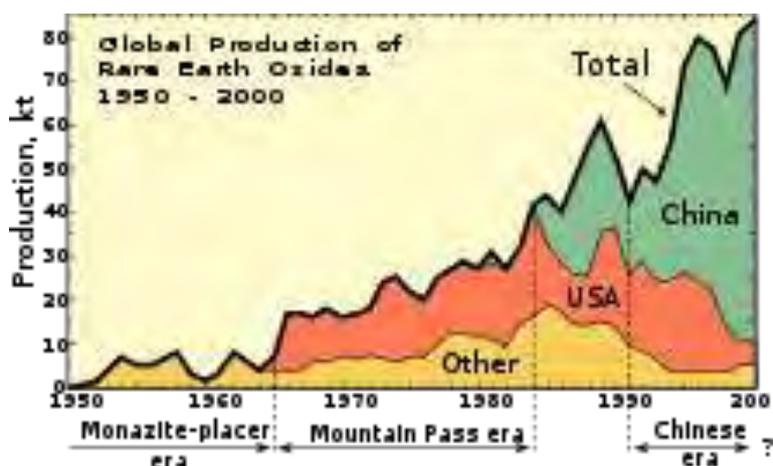
беспилотных летательных аппаратов, гибридных автомобилей, энергосберегающих ламп.



**Рис. 2. Структура мирового потребления РЗЭ**  
(по данным «Rhodia Electronics & Catalysis», «Metal Rare Earth», 2011).

Академик А.Е. Ферсман ещё в 30-х годах 20 века подчеркнул, что редкие и редкоземельные элементы в недалеком будущем будут «витаминами промышленности», ее важным стратегическим потенциалом, пропагандируя стратегическое значение минерального сырья в обеспечении национальной и экономической безопасности страны.

Рост производства и потребления РЗЭ в мире идет опережающими темпами. По данным Геологической службы США, если в 1980 году в мире производилось около 26 тыс. тонн РЗЭ (в оксидах), то в 2008 году добывалось уже 124 тыс. тонн в год (рис. 2), а в 2015 – около 154 тыс. тонн, из которых 150 тыс. т – в Китае.



**Рис. 2. Рост добычи РЗЭ до 2000 года, тыс. т**

В СССР редкоземельная промышленность занимала 3-е место в мире и обеспечивала потребности как внутреннего рынка, так и экспорта и была сосредоточена в нескольких союзных республиках. В 1990 г. было произведено 8,5 тыс. тонн РЗЭ в пересчете на суммарные оксиды, из которых 5,5 тыс. тонн выпускал МинАтом и 3,0 тыс.

тонн – МинЦветМет. С распадом СССР производство РЗ-продукции резко сократилось из-за нарушения хозяйственных связей России со странами СНГ и Балтии. Свертыванию способствовала и конверсия ВПК, так как более половины выпускаемой в СССР продукции использовалось в оборонной промышленности.

### Китай как лидер добычи и переработки РЗЭ

Развитию китайской РЗ-промышленности способствовала политика европейских и североамериканских компаний по переводу РЗ-технологий и оборудования в Китай в погоне за сырьем и дешевой рабочей силой. Кроме того, КНР последовательно проводит политику развития своего производства. При этом за 40 лет существенно изменилась структура китайского экспорта РЗЭ [1]. Изначально в 70-ые годы Китай экспортировал концентраты минералов, в 80-ые годы – химические соединения смешанных РЗЭ (карбонаты и хлориды). В начале 90-х годов – разделённые РЗЭ (оксиды и металлы). В конце 90-х годов – переработанные РЗЭ (люминофоры, магниты). И в 2000-ые годы – изделия на основе редкоземельных материалов (телевизоры, компьютеры, электрические моторы).

Заняв лидирующие позиции в переработке РЗЭ Китай постепенно начал проводить политику «ограничения экспорта». В результате цены начали упорно расти, а в 2011 г. резко взлетели в несколько раз (рис. 3).

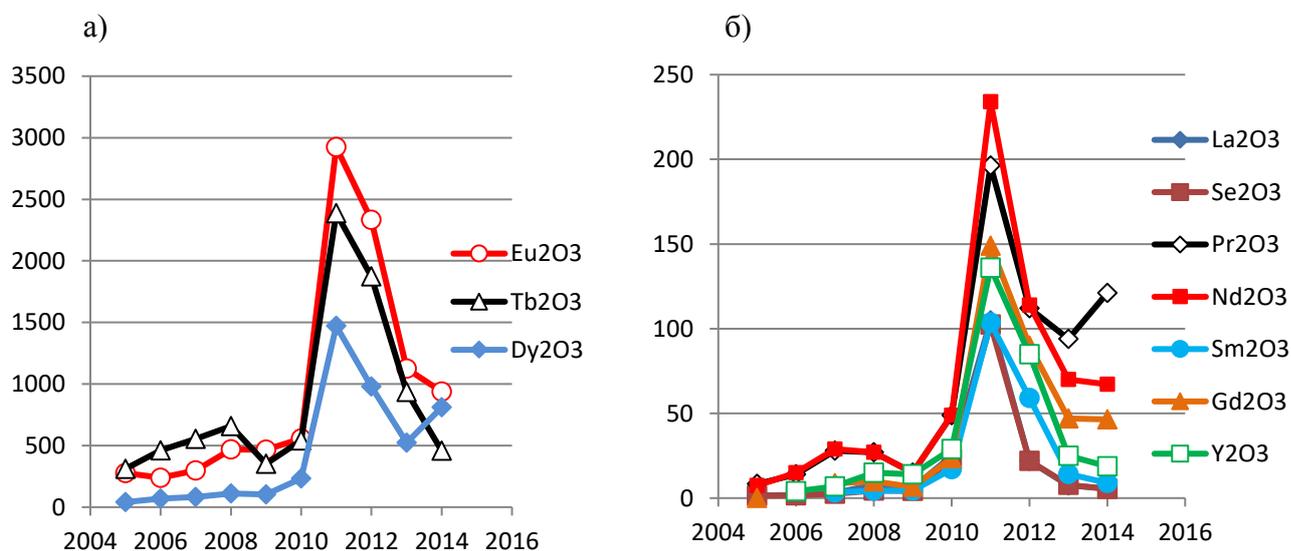


Рис. 3. Изменение фактических цен на оксиды РЗЭ, \$/кг (по данным Лондонской биржи РЗЭ)

### Реакция развитых стран на ценовой шок 2011

Введение КНР ограничений на экспорт не было неожиданностью для экспертов, которые отметили, что для Китая типична стратегия захвата рынка за счет демпинга, после чего следует постепенный подъем цен в разы для постоянных потребителей. В 2010 г. на Международной конференции «Magnetics 2010» в Орландо, США, ведущие компании-потребители РЗЭ с тревогой отметили [1], что:

- Прикладная наука по РЗЭ все реже встречается в колледжах и университетах США, а Китай готовит тысячи ученых по химии РЗЭ и прикладным наукам.
- Необходимо создание производства РЗЭ вне Китая, необходимы глобальные цепи поставки индивидуальных РЗЭ, должны быть созданы безопасные и разнообразные

источники технологий получения РЗЭ для новых технологий.

Ведущие компании США создали Консорциум по возрождению РЗ-промышленности, в задачи которого вошло:

- Привлечение внимания американского правительства к указанным проблемам, для обеспечения энергетической независимости и национальной безопасности.
- Лоббирование в конгрессе и в правительственных кругах необходимости срочного возрождения РЗ-промышленности.
- Продвижение научных программ и дисциплин по добыче и переработке РЗЭ в колледжах и университетах.

Так как РЗЭ широко используются в производстве вооружений и их нехватка угрожает национальной безопасности, Консорциум обратился за поддержкой в Министерство обороны США. Департамент науки и технологии Минобороны США квалифицировал Консорциум как «Модель Инновационного Предприятия», и рекомендовал заключить контракт под благоприятные условия и сроки финансирования для развития производства РЗЭ.

Можно дополнить, что в 2011 году исследовательская группа из Японии заявила об обнаружении на дне Тихого океана обширных залежей РЗЭ. Находка была якобы подтверждена образцами грунта в 78 местах, извлеченными со дна на глубинах от 3500 до 6000 м. Залежи располагаются в международных водах и тянутся к западу и востоку от Гавайев, а также к востоку от Таити и Французской Полинезии и, по оценкам исследователей, содержат от 80 до 100 млрд. метрических тонн редкоземельных материалов, что значительно больше 100 млн. тонн текущих разведанных запасов.

Трудно судить о том, являются ли проведенные исследования реальностью или это всего лишь информационный блеф, направленным на запугивание КНР. Также трудно оценить экономическую эффективность добычи РЗЭ с океанского ложа.

#### **Возможности возрождения редкоземельной промышленности в России**

Россия также объявила о необходимости принятия программы развития добычи и переработки стратегического сырья, куда относятся и РЗЭ. Можно отметить, что наша страна обладает вполне конкурентоспособными месторождениями РЗЭ. Не считая относительно мелких проектов попутного использования сырья или повторной переработки уже заскладированных хвостов, имеются три перспективных мега-проекта:

- Освоение уникального Томторского рудного узла в северо-западной Якутии.
- Извлечение РЗЭ из апатитового концентрата Хибинских руд [2,3].
- Освоение эвдиалитового комплекса Ловозерского щелочного массива нефелиновых сиенитов.

Проект освоения Томторского месторождения [4] последовательно развивается. В мае 2014 года прошел аукцион на право пользования участком недр Томторского месторождения для разведки и добычи руд, который выиграла компания ООО «Восток Инжиниринг».

Весной 2017 в Якутске состоялась рабочая встреча управляющего директора ООО «Восток Инжиниринг» с председателем постоянного комитета ГосСобрания Якутии по экономической, инвестиционной и промышленной политике, предпринимательству, туризму и развитию инфраструктуры [5].

«Восток Инжиниринг» проведены геологоразведочные работы и предполагается уже в первом квартале 2018 года выйти на государственную комиссию для постановки запасов на государственный баланс, после чего приступить к проектированию.

В качестве неоднозначных и проблемных вопросов было выделено, что на текущий момент нет окончательного понимания технологии переработки руд. Обогащение

руды предполагается производить за пределами Якутии – в Читинской области или в Красноярском крае. Окончательное решение по площадке обогатительного комплекса пока не принято, потому что до конца не определена технология конечного продукта, разработкой которой занимается Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского (ВИМС)». Транспортная инфраструктура также не утверждена и рассматриваются семь вариантов транспортировки руды к месту переработки.

Наибольшая доля запасов РЗЭ (~ 60%) от суммы учтенных государственным балансом связана с апатитовыми рудами Хибинской группы, перерабатываемой на фосфорные удобрения. Содержание РЗЭ в апатитовом концентрате (АК) составляет от 0,7 до 1% [6]. Учитывая масштабы его переработки (7-8 млн. т ежегодно), этот источник может обеспечить внутренние и экспортные потребности России. Эксперты отмечают, что по сравнению с лопаритом, он содержит в несколько раз больше наиболее дефицитных элементов – иттрия и европия. Перспективность создания редкоземельного производства на базе АК обусловлена также тем, что не требуется дополнительных затрат на извлечение РЗЭ из недр, отсутствуют также затраты на вскрытие сырья, перевод в раствор и очистку от основной массы кальция.

В 2008 г. разработана технология выделения суммарного редкоземельного концентрата из АК. В настоящее время построена опытно-промышленная нитка.

Как видно, эвдиалитовые руды Ловозерского горного массива не являются единственным источником развития сырьевой базы РЗЭ. Достоинством ловозерского проекта является наличие развитой горнодобывающей базы как в Мурманской области, так и Ловозерском районе, почти полное отсутствие вскрышных пород, наличие в Мончегорске необходимой для дальнейшей переработки эвдиалитового концентрата серной кислоты.

### **Изменение стратегии Китая**

После ценового шока 2011-2012 годов, заставившего развитие страны задуматься о восстановлении альтернативных добывающих производств, ситуация на рынке РЗЭ существенно изменилась. Во-первых, мировая экономика вошла в полосу хронической депрессии на грани скатывания в спад, что вызвало свертывание производств и снижение потребности в РЗЭ. Многие ведущие экономики мира, включая США, прогнозируют и осуществляют развитие своих экономик всего лишь на уровне  $0,5 \pm 1\%$ . Китай, став ведущей экономикой мира, объявил о снижении темпов развития с обычных 10 до 5%. Во-вторых, Китай отказался от своей стратегии реализации монопольного положения на рынке сырья РЗЭ и вернулся к своей прежней стратегии – экономического улучшения конкурентных производств за счет низких цен. Все это привело к тому, что цены 2014 года на многие РЗЭ вернулись на уровень цен 2004 – 2007 гг. После снижения цен в ведущие индустриальные страны приступили к созданию стратегических запасов РЗЭ, чтобы застраховать себя в будущем от неожиданностей. Проекты освоения производств РЗЭ и их переработки стали низко- или даже нерентабельными и страсти с альтернативными проектами потеряли свою экономическую самостоятельность.

Эксперты предлагают на выбор два сценария развития сырьевой конъюнктуры [7]: оптимистичный, при котором цены довольно быстро вернуться на уровень цен 2010 г. после чего будут повышаться опережая уровень инфляции на 5-6 % в год, и пессимистичный, при котором цены в 2015 г. установятся (ориентировочно) на уровне цен 2009 г. после чего будут долго оставаться на этом уровне, незначительно повышаясь или снижаясь.

И тот и другой сценарии носят вероятностный характер. Причем следует отметить, что в настоящее время (до 2017-го) реализуется пессимистичный сценарий, причем в еще более экстремальной форме – цены 2015 г. ниже уровня среднегодовых прогнозных цен 2014 г. Однако нельзя не признать, что как только положение в мировой экономике стабилизируется, и она перейдет к более-менее устойчивому росту, со временем проявится и опережающий рост потребности в РЗЭ. В такой ситуации КНР неминуемо вернется к политике постепенного повышения цен на РЗЭ (скорее всего, более осторожного, чем в 2010 – 2011 гг.).

### **Предложения в стратегию развития РЗ-промышленности России**

Во-первых, необходимо призвать не рассчитывать на быстрый коммерческий успех, а выстраивать долгосрочную «Программу развития редкоземельной индустрии». Цены на РЗЭ зависят от глубины их разделения – одно дело заниматься реализацией коллективных концентратов, другое дело – мишметаллов (сплавов редкоземельных элементов, являющихся промежуточным продуктом, получаемым при переработке руды, а также имеющих самостоятельное промышленное значение, например при производстве поглотителей кислорода в вакуумных трубках; в аккумуляторах, использующих гидриды металлов; в качестве пиррофорного материала в пиротехнике; как добавка при изготовлении сталей и других сплавов.), третье – разделенных металлов и их оксидов и, наконец, четвертое – продавать конечную продукцию их промышленного использования.

Поэтому необходима поддержка высшего образования в подготовке научных кадров и научных институтов для развития технологий углубленной переработки и промышленного использования РЗЭ, как делал и делает КНР.

Во-вторых, государственную программу «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов» необходимо наполнить содержанием, сформировав систему последовательной поддержки долгосрочных инвестиционных проектов. Необходимо учитывать, что горнодобывающие и перерабатывающие производства чрезвычайно капиталоемки и их промышленная реализация растягивается на несколько лет.

Необходимо создавать приемлемую нормативно-правовую базу для государственно-частного партнерства в части реализации проектов, связанных с горнорудным производством. Даже если инвестиционные проекты получают относительную эффективность, необходимо выстраивать систему софинансирования строительства горнодобывающих производств. Если, например, при инвестициях в 20 миллиардов рублей и тридцати годах реализации проекта Чистая дисконтированная прибыль проекта составляет 30 миллиардов рублей при ставке дисконтирования 10%, а Бюджетная эффективность – 60 миллиардов рублей, то инвестор вправе рассчитывать на то, что государство профинансирует развитие транспортной и энергетической инфраструктур, которые остаются в распоряжении государства, а также в жилищное и социально-культурно-бытовое строительство, обеспечит льготный долгосрочный государственный кредит (под 2% годовых над уровнем инфляции) и софинансирование (на уровне 30-40% со стороны сбербанка или внешэкономбанка, выполняющего функции Российского банка реконструкции и развития).

Учитывая, что многие месторождения РЗЭ находятся в удаленных горно-таежных районах, в районах Крайнего Севера или районах, приравненных к Крайнему Северу, часто без какой-либо инфраструктуры, для предприятий отрасли необходимы серьезные преференции и льготы, особенно на этапе строительства и освоения месторождений.

Российское руководство должно осознать, что без серьезных государственных инвестиций в развитие социальной, транспортной и хозяйственной инфраструктур освоение новых рудных регионов становится малопривлекательным и рискованным, особенно в условиях «низкой» ценовой конъюнктуры. При этом необходимо поддерживать развитие нескольких параллельных сырьевых проектов, а не устраивать конкурентную борьбу между ними с демпингом цен. При наличии взвешенной политики поддержки и полномасштабной программы развития редкоземельной промышленности со временем Россия способна обеспечить свои внутренние потребности и занять заметное место на мировом рынке высокотехнологичной редкоземельной продукции.

### Список литературы

1. Косынкин В.Д., Глебов В.А., Возрождение российского производства редких металлов – важная задача отечественной экономики // III Международная конференция «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества», г. Суздаль, Россия, 4-8 октября 2010 г. [www.ntsр.info/upload/My/sections/atom/redko.doc](http://www.ntsр.info/upload/My/sections/atom/redko.doc)
2. Громов Е. В., Билин А. Л. Оценка инвестиционной привлекательности разработки месторождения «Партомчорр»//Вестник Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2014, № 4 (19). -С. 76-82
3. Gromov E.V., Bilin A.L., Integrated processing of the Partomchorr deposit ores: assessment of investment attractiveness based on spatial and mathematical-economic modeling. 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, Bulgaria, vol. 3, pp. 429-436, 2015.
4. Минералы и месторождения России и стран ближнего зарубежья. <http://www.webmineral.ru/deposits/item.php?id=1270> (обращение 20.09.2017)
5. Томторское месторождение РЗМ: Виктор Фёдоров провёл рабочую встречу с управляющим директором ООО «Восток Инжиниринг» Сергеем Сергиенко. Сайт Государственного собрания Республики Саха (Якутии) (опубликовано 16.03.2017) <http://iltumen.ru/content/tomtorskoe-mestorozhdenie-rzm-viktor-fedorov-provel-rabochuyu-vstrechu-s-upravlyayushchim-di> (обращение 20.09.2017)
6. Самонов А.Е., Самонов А.А. Каковы перспективы возрождения редкоземельного производства в России? Каковы тенденции этого рынка? 2011. Аналитический портал химической промышленности. Новые химические технологии. [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=385](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=385) (обращение 21.09.2017)
7. Гончаров В.В. Анализ цен редкоземельных металлов по разным источникам и прогнозу до 2018 года. // Актуальные вопросы получения и применения РЗМ-2015. Сборник материалов международной научно-практической конференции. Москва, 25 июня 2015. – М.: ОАО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», – 16-22 с.

*Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда №14-17-00761П.*

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИНОГО СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ В РАМКАХ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

БОРИСОВА Ю. С.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье приведен анализ использования земель промышленности и иного специального назначения Свердловской области в периоды 2012-2016 гг. на основе открытых данных. Приведены данные по количественному изменению земель данной категории по угодьям, в том числе по нарушенным землям.

**Ключевые слова:** Мониторинг земель, мониторинг окружающей среды, нарушенные земли.

## ANALYSIS OF THE USE OF INDUSTRIAL LAND AND OTHER SPECIAL PURPOSE ON THE TERRITORY OF SVERDLOVSK REGION WITHIN THE FRAMEWORK OF ENVIRONMENTAL MONITORING

BORISOVA Yu. S.

Ural State Mining University

**Abstract.** The article presents an analysis of the use of industrial land and other special purpose Sverdlovsk region in the period 2012-2016 years on the basis of open data. The data on quantitative changes of land category as of land, including disturbed lands.

**Keywords:** Land monitoring, environmental monitoring, disturbed lands.

Рациональное использование и охрана земель предполагает необходимость получения разносторонних и регулярно обновляемых данных об их состоянии в рамках мониторинга окружающей среды. Государственный мониторинг земель является частью государственного экологического мониторинга и представляет собой систему наблюдений, оценки и прогнозирования, направленных на получение достоверной информации о состоянии земель, об их количественных и качественных характеристиках, их использовании и о состоянии плодородия почв [1].

Данные экологического мониторинга являются основой ежегодного доклада о состоянии и использовании земель, данные мониторинга земель, характеризующие земельный фонд по категориям, угодьям и формам собственности составляют основу доклада о состоянии и использовании земель. Данные доклады составляются на региональном и федеральном уровне и могут использоваться для информационного обеспечения при подготовке решений по планированию, использованию и распоряжению земельными ресурсами для различных целей, а также для определения задач по улучшению качества земель, для выработки государственной природоохранной политики, стратегического планирования, разработки экологических программ. Также доклады служат целям обеспечения населения достоверно информацией о состоянии и использовании земель, материалы используются органами государственной власти, для информационного обеспечения при подготовке решений [2, 3].

В данной статье предполагается провести количественный ретроспективный анализ состояния и использования земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земель для обеспечения космической деятельности, земель обороны, безопасности и земель иного специального назначения, входящих в состав Свердловской области на основе открытых данных ежегодных докладов о состоянии и использовании земель в Свердловской области и доклада о состоянии и охране окружающей среды в Свердловской области.

Свердловская область относится к числу старейших горнодобывающих регионов России, является одним из крупнейших в России регионов по величине разведанных и прогнозируемых запасов полезных ископаемых. Это предопределило интенсивное развитие таких видов экономической деятельности как черная и цветная металлургия, строительство, химическое производство, добыча полезных ископаемых, включая золотодобычу. По большинству основных социально-экономических показателей развития Свердловская область входит в первую десятку регионов Российской Федерации [3].

Площадь Свердловской области представлена всеми категориями земель, площадь земель промышленности и иного специального назначения на 1 января 2017 г. занимает всего 450,2 тыс. га или 2,3 % от общей площади региона. За период 2012-2016 год площадь земель промышленности и иного назначения увеличилась с 430,3 тыс. га в 2012 г до 450,2 тыс. га в 2016, в основном за счет осуществления перевода земельных участков из категории земель сельскохозяйственного назначения в категорию земель промышленности и иного специального назначения для несельскохозяйственных целей.

Земли данной категории в зависимости от характера специальных задач, для решения которых они используются или предназначены, подразделяются на семь групп:

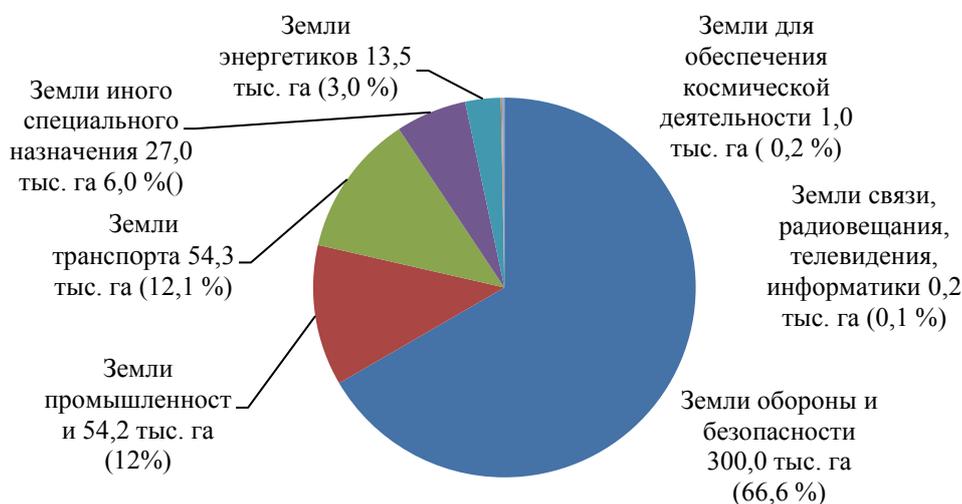
- земли промышленности
- земли энергетики
- земли транспорта
- земли связи, радиовещания, телевидения, информатики
- земли для обеспечения космической
- земли обороны и безопасности.

Структура земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земель для обеспечения космической деятельности, земель обороны, безопасности и земель иного специального назначения по данным на 1 января 2017 г. приведена на рисунке.

При анализе изменений площадей в структуре земель за период 2013-2016 гг., видно, что основные изменения происходят на землях промышленности и землях обеспечения обороны и безопасности. За этот период площадь земель промышленности увеличилась с 53,5 тыс. га до 54,2 тыс. га, площадь земель обороны и безопасности с 282 тыс. га до 300,0 тыс. га, в связи с переводом земель сельскохозяйственного назначения, земель лесного фонда, земель запаса в земли промышленности для геологического изучения, разведки и добычи полезных ископаемых, для размещения воздушных линий электропередач ВЛ-110 кВ, ВЛ 500 кВ, а также для строительства промышленных объектов и объектов дорожного сервиса, строительства учебного центра и базы хранения материальных ресурсов, размещения карьера по добыче кварцитов, размещения артиллерийского полигона и т.д.

Часть земельного участка, обладающая определенными свойствами и характеристиками, называется земельным угодьем, и является основным элементом государ-

ственного учета земель. В структуре угодий категории земель промышленности и иного назначения, которая приведена в таблице, преобладают лесные земли, они занимают почти 60% всей территории или 253,1 тыс. га, наибольшее количество которых числится в составе земель обороны и безопасности-230,4 тыс. га. Сельскохозяйственные угодья занимают площадь 16,8 тыс. га.



**Распределение земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земель для обеспечения космической деятельности, земель обороны, безопасности и земель иного специального назначения в Свердловской области на 1.01.2017 г.**

**Распределение земель промышленности и иного специального назначения по угодьям**

| Виды угодий, тыс. га                         | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сельскохозяйственные угодья                  | 16,9  | 16,9  | 17,1  | 16,9  | 16,8  |
| Лесные земли                                 | 253,1 | 253,4 | 253,5 | 269,7 | 269,7 |
| Лесные насаждения, не входящие в лесной фонд | 6,5   | 6,6   | 6,6   | 6,6   | 6,6   |
| Земли под водными объектами                  | 13,8  | 13,8  | 13,8  | 13,8  | 13,4  |
| Земли под застройкой                         | 16,7  | 17,1  | 17,0  | 17,3  | 17,8  |
| Земли под дорогами                           | 39,4  | 39,4  | 39,4  | 39,3  | 39,3  |
| Нарушенные земли                             | 18,1  | 17,9  | 17,9  | 18,3  | 18,3  |
| Другие земли                                 | 65,8  | 66,3  | 66,3  | 68,1  | 68,3  |
| Итого  | 430,3 | 431,4 | 431,6 | 450,0 | 450,2 |

Среди угодий особое место занимают нарушенные земли – это земли, утратившие свою хозяйственную ценность или являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду, в связи с нарушением почвенного покрова, гидрологического режима и образования техногенного рельефа в результате производственной деятельности человека. В связи с чем на предприятиях, деятельность которых связана с нарушением земель, неотъемлемой частью технологических процессов являются рабо-

ты по рекультивации земель (комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и другой ценности земель, а также на улучшение условий окружающей среды). Наибольшее количество как нарушенных, так и рекультивированных земель отмечается при разработке месторождений полезных ископаемых и размещении промышленных ТБО.

Так, в 2016 году в сравнении с 2015 годом площадь нарушенных земель не изменилась и составила 62,0 тыс. га по всей территории Свердловской области, из них 18,3 тыс. га на территории земель промышленного и иного специального назначения, а в 2015 году площадь нарушенных земель увеличилась на 0,4 тыс. га, в связи с переводом в категорию земель промышленности земельных участков для разработки месторождений, и началом работ на ранее предоставленных земельных участках в Ревдинском, Режевском, Нижнесергинском и Невьянском районах. Одновременно с разработкой месторождений землепользователями проводились мероприятия по рекультивации ранее нарушенных земель. Например, Артелью старателей «Нейва» и Артелью старателей «Невьянский прииск» на территории Невьянского района были начаты разработки месторождений на площади 54 га и одновременно проведена рекультивация га и сдача рекультивированных земель по акту администрации Невьянского городского округа на площади 43 га.

Статистическая информация о нарушенных и рекультивированных землях предоставляется предприятиями по форме №2-ТП (рекультивация), в 2013 году такая информация поступила только от 127 предприятий, а в 2016- всего 215 предприятия. К сожалению, в связи с этим данная информация не позволяет сделать полноценные выводы о количестве нарушенных и рекультивированных земель. Кроме того, нарушение земель иногда возникает в связи с нарушением законодательства. Например, в 2017 году было установлено, что на трех земельных участках сельскохозяйственного назначения общей площадью 183,06 га располагаются карьеры по добыче золота, проводятся горные работы, на одном из участков снят плодородный слой почвы. Проекта рекультивации нарушенных сельскохозяйственных земель золотодобывающая компания не представила.

Таким образом, стабильное, на первый взгляд, распределение земель связано в том числе с отсутствием достаточной информации. В связи с этим, можно сделать вывод, о том, что необходим более объективный подход к учету нарушенных земель, не зависящий от информации, предоставляемой непосредственно землепользователями.

Анализ земель промышленности и иного специального назначения Свердловской области показал, что необходимо развивать и совершенствовать земельное законодательство для более жесткого контроля за негативным воздействием на земельные ресурсы, а также своевременно и оперативно решать вопросы, связанные с рациональным использованием земель.

### **Список литературы**

1. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001г. № 136-ФЗ .- Электрон. Текстовые данные.- Москва: Консультант Плюс, 2018- режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_33773/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/)
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2015 году».-Электрон. текстовые данные. – Москва: Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области, 2016. – Режим доступа: <http://mprso.midural.ru/article/show>

3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2016 году». – Электрон. текстовые данные. – Москва: Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области, 2016. – Режим доступа: <http://mprso.midural.ru/article/show>

4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2014 году». – Электрон. текстовые данные. – Москва: Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области, 2015. – Режим доступа: <http://mprso.midural.ru/article/show/id/1084>

5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2013 году». – Электрон. текстовые данные. – Москва: Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области, 2014. – Режим доступа: <http://mprso.midural.ru/article/show/id/1084>

УДК 614.2

## СОСТОЯНИЕ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНАХ (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГО УРАЛА)

ШИПИЛОВА Е. В.<sup>1</sup>, БОЛОТНИКОВА Е. Н.<sup>2</sup>, ЛЕБЕДЕВ Ю. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

<sup>2</sup> Министерство здравоохранения Свердловской области

**Аннотация.** Свердловская область является одним из важнейших промышленных регионов России. Интенсивное развитие горнодобывающей и металлургической отрасли промышленности является причиной негативного воздействия на здоровье общества. В статье рассматривается состояние здоровья людей в промышленных регионах Среднего Урала. Анализ данных о распространенности психических заболеваний среди населения в динамике за предшествующие годы выявляет их рост. Это проблема из категории национальной безопасности.

**Ключевые слова:** социальное состояние общества, промышленные регионы, психическое здоровье, заболеваемость населения.

## SOCIAL SITUATION IN INDUSTRIAL REGIONS (ON THE EXAMPLE OF THE MIDDLE URALS)

SHIPILOVA E. V.<sup>1</sup>, BOLOTNIKOVA E. N.<sup>2</sup>, LEBEDEV Yu. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural State Mining University

<sup>2</sup>The Ministry of health of the Sverdlovsk region

**Abstract.** Sverdlovsk region is one of the most important industrial regions of Russia. The intensive development of the mining and metallurgical industries is the reason for the negative impact on the health of society. The article discusses the state of health of people in the industrial regions of The middle Urals. Analysis of data on the prevalence of mental diseases in the population in the dynamics of previous years reveals their growth. This is a problem from the category of national security.

**Keywords:** social condition of society, industrial regions, mental health, morbidity of population.

Промышленные регионы занимают большую часть Среднего Урала (Свердловской области). К ним относятся территории с непосредственным расположением производственных объектов, так и территории, на которых эти объекты влияют в экологическом, экономическом и социальном плане. Основой большинства промышленных производств на Урале является недропользование.

В табл. 1 и 2 приведены показатели, характеризующие значение горнопромышленного комплекса в промышленном потенциале Свердловской области.

**Таблица 1. Показатели, характеризующие значение горнопромышленного комплекса в Свердловской области**

| Показатели  | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Валовый региональный продукт (валовая добавленная стоимость), млрд.руб. | 1291    | 1485    | 1569    | 1659    | 1779    | 1899    | 2020    |
| Индекс промышленного производства, в % к пред. году                     | 106,2   | 109,6   | 102,7   | 102,1   | 96,9    | 107,7   | 103,1   |
| в том числе:  |         |         |         |         |         |         |         |
| Добыча полезных ископаемых  | 106,3   | 102,0   | 102,5   | 109,8   | 90,0    | 100,0   | 84,6    |
| Обрабатывающие производства   | 107,7   | 112,5   | 104,3   | 101,7   | 97,9    | 109,0   | 113,0   |

**Таблица 2. Среднегодовая численность занятых в экономике (тыс. чел.)**

| Вид экономической деятельности                              | 2015 г. | 2016 г. |
|---|---------|---------|
| Всего по экономике  | 2137,9  | 2093,9  |
| Добыча полезных ископаемых, в т.ч.                          | 31,2    | 30,6    |
| - добыча топливно-энергетических полезных ископаемых        | 1,7     | 1,7     |
| - добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических | 29,5    | 28,9    |
| Обрабатывающие производства                                 | 439,7   | 429,4   |

Крупнейшими предприятиями чёрной и цветной металлургии в Свердловской области являются Нижнетагильский металлургический комбинат, Качканарский ГОК «Ванадий», ВСМПО-Ависма, Первоуральский новотрубный завод, Богословский и Уральский алюминиевые заводы, Каменск-Уральский металлургический завод, Синарский трубный завод, Северский трубный завод, а также предприятия Уральской горно-металлургической компании (Уралэлектромедь, Среднеуральский медеплавильный завод, Металлургический завод им. А. К. Серова и др.).

Социальное состояние общества можно описать следующими характеристиками: уровень бедности, здоровье людей, состояние образования, безработица, уровень правонарушений (преступность), коррупция.

В статье рассматривается состояние здоровья людей в промышленных регионах Среднего Урала.

Интенсивное развитие горнодобывающей и металлургической отрасли промышленности является причиной негативного воздействия на здоровье общества. В промышленных регионах России города становятся центрами дестабилизации окружающей среды.

Согласно закону «Об охране здоровья граждан в Свердловской области» от 21 ноября 2012 года N 91-ОЗ здоровье - это состояние физического, психического и социального благополучия человека, при котором отсутствуют заболевания, а также расстройства функций органов и систем организма.

Использование экстенсивных методов в промышленности обусловило высокий уровень загрязненности природной среды вредными ингредиентами, достигшего критического значения в большинстве промышленных центров области.

В табл. 3 приведены объемы выбросов загрязнений в атмосферу за период 2012-2016 гг.

**Таблица 3. Выбросы загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников в Свердловской области**

| Показатели  | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, тыс. тонн | 1129    | 1097    | 1021    | 984     | 906     |
| из них без очистки, тыс. тонн                         | 870     | 832     | 788     | 808     | 773     |

Кроме того, территории крупных городов, где проживает более 83% населения, стали полигонами физических воздействий на человека: шумов, вибраций, ионизирующего излучения, информационного загрязнения.

Суммарное влияние негативных факторов промышленного производства на распространение видов болезней приведено в табл. 4.

**Таблица 4. Заболеваемость населения Свердловской области по основным классам болезней**

| Виды болезней   | 2012                | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   |
|---|---------------------|--------|--------|--------|--------|
|   | Всего, тыс. человек |        |        |        |        |
| Все болезни   | 3165,4              | 3311,1 | 3233,4 | 3151,8 | 3256,5 |
| из них:   |                     |        |        |        |        |
| некоторые инфекционные и паразитарные болезни   | 142,7               | 148,9  | 142,6  | 134,7  | 127,7  |
| новообразования   | 46,5                | 48,7   | 46,7   | 43,7   | 43,6   |
| болезни крови и кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм | 18,9                | 18,5   | 18,1   | 19,9   | 18,9   |
| болезни эндокринной системы, расстройства питания, нарушения обмена веществ               | 39,9                | 42,5   | 50,5   | 47,7   | 56,4   |

| Виды болезней  | 2012                | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   |
|--|---------------------|--------|--------|--------|--------|
|  | Всего, тыс. человек |        |        |        |        |
| болезни нервной системы  | 67,2                | 71,1   | 67,6   | 71,2   | 74,0   |
| болезни глаза и его придаточного аппарата                                    | 140,7               | 149,5  | 140,25 | 134,0  | 133,2  |
| болезни уха и сосцевидного отростка  | 115,3               | 118,1  | 118,2  | 114,9  | 116,9  |
| болезни системы кровообращения   | 94,3                | 121,4  | 115,5  | 117,2  | 118,1  |
| болезни органов дыхания  | 1293,3              | 1390,6 | 1357,3 | 1372,6 | 1411,2 |
| болезни органов пищеварения  | 103,2               | 106,2  | 137,4  | 111,3  | 168,7  |
| болезни кожи и подкожной клетчатки   | 194,2               | 191,0  | 185,5  | 166,3  | 154,7  |
| болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани                       | 129,7               | 135,6  | 132,0  | 131,4  | 125,0  |
| болезни мочеполовой системы  | 178,5               | 186,0  | 182,3  | 162,4  | 184,1  |
| осложнения беременности, родов и в послеродовом периоде                      | 98,6                | 99,0   | 87,4   | 75,8   | 69,9   |
| врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения    | 4,0                 | 3,9    | 4,1    | 4,0    | 4,2    |
| травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин | 428,9               | 409,8  | 385,9  | 390,2  | 398,9  |

Показатели рождаемости и смертности населения в Свердловской области за период 2010-2016 гг. даны в табл. 5.

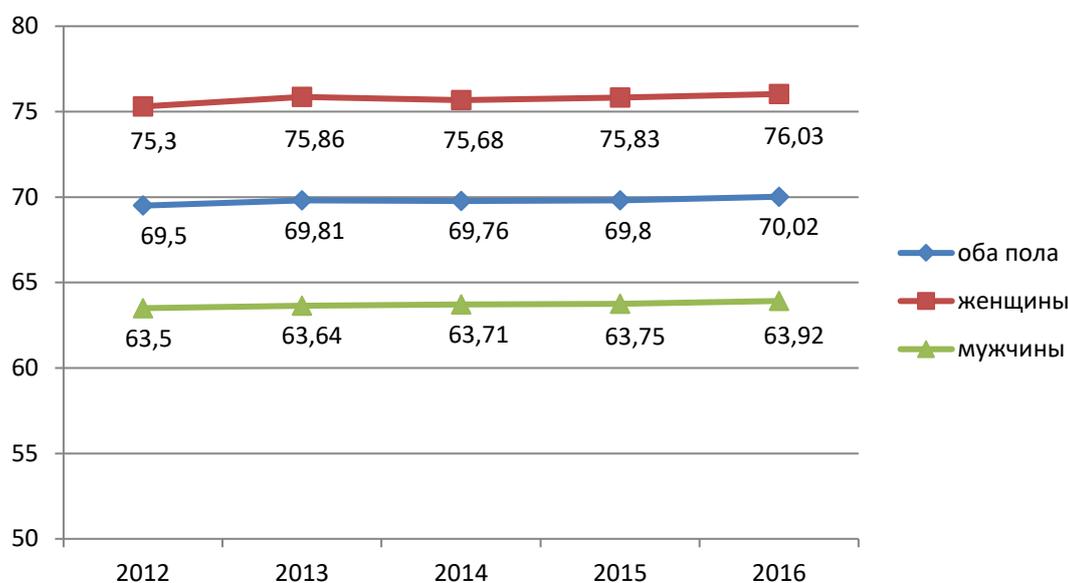
**Таблица 5. Рождаемость и смертность населения Свердловской области в 2010-2016 гг. (человек)**

| Показатель | 2010 год | 2011 год | 2012 год | 2013 год | 2014 год | 2015 год | 2016 год | 2020 год (прогноз) |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|
| Родившиеся | 57 540   | 58 038   | 61 649   | 62 229   | 62 875   | 62 232   | 59 881   | 59 126             |
| Умершие    | 61 486   | 60 814   | 60 155   | 59 266   | 60 447   | 61 222   | 60 831   | 61 198             |

Основной причиной смертности населения в Свердловской области являются болезни системы кровообращения (48,3%) и новообразования (15,8%). Также широко распространены болезни пищеварительной системы, болезни органов дыхания, инфекционные и паразитарные болезни.

Структура населения Свердловской области последние двадцать лет соответствует регрессивному типу: происходит процесс старения населения и многолетний рост числа пожилых людей (численность трудоспособного населения в 2016 году сократилась на 1,7%).

Динамика продолжительности жизни населения Свердловской области за период 2012-2016 гг. представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Динамика продолжительности жизни населения Свердловской области в 2012-2016 гг. (лет)**

В настоящее время есть крупные программы по профилактике и лечению онкологии, диабета, сердечно-сосудистых заболеваний как социально особо опасных. Но удивляет полное отсутствие внимания общества к психиатрическим заболеваниям. Заведующий медико-реабилитационного отделения психиатрической клинической больницы имени Н.А.Алексеева, президент общественной организации «Клуб психиатров» Аркадий Шмилович заявил «Ежегодно у нас официально обращаются за помощью 7,5 миллиона человек. Еще по крайней мере столько же, боясь огласки, пытаются справиться с недугом сами. Общая приблизительная, скорее заниженная, чем завышенная оценка такая: 15 миллионов новых больных каждый год!».

Анализ данных о распространенности психических заболеваний среди населения в Свердловской области в динамике за предшествующие годы также выявляет их рост (табл. 6). Прежде всего это обусловлено условиями жизни общества: эмоциональным стрессом и психическим напряжением (тревога за завтрашний день, дискриминация и др.) и культивированием низменных интересов, жестокости, насилия, погоней за наживой.

**Таблица 6. Количество зарегистрированных больных с психическими расстройствами в Свердловской области**

| Год  | Абсолютное число |        |           | Процент от населения |      |           |
|------|------------------|--------|-----------|----------------------|------|-----------|
|      | всего            | дети   | подростки | всего                | дети | подростки |
| 2012 | 105 308          | 16 850 | 5058      | 2,5                  | 2,7  | 3,9       |
| 2013 | 103 551          | 16 836 | 4970      | 2,5                  | 2,6  | 4,2       |
| 2014 | 104 858          | 17 525 | 5053      | 2,5                  | 2,6  | 4,6       |
| 2015 | 106 923          | 17 923 | 5253      | 2,6                  | 2,6  | 4,8       |
| 2016 | 107 272          | 18 629 | 5358      | 2,6                  | 2,6  | 5,0       |

Доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела профилактики психических расстройств и реабилитации пострадавших Федерального центра психиатрии и наркомании имени В. П. Сербского Г. Румянцева считает, что заболевание психики стали настолько распространенными, что уже представляют угрозу национальной безопасности. По ее словам, отечественная психиатрия находится вне зоны внимания общества.

В 2016 году произошло увеличение как абсолютного количества пациентов с впервые в жизни установленными диагнозами психических расстройств, так и показателей первичной заболеваемости по основным формам: на 12,6% - психозами, на 14,7% - психическими расстройствами непсихотического характера, на 11,4% - умственной отсталостью.

**Таблица 7. Динамика первичной заболеваемости психическими расстройствами, в том числе детей и подростков в Свердловской области (на 100 тыс. человек соответствующей возрастной группы)**

| Год  | Всего                |                      | Дети                 | Подростки            | Взрослые             |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|      | Свердловская область | Российская Федерация | Свердловская область | Свердловская область | Свердловская область |
| 2012 | 268,7                | 328,3                | 498,8                | 430,4                | 220,6                |
| 2013 | 257,8                | 309,3                | 503,8                | 487,5                | 202,9                |
| 2014 | 281,5                | 311,0                | 600,4                | 625,2                | 206,9                |
| 2015 | 262,1                | 300,9                | 517,7                | 579,4                | 199,1                |
| 2016 | 299,0                | н/д                  | 675,5                | 739,2                | 202,6                |

Отмечен рост первичной заболеваемости шизофренией (11,6 случая на 100 тыс. человек населения), что на 18,4% больше, чем в 2015 году (9,8). Среди детского населения отмечен рост первичной заболеваемости аутизмом (в 2016 году – 8,1 случая на 100 тыс. детей, в 2015 году – 6,7).

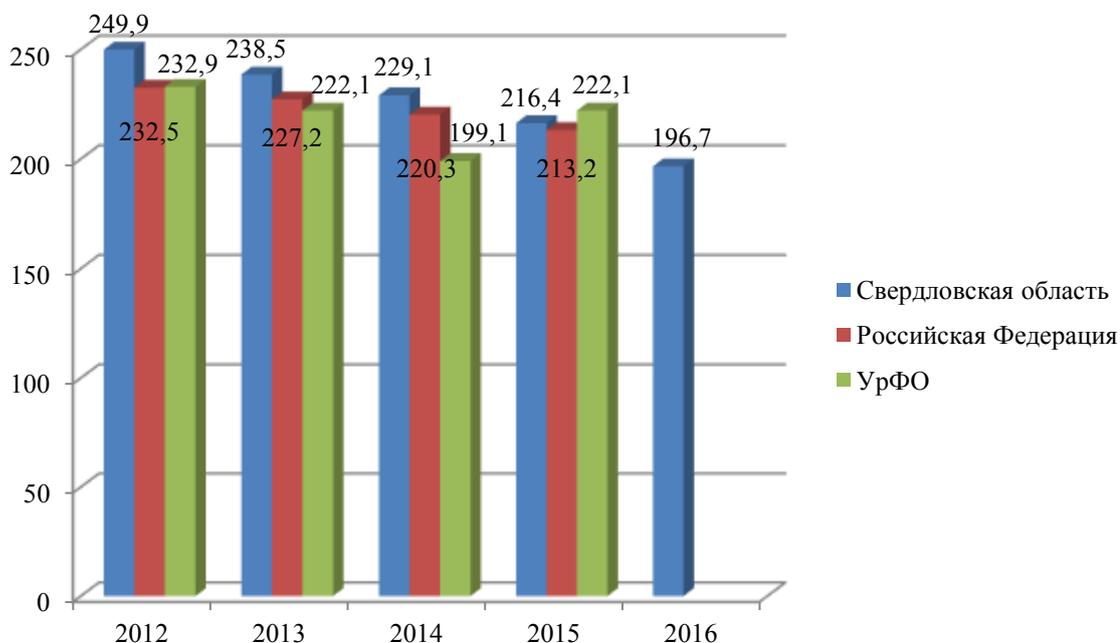
В табл. 8 приведена структура заболеваемости психическими расстройствами населения Свердловской области.

**Таблица 8. Структура общей заболеваемости психическими расстройствами населения Свердловской области**

| Год  | Психозы          |                                       |           | Непсихотические психические расстройства |                                       |           | Умственная отсталость |                                       |           |
|------|------------------|---------------------------------------|-----------|--|---------------------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------------|-----------|
|      | абсолютное число | случаев на 100 тыс. человек населения | процентов | абсолютное число                         | случаев на 100 тыс. человек населения | процентов | абсолютное число      | случаев на 100 тыс. человек населения | процентов |
| 2012 | 34 758           | 825,0                                 | 33,0      | 50 519                                   | 1199,1                                | 48,0      | 20 031                | 475,4                                 | 19,0      |
| 2013 | 34 965           | 844,9                                 | 33,8      | 49 185                                   | 1188,6                                | 47,5      | 19 401                | 468,8                                 | 18,3      |
| 2014 | 35 569           | 857,6                                 | 33,9      | 50 185                                   | 1210,0                                | 47,9      | 19 104                | 460,6                                 | 18,2      |
| 2015 | 35 860           | 863,6                                 | 33,8      | 51 527                                   | 1240,9                                | 48,5      | 18 806                | 452,9                                 | 17,7      |
| 2016 | 35 184           | 842,5                                 | 32,8      | 53 290                                   | 1276,1                                | 49,7      | 18 798                | 450,1                                 | 17,5      |

Основными заболеваниями из раздела наркологии являются зависимости от разных токсических веществ: наркомания, алкоголизм, токсикомания.

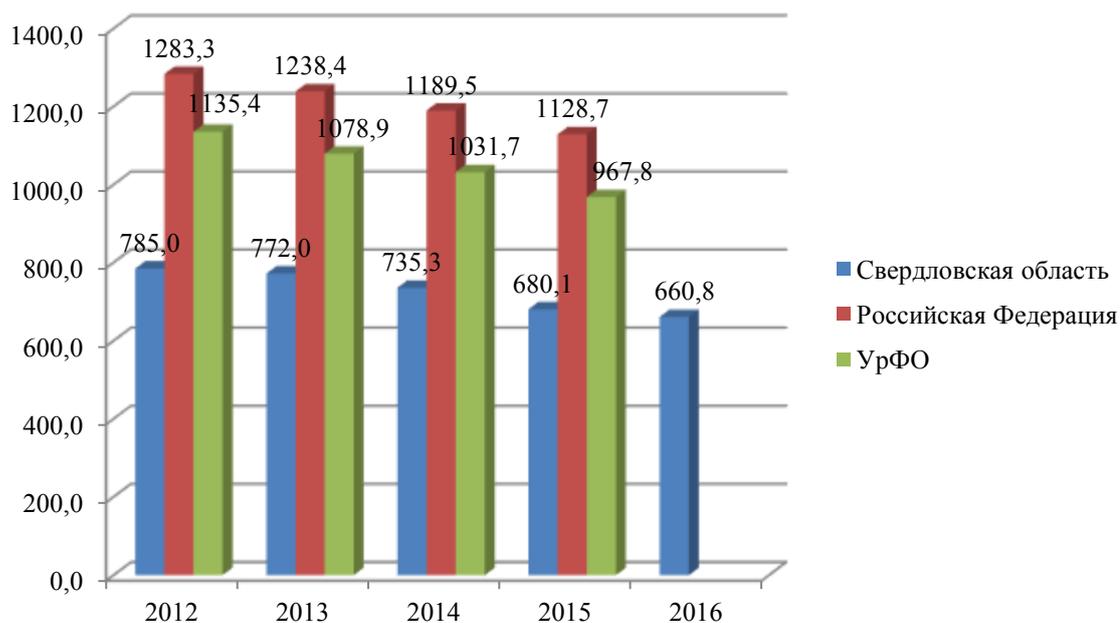
Тенденция к снижению заболеваемости наркоманией в Свердловской области, установившаяся с 2009 года, сохранилась и в 2016 году, когда заболеваемость уменьшилась на 9,1% и стала ниже среднероссийского показателя. В 2016 году впервые за несколько лет отмечено снижение заболеваемости наркоманией подростков (37,9 случая на 100 тыс. человек населения), что на 40,5% ниже показателя 2015 года (62,4). Положительным фактом также является отсутствие в группе наблюдения в связи с наркоманией детей в возрасте до 14 лет.



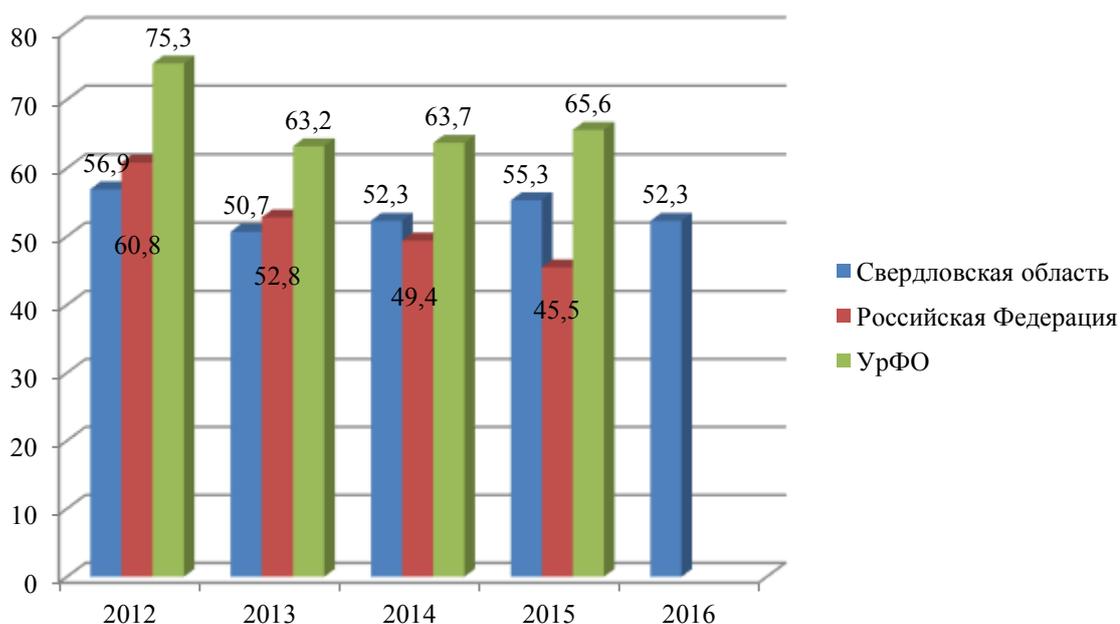
**Рис. 2. Общая заболеваемость наркоманией (на 100 тыс. человек населения)**

Показатель общей заболеваемости алкоголизмом в Свердловской области с 2011 года снизился на 15,8%, с 2015 года – на 2,4% и в 2016 году достиг уровня 660,8 случая заболевания на 100 тыс. человек населения, что ниже, чем в Российской Федерации, на 41,4%.

В структуре общей заболеваемости алкогольными психозами значительных изменений не произошло. Количество зарегистрированных диагнозов в 2016 году составило 2176 случаев. Но показатель распространенности алкогольных психозов в Свердловской области (52,3 случая на 100 тыс. человек населения) на 14,9% выше уровня по Российской Федерации (45,5).



**Рис. 3. Общая заболеваемость алкоголизмом (на 100 тыс. человек населения)**



**Рис. 4. Общая заболеваемость алкогольными психозами (на 100 тыс. человек населения)**

Современное общество можно уверенно отнести к поколению, которое страдает зависимостью различного рода. Кому-то важно выкурить определенную порцию сигарет, получить дозу запрещенных препаратов или выпить бутылку спиртного. Самым страшным в этом положении, что человека добровольно наносит себе вред.

Основными задачами психиатрической службы области является дальнейшее повышение доступности и качества психиатрической помощи; ликвидация кадрового дефицита врачей, в частности, в отдаленных территориях, детских врачей-психиатров, врачей-психотерапевтов; дальнейшее развитие службы медицинских психологов, суицидологической помощи населению; продолжение работы по информатизации психиатрической службы; повышение внимания профилактике общественно опасных действий больных психическими расстройствами, внедрение мониторинга по работе с пациентами, представляющими социальную опасность; улучшение материально-технической базы областных психиатрических учреждений.

Информационное поле, в котором находится современный человек, определённо перенасыщено. Человеческий мозг не в состоянии справиться и тем более усвоить всё, что атакует его. А у современных СМИ способ подачи информации становится всё более агрессивным, иначе и не назовёшь. Из-за этого сами люди становятся более агрессивными, раздражительными, нетерпеливыми, быстрее утомляются; у них нет времени на своих не то что друзей, приятелей, но даже родных – всё это является следствием психологического и информационного поражения нервной системы, её перегрузки и началом заболевания. В итоге человек получает психическую травму. Она может быть незаметна сразу, поскольку информация через зрительные и слуховые органы чувств действует на подсознание и действие её начнётся через какое-то время.

Поэтому, психическое здоровье, состояние души («психо» - в переводе с греческого – «душа») наших граждан должно беспокоить не только узких специалистов, но и руководство страны. Это проблема из категории национальной безопасности. Исходя из этого, задача государства состоит в том, чтобы максимально оградить граждан от негативной информации и создать такие условия жизни, чтобы люди могли достойно переносить информационные стрессы.

### **Список литературы**

1. Об охране здоровья граждан в Свердловской области: закон Свердловской области от 21 ноября 2012 г. N 91-ОЗ (с изм. и доп.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.garant.ru/>
2. О докладе «О состоянии здоровья граждан, проживающих в Свердловской области, в 2016 году»: Постановление Правительства Свердловской области от 14 декабря 2016 года № 941-ПП [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.garant.ru/>
3. Жовнерчук Е.В., Илющенко Р.А. Психическое состояние здоровья граждан – проблема национальной безопасности [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.perunica.ru/>
4. Мировой кризис – хроника и комментарии. – Режим доступа: <http://worldcrisis.ru>
5. Прикладная экономика. – Режим доступа: <http://a-economics.ru>

*Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433.*

## ЛЕСНЫЕ ЗЕМЛИ КАК ОБЪЕКТ СИСТЕМНОГО МОНИТОРИНГА И КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНАХ

ЛЕБЕДЕВА Т. А., ИВАНОВА Н. С., КОЛТУНЕНКО А. Д.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В настоящей статье проводится исследование лесных земель как объекта системного мониторинга. На основании данных системного мониторинга представлена статистическая информация, характеризующая лесные земли Среднего Урала по наиболее важным показателям. Обозначены наиболее важные аспекты в проведении системного мониторинга и комплексной оценки лесных земель.

**Ключевые слова:** лесные земли, системный мониторинг, комплексная оценка.

### FOREST LANDS AS OBJECT OF SYSTEMIC MONITORING AND COMPLEX ASSESSMENT IN THE PRODUCTION REGIONS

LEBEDEVA T. A., IVANOVA N. S., KOLTUNENKO A. D.  
Ural State Mining University

**Abstract.** In the present article the research of forest lands as object of systemic monitoring is conducted. On the basis of data of systemic monitoring the statistical information characterizing forest lands of Central Ural Mountains on the most important indexes is provided. The most important aspects in carrying out systemic monitoring and complex assessment of forest lands are designated.

**Keywords:** forest lands, systemic monitoring, complex assessment.

Лесные земли – «земельные участки пригодные и предназначенные для выращивания леса, а также занятые естественными рединами и кустарниками; включают земли, покрытые лесной растительностью, и земли, не покрытые лесной растительностью (вырубки, гари) («Энциклопедия лесного хозяйства: в 2-х томах. – Т.1 – ВНИИЛМ, 2006, 424с). Лесные земли располагаются на землях всех (семи) категорий земель, но основное их размещение на землях лесного фонда. В таблице 1 – данные о непосредственно лесных землях на территории области (по исходным данным «Государственного доклада о состоянии окружающей природной среды...» в 2016 году).

**Таблица 1 – Площади лесных земель в Свердловской области (на 01.01.2016 г.)**

| Категория земель                        | Площадь, тыс. га | % от площади области (19,4 млн га) |
|---|------------------|------------------------------------|
| Земли лесного фонда:                    |                  |                                    |
| всего                                   | 13547,8          |                                    |
| в т.ч. лесные земли                     | 11293,4          | 58,2                               |
| Земли промышленности, транспорта, связи |                  |                                    |
| всего                                   | 425,8            |                                    |
| в т.ч. лесные земли                     | 262,3            | 1,4                                |
| Земли сельскохозяйственного назначения  |                  |                                    |
| всего                                   | 4079,8           |                                    |

|                          |         |      |
|--------------------------|---------|------|
| в т.ч. лесные земли      | 1566,7  | 8,1  |
| Земли населенных пунктов |         |      |
| всего                    | 683,5   | 8,1  |
| в т.ч. лесные земли      | 99,4    |      |
| Всего лесных земель      | 13221,8 | 67,6 |

Лесные земли на Среднем Урале (Свердловская область) занимают площадь 13,2 млн га или 67,6% всей площади региона.

Системный мониторинг лесных земель представляет собой многоцелевую информационную систему наблюдений, оценки и прогнозирования, состоящую из:

- мониторинга использования лесных земель;
- мониторинга состояния лесных земель;
- мониторинга прогнозов состояния лесных земель.

При этом достоверная информация для прогнозирования состояния лесных земель основывается на обязательном знании о прошлом состоянии лесных экосистем (о параметрах, характеристиках и индикаторах коренных типов леса на конкретных территориях).

Комплексная оценка лесных земель предполагает определение экономической значимости всей совокупности лесных благ: лесных ресурсов, средоформирующих и социальных функций лесных территорий.

Схема представления лесных земель как объекта системного мониторинга и комплексной оценки приведена на рис. 1.

Лесные земли как объект биосферы представляют собой часть конвейера по поглощению энергии Солнца и превращению её в вещество биомассы, которое в дальнейшем превращается в костное (по выражению В.И. Вернадского) вещество.

Процесс превращения энергии Солнца в вещество биомассы с участием углекислого газа и воды происходит в зеленых растениях (главным образом, в лесонасаждениях). Хлорофилл зеленых растений поглощает энергию голубого (400-500 нм) и красного (610-690 нм) частей солнечного спектра. Общая площадь зеленого трансформационного аппарата на планете – поверхность листьев, хвои, стеблей трав, водорослей превышает общую площадь поверхности Земли в 10-40 тысяч раз [1]. В настоящий период годовая биологическая продуктивность биосферы составляет около 170 млрд. т [2]. Огромная масса живого вещества образованного за миллиарды лет на планете в ходе длительной геологической истории находится в наносах и осадочных толщах. Доктор геолого-минерал. наук С.В. Белов так описывает круговорот вещества в природе [3]. «В ходе литогенеза осадочные породы погружаются в глубины Земли, под воздействием давления и температуры превращаются в магматические выплавки. Остынув, они формируют горные породы, которые выведены на поверхность Земли, разрушаются и вновь образуют осадочные толщи, содержащие органическое вещество».



**Рис. 1. Схема представления лесных земель как объекта системного мониторинга и комплексной оценки**

В.И. Вернадский утверждал: «Все минералы верхняя часть земной коры – образующие глины, известняки, доломиты, бурые железняки, бокситы и сотни других непрерывно создаются в ней только под влиянием жизни».

Урал представляет собой горноскладчатую систему, образовавшуюся в результате взаимодействия океанической и континентальной коры Земли. Современный рельеф образовался в результате разрушения горных поднятий 40-25 миллионов лет назад. Здесь образовались большие рудные месторождения: железорудное, меднорудное, никелевые, золоторудные. С экологических позиций важен учет рудных месторождений как носителей тяжелых металлов (плотность более 8 тыс. кг/м<sup>3</sup>: Pb, Cu, Zn, Cd и др.). Наибольшее количество тяжелых металлов содержится в железных (колчеданных) рудах. В природе существует ряд геохимических барьеров, препятствующих рассеиванию токсичных элементов (тяжелых металлов).

В горных породах находятся радиоактивные вещества, излучающие ионизирующую радиоактивность. Радиоактивность для человека представляет собой опасный фактор окружающей среды. Анализ вкладов различных радиационных факторов в облучении населения показывает [4], что основная часть дозовой нагрузки формируется за счет естественных источников радиации – 72% (за счет медицинских процедур 26%, 2% включают радиоактивные осадки и последствия ядерных взрывов).

Горные породы оказывают существенное влияние на формирование и состояние почв лесных земель. Анализ многочисленных публикаций об особенностях почвообразования в лесах Урала дан в работе Г.Г.Новгородовой [5]. Показано, что «значительная меридиональная протяженность хребтов Урала, пересекающих природные зоны от тундр до и полупустынь, предопределяет многообразие условий формирования горно-лесных почв, которое осложняется вертикальной поясностью, разнородностью, строением поверхности, экспозиционной асимметричностью климата и растительности, разнообразием почвообразующих пород».

При оценке значимости лесных почв необходимо иметь в виду, что запасы гумуса и различных элементов, питания растений накапливаются в течение тысячелетий, а отдельные древесные породы в разной степени формируют продуктивность лесных почв; мягкий гумус образуют береза, ольха, лиственница, иногда пихта; грубый гумус создают ель, сосна, иногда осина.

Состав и распределение лесов изменялись в ходе эволюции Земли. Н.К. Панова [6] в ходе палинологических исследований динамики растительности на Урале и в Западной Сибири проанализировала работы по глобальной динамике лесных экосистем. Выяснилось, что современные леса России генетически связаны с более богатыми по составу лесами третичного периода. В климате третичного периода, начавшемся около 65 млн. лет назад, происходило бурное развитие растительности. В условиях нашего умеренного пояса, в северной части преобладали хвойные леса с участием теплолюбивых каштаново-буковых лесов. Вследствие похолодания, начавшегося в конце третичного периода (2,3 – 1,8 млн. лет назад) и оледенения теплолюбивая растительность погибла, остались наиболее холодоустойчивые породы.

После таяния ледников леса стали занимать освободившиеся ото льда территории. Считается, что современный облик лесов России начал складываться именно в этот период. Современный лесной покров Урала и Западной Сибири исторически более всего связан с потеплением, начавшимся 1500 лет назад, когда леса и лесная зона сформировались в границах, близких к нынешним [7].

В процессе многолетней хозяйственной деятельности на Урале (до 300 лет) и в Западной Сибири (более 50-70 лет) лесные земли радикально изменились и продолжа-

ют меняться. Горная часть Среднего Урала являлась центром горнозаводской и лесной промышленности Урала. И сейчас для нее характерна высокая насыщенность промышленным производством и плотность населения. Но вместе с тем горная часть Среднего Урала сохраняет и высокую облесенность территории, представляясь на фоне густонаселенных урбанизированных предгорий зеленым островом, имеющим огромное климаторегулирующее водоохранное, почвозащитное, санитарно-гигиеническое и социальное значение. Произраставшие здесь в прошлом девственные хвойные древостои к настоящему времени до 50% заменены условно-коренными, а остальная часть – производными лиственными насаждениями.

На низкогорьях Среднего Урала в настоящее время соотношение различных видов лесного покрова таково:

- первобытные (коренные) леса сохранились лишь на отдельных участках – менее 1% от общей площади лесного фонда; наиболее значительные их массивы находятся на территориях Висимского заповедника [8];
- условно-коренные мелколиственно-хвойные – 26 – 30 %;
- производные мелколиственные леса, не менее трети которых развивается по пути длительно-восстановительных смен, - 40 - 45 %;
- вырубки и гари - 10%;
- послелесные луга – 5%;

Основными биометрическими параметрами и параметрами различных биохимических и биофизических процессов на лесных землях, фиксируемых при системном мониторинге и комплексной оценке, являются совокупность качественных и количественных показателей средоформирующих функций лесных земель; она приведена в табл. 2.

**Таблица 2 – Натуральные показатели средоформирующих функций лесных земель (лесов), используемые при системном мониторинге и комплексной оценке**

| Средоформирующие функции лесных земель     | Натуральные показатели функций (качественные и количественные)  |
|--|---|
| Поддерживание состава атмосферного воздуха | Средние периодические приросты древесины. Коэффициенты соизмерения прироста фитомассы отдельных компонентов лесонасаждений. Способность поглощать CO <sub>2</sub> и выделять O <sub>2</sub> . Коэффициенты, корректирующие эту способность. Объемный вес древесины. |
| Водоохранно-водорегулирующая               | Высота древостоев. Коэффициенты, корректирующие рельеф и заболоченность водосбора, породу деревьев, возраст лесонасаждения, его полноту и бонитет.  |
| Климатоформирующая                         | Скорость ветра, температура и влажность воздуха и почвы, испарение влаги с поверхности почвы и количество заморозков, накопление снега, атмосферное давление (определяются коэффициентами от характеристик леса, опушки и прилегающей территории).                  |
| Почвообразующая                            | Средний запас и товарная ценность древесины на почвах разной биопродуктивности. Коэффициенты снижения среднего запаса и товарной ценности древесины при нарушении почв.   |
| Средозащитные функции                      | Способность лесной растительности поглощать из атмо-  |

|  |   |
|--|---|
| (воздухоочистительная, почвозащитная, водоочистительная) | сферы воздуха газообразные, аэрозольные загрязнения и пыль. Способность напочвенного покрова и воды задерживать загрязнения. Способность лесной растительности противостоять разрушению (водной эрозии) почв. |
| Ресурсорезервационная                                    | Показатели особо защитных участков леса по воспроизводству лесной растительности и лесной фауны.  |
| Информационная   | Показатели отдельных участков лесных земель (по сохранению информации на генетическом, видовом и экосистемном уровнях).   |

При последовательном развитии системного мониторинга характеристика биотических компонентов лесных земель дополняется экономическими эквивалентами и критериями экономической оценки [9].

Лесные земли как часть экономической сферы общества при системном мониторинге и комплексной оценке рассматриваются в виде природных экосистем, являющихся источником лесных ресурсов (материально входят в состав продукции), средоформирующих функций (создают благоприятные условия для материального производства, для жизни всех организмов) и социальных функций (рекреация, оздоровительная), реализующихся на определённых территориях.

В табл. 3 приведена шкала стоимости лесных земель в Свердловской области. Отметим, что стоимость лесных ресурсов в комплексной стоимости лесных участков составляет не более 10-15%; стоимость средоформирующего потенциала достигает 85% от общей величины.

**Таблица 3 – Шкала стоимости 1 га лесных земель в эксплуатационных лесах Свердловской области, тыс. руб./га (Екатеринбургский лесокатастровый район)**

| Порода | Класс бонитета | Стоимость лесных ресурсов | Стоимость средоформирующих функций      |                              |                      |                 | Стоимость участка лесных земель, тыс. руб./га |
|--------|----------------|---------------------------|---|------------------------------|----------------------|-----------------|---|
|        |                |                           | Поддержание состава воздуха в атмосфере | Водоохранно-водорегулирующая | Климато-регулирующая | Почвообразующая |   |
| Сосна  | I              | 25,5                      | 57,0                                    | 45,0                         | 21,6                 | 27,9            | 177   |
|        | II             | 24,0                      | 54,0                                    | 42,0                         | 21,6                 | 27,0            | 168   |
|        | III            | 21,0                      | 49,5                                    | 37,5                         | 16,5                 | 22,5            | 147   |
|        | IV             | 14,1                      | 35,1                                    | 26,4                         | 10,5                 | 12,9            | 99  |
|        | V              | 9,3                       | 19,2                                    | 16,2                         | 6,6                  | 8,4             | 60  |
| Ель    | I              | 15,6                      | 47,7                                    | 35,7                         | 18,0                 | 24,8            | 24,8  |
|        | II             | 14,6                      | 45,0                                    | 33,0                         | 15,9                 | 21,9            | 132   |
|        | III            | 14,1                      | 37,5                                    | 28,8                         | 13,8                 | 16,8            | 111   |
|        | IV             | 10,8                      | 27,6                                    | 22,2                         | 9,9                  | 13,5            | 84  |
| Береза | II             | 9,9                       | 40,8                                    | 32,1                         | 17,0                 | 20,1            | 120   |
|        | III            | 6,9                       | 38,1                                    | 29,1                         | 13,8                 | 17,1            | 105   |
|        | IV             | 4,8                       | 21,9                                    | 18,6                         | 8,1                  | 9,6             | 63  |
|        | V              | 3,3                       | 14,4                                    | 11,7                         | 5,4                  | 7,2             | 42  |

Лесные земли на интенсивно осваиваемых территориях Урала за многолетний период (до 300 лет) подверглись ощутимому социоэкономическому и техногенному воздействию. Загрязняющие вещества в атмосфере находятся в виде газов, аэрозолей и

пыли. Поэтому воздухоочистительная роль лесных земель следует рассматривать раздельно с трех позиций – очищение воздуха от газообразных и аэрозольных загрязнений, а также от пыли.

Техногенные загрязнители выводятся из атмосферы как растениями, так и лесной почвой в процессе выпадения осадков, сухого выпадения и абсорбции, химических реакций. Некоторое количество газов рассеивается кронами деревьев в верхние слои атмосферы благодаря вертикальным и горизонтальным воздушным потокам, возникающим в связи с перепадом температур воздуха на открытых участках и под пологом насаждений. Эти потоки способствуют отводу загрязнённого воздуха с территорий, примыкающих к промышленным предприятиям. Лесные экосистемы поглощают загрязняющие вещества из воздуха, вовлекая их в биогеохимический круговорот, переводя тем самым техногенные загрязнения на другой качественный уровень, но, разумеется, не устраняя при этом полностью экологической опасности.

В табл. 4 представлена характеристика способности лесных земель (лесов) поглощать из воздуха атмосферы техногенные загрязнения [10].

**Таблица 4 – Способность лесных земель (лесов) поглощать из воздуха атмосферы техногенные загрязнения**

| Лесообразующая порода   |  |  |
|---|--|--|
| Ель   | Сосна  | Береза и другие лиственные   |
| Аэрозоли  |  |  |
| Наилучшая способность из всех пород поглощать загрязнения. Свинец наиболее интенсивно накапливается в почве еловых насаждений | Способность задерживать загрязнения выше, чем у лиственных пород; 8-22 г накапливается на 1 кг сухого вещества древесины | Наименьшая способность накапливать загрязнения меньше, чем у хвойных. Листья узкой формы (ивы) аккумулируют больше загрязнённых частиц, чем овальные                     |
| Газы  |  |  |
| 1 га ельника биомассой 9,5 т поглощает в июне за 1 ч 1,3-1,6 кг SO <sub>2</sub>   | Нет данных   | 1 га березняка биомассой 4 т поглощает за вегетационный период 10 т газовых загрязнений; 1 га еберезняка биомассой 9,5 т поглощает в июне за 1 ч до 2 кг SO <sub>2</sub> |

Трансформированный растительный покров лесных земель (коренные типы лесов сменяются производными) изменяет характер круговорота в лесных экосистемах биогенных элементов (главным образом, углерода), координально перераспределяет потоки энергии в природном и антропогенном каналах окружающей среды (общество увеличило потребление биологической энергии с 1-2% до 10% и более [2]).

Нарушение природных геохимических барьеров в промышленных регионах в процессах недропользования и последующей переработке полезных ископаемых ведут к миграции тяжелых металлов в природные экосистемы – главным образом в лесные земли (лесные экосистемы).

#### Заключение

Таким образом, лесные земли как объект системного мониторинга и комплексной оценки:

- представляют собой продукт биологических и геохимических процессов на поверхности Земли (образование почвы);
- являлись основой формирования в прошлом коренных типов леса (формирование генетической «памяти»);
- в настоящее время совокупность условно коренных и производных лесонасаждений (лесных экосистем).

Основные преобразователи и аккумуляторы техногенных загрязнений окружающей среды (промышленных газов, аэрозолей, пыли, радиации).

### Список литературы

1. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник Москва. «Мысль» - 1990; 637 с.
2. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ 1995 XXXVIII. 472 с.
3. Белов С.В. Парадоксы живого. Природно-ресурсные ведомости. 2017, № 2.
4. Уткин В.И., Чеботина М.Я., Еввстигнеев А.В., Любашевский Н.М. Особенности радиационной обстановки на Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 151 с.
5. Новгородова Г.Г. Особенности почвообразования в лесах Урала // Лесообразовательный процесс на Урале и Зауралье. Екатеринбург, 1996. С. 50-68.
6. Панова Н.К. История развития лесной растительности на Урале в голоцене // Лесообразовательный процесс на Урале и Зауралье. Екатеринбург, 1996. С. 26-38.
7. Хотинский Н.А. Об изменении растительности и климата в начале послеледникового времени // Изв. АН СССР. Сер. Геогр., 1970. № 6. С. 281-298.
8. Теринов Н.И., Турков В.Г. Антропогенная динамика горных лесов Среднего Урала / Сб. статей «Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов // Свердловск, УНЦ АН СССР. – 1983. С. 158-163.
9. Лебедев Ю.В. Эколого-экономическая оценка лесов Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1998б. 214 с.
10. Трешоу М. Загрязнение воздуха и жизнь растений . М.: Гидрометиздат, 1988. 535 с.

*Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433.*

**УДК 334.021.1**

## КРИПТОВАЛЮТА И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

ЛЕБЕДЕВ М. Ю., КРЫЛОВ В. Г., ЛЕБЕДЕВ Ю. В.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В мире существует более 2000 разновидностей криптовалют, самая известная Bitcoin; средний ежедневный объем сделок с криптовалютами около 20 млрд. долларов. У государств существует различное отношение к криптовалюте: не замечать, жестко ограничивать, включаться в операции с криптовалютой, готовить базу для предотвращения негативных последствий. В Венесуэле начат выпуск (майнинг) собственной цифровой валюты El Petro, обеспеченный запасами нефти в недрах страны.

**Ключевые слова:** криптовалюта, биткоин, майнинг, блокчейн, специализированные биржи, цифровая экономика, недропользование, запасы недр.

## CRYPTUALS AND SUSPENSION OF USE

LEBEDEV M. Yu., KRYLOV V. G., LEBEDEV Yu. V.  
Ural State Mining University

**Abstract.** In the world there are more than 200 varieties of crypto currency, the most famous Bitcoin; the average daily volume of transactions with the currency is about 20 billion dollars. The states have a different attitude to the crypto currency: to ignore, tighten, tighten operations with the crypto currency, prepare a basis for preventing negative consequences. In Venezuela, the issue (mining) of its own digital currency El Petro, secured by oil reserves in the bowels of the country, was launched.

**Keywords:** crypto currency, bitcoin, mining, block, specialized exchanges, digital economy, subsoil use, subsoil reserves.

Криптовалютам пошел девятый год; крипто – от «зашифрованный». На сегодняшний день в мире существует более 2000 разновидностей криптовалют. Самая известная из них Bitcoin (BTC). 5 октября 2009 года состоялось признание BTC: на бирже NewLibertuStandaxt впервые был установлен его официальный курс - один доллар за 1309 BTC. За последующие годы ситуация изменилась: в 2016 году за один биткоин давали 1000 долларов. По последним данным цена биткоина превышает 5000 долларов. К этой криптовалюте приближаются такие, как эфир (Ethereut), риппл (Ripple), иота (iota), дэш (Dash) и ряд других. Кстати, криптовалюта «эфир» была разработана и запущена в 2015 году нашим бывшим соотечественником гениальным юношей Виталием Бутериным (родился в городе Коломне). Ежедневный средний объем сделок с криптовалютами в настоящее время не превышает 20 млрд, долларов (максимальный дневной оборот, зафиксирован 5 января 2018 г. - 60 млрд. долларов). Для сравнения, объем сделок с настоящими валютами достигает 5,4 триллиона в день, что диктуется потребностями реальной экономики (Дьяченко, 2018 г.).

Декларируется, что умная и супер защищенная программа генерирует уникальные блоки кодов, связанные в цепочки. Происходит так называемый «майнинг» - просто обмениваются реальные деньги на виртуальные, в частности, на биткоины. Сегодня их принимают к оплате интернет - магазины ряда стран. В сентябре 2017 год Банк Японии выдел разрешение на выпуск цифровой валюты JCoin консорциуму частных банков страны. Эта валюта будет использована для оплаты товаров и услуг по всей стране при помощи смартфонов. Ее допуск запланирован на 2020 год, когда в стране будут проводиться Олимпийские игры.

У государства существует несколько видов отношений к криптовалюте.

Первый - не замечать; для частных криптовалют создать специализированные биржи, в которых любителям азартных игр будет позволено проводить операции с такими финансовыми инструментами. В Китае были организованы множество таких бирж и страна занимала первое место в мире по операциям таких бирж.

Второй - попытаться жестко ограничить распространение криптовалюты. Так, в Китае осенью 2017 года началось массовое закрытие специализированных бирж по операциям с криптовалютами. Народный банк Китая запретил инвестиции в криптовалютах.

Третий - активно включаться в операции с криптовалютой и назвать это «цифро-экономикой». Так, в Белоруссии оборот криптовалют полностью либерализован и анонимен (Куликова, 2018).

Четвертый вид отношения государства к криптовалюте - следить, готовить правовую базу для того, чтобы суметь предотвратить возможные негативные ситуации и их последствия.

В Госдуме РФ создана экспертная группа, которая разрабатывает закон для регулирования рынка криптовалют. В конце января 2018 г. на сайте Минфина РФ был опубликован законопроект о регулировании цифровых активов, в котором даются юридические определения основных понятий, связанных с рынком криптовалют. Этот законопроект устанавливает правила обращения цифровых активов - криптовалют и токенов (то есть цифровых активов, которые могут выпускать юрлица и индивидуальные предприниматели для привлечения финансирования. Согласно законопроекту, эти активы на территории России не признаются законным средством платежа, но их можно обменивать на рубли, иностранную валюту или иное имущество. Такой обмен можно производить только через оператора обмена, который должен быть российским юрлицом - биржей, брокером, дилером или управляющим активами.

Законопроект устанавливает также правила эмиссии токенов: в частности, только квалифицированные инвесторы смогут покупать токены одного выпуска на сумму более, чем 50 тысяч рублей. Примерно в это же время был опубликован похожий законопроект, разработанный Центробанком РФ и отличающийся от минфиновского законопроекта лишь некоторыми деталями. Кроме того, в прессе появились сообщения о разрабатываемой в Минкомсвязи РФ концепции регулирования майнинга (то есть «добычи») криптовалют и налогообложения этой деятельности. Таким образом, прояснились контуры будущей системы государственного регулирования сферы криптовалют в России.

Таким образом, мы видим, что позиция правительства РФ (в лице Минфина и Минкомсвязи) по отношению к криптовалютам в целом весьма позитивна, а майнинг криптовалют фактически рассматривается как одно из приоритетных направлений развития российской экономики.

В обществе существуют серьезные опасения от расширения операций с криптовалютой. Так, экономист Т. Куликова (2018г.) полагает, что развитие экономики через стимулирование майнинга криптовалют сомнительно. Во-первых, анонимность криптовалютных операций дает огромные возможности для использования этих инструментов для коррупционных целей. Во-вторых, операции с криптовалютами могут использоваться для нелегальных трансграничных платежей.

В Европе вокруг темы «официальные цифровые валюты» стоит относительная тишина. По мнению д.э.н., проф. МГИМО Катасонова В.Ю. (2018) у Европейского центрального банка (ЕЦБ) есть свои планы по ведению цифровой валюты в Европе и делать он это будет в жестко централизованном порядке.

Свой путь развития цифровых валют начала Венесуэла; 20 февраля 2018 года здесь начали выпускать цифровую валюту EL Petro. По инициативе президента страны Николас Мадурa эта цифровая валюта предназначена для достижения следующих целей. Во-первых, "заменить" этой цифровой валютой обесценивающуюся денежную единицу боливар.

Во-вторых, с помощью EL Petro преодолеть финансово-экономическую блокаду страны со стороны США.

Проект предусматривает выпуск 100 млн. единиц EL Petro; он отличается несколькими особенностями. Эмиссия (выпуск) EL Petro, хотя он и является «официальной цифровой валютой», осуществляется децентрализованно, без участия Центробанка страны. Она создается в результате майнинга, в котором участвует значительная часть

населения (более 800 тыс. человек). Проект представляется как народный под патронажем государства. Самое интересное - в отличие от всех других криптовалют, не имеющих никаких запасов реальных активов за собой и подкрепленных лишь спросом, валюта EL Petro обеспечивается запасами нефти в недрах страны. Причем предусмотрена котировка курса EL Petro по отношению к боливару через привязку к рыночной цене одного барреля определенного сорта нефти, добываемой в Венесуэле. Уже к концу марта 2018 г. страна через криптовалюту EL Petro привлекла свыше 5 млрд. долл. от покупателей венесуэльского «черного золота» со всего мира («Завтра», 2018, №12). По мнению Катасонова В.Ю (2018) проект EL Petro представляет интерес для развивающихся стран, которые находятся в состоянии перманентного экономического кризиса и упадка, либо находятся под экономическими санкциями со стороны США и их союзников.

Среди таких государств Россия. В недрах страны находятся 11% мировых разведанных запасов угля (202 млрд, т); это третье место в мире после США (445 млрд. т) и Китая (269 млрд, т), 13% мировых разведанных запасов нефти и 32% мировых запасов природного газа (первое место); по объему прогнозных ресурсов железных руд Россия занимает третье место в мире (132,9 млрд. т). По объему выпуска алюминия и никеля страна занимает второе место в мире, а по экспорту этих металлов - первое. По добыче и производству золота в мировом рейтинге страна вышла на третье место - 254 т.

#### **Список литературы**

1. Куликова Т. Биткоин в законе. Как и в чьих интересах будет регулироваться криптовалюта. «Правда», 2018, № 22.
2. Дьяченко А. Криптомания как форма коллективного помешательства. «Правда», 2018 (1 марта).
3. Катасонов В. Ю. Забудьте про биткоины. Ждите феникс // Советская Россия», 2018, № 8.
4. Катасонов В.Ю. Криптовалюты под «колпак» // Советская Россия. 2018, №21.
5. Рыбин И. Копейка биткоин бережет // Культура, 2017, № 32.
6. Глазьев С.Ю. О природе денег // Завтра, 2018, № 6.

*Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433.*

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ЗЕМЕЛЬ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

КОНОВАЛОВ В. Е., КОЛЧИНА М. Е.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Уральский горнопромышленный регион – старейшая минерально-сырьевая база Российской Федерации. За более чем 300-летний период горнозаводского дела на территории региона накопилось немало проблем в использовании и охране земель горнопромышленных территорий. Статья посвящена выявлению проблем в этой области недропользования и жизнеобеспечения населения на таких территориях и поиску их решения с целью формирования устойчивого развития горнопромышленных территорий.

**Ключевые слова:** горнопромышленные территории, использование и охрана земель, регион, проблема, пути решения.

## PROBLEMS OF LAND USAGE AND PROTECTION OF MINING AREAS IN URAL REGION AND WAYS OF THEIR SOLUTIONS

KONOVALOV V. E., KOLCHINA M. E.  
Ural State Mining University

**Abstract:** Ural Mining Region – the eldest mineral resource base in Russian Federation. During more than 300 years of mining business in Ural region, many problems of land usage and protection of mining areas were accumulated. This article is devoted to identification of problems in subsoil usage and population life-support on such territories and finding of its solutions.

**Keyword:** mining territories, land usage and protection, region, problem, ways of solution.

Обеспечение безопасности и благополучных условий жизнедеятельности населения при использовании территорий, особенно в интересах будущих поколений, является приоритетным аспектом устойчивого развития территории. При этом освоение территории должно осуществляться при условии обеспечения охраны и рационального использования природных ресурсов этой территории и минимально возможным негативным влиянием на окружающую среду.

Рассмотрим реализацию данного принципа на примере Уральского горнопромышленного региона (далее – УГПР).

В УГПР входят 12 субъектов РФ (три республики: Республика Башкортостан, Республика Коми, Удмуртская Республика, один край - Пермский, вместе с Коми-Пермяцким автономным округом, пять областей: Курганская, Оренбургская, Тюменская, Свердловская, Челябинская и два автономных округа: Ханты-Мансийский - Югра и Ямало-Ненецкий), которые территориально связаны с географической областью – Уралом. В административно-территориальном отношении они входят в разные федеральные округа, а в экономическом отношении – в разные экономические районы. Рассматриваемая территория – УГПР, располагается на стыке Европы и Азии, захватывает, кроме горной страны – Урала, еще и части Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин и по площади составляет 270421,7 тыс. га, что составляет 16,1% территории Российской Федерации.

Земельные ресурсы по территории УГПР распределены неравномерно, так, земли сельскохозяйственного назначения наиболее распространены на юге, доходя до 88,4% территории в Оренбургской области (в ХМАО-Югре – 1,1%), земли лесного фонда занимают наибольшие площади в УГПР, доходя до 91% в ХМАО-Югре (в Оренбургской области – 5,1%). Доля в % площади земель населенных пунктов в большинстве субъектов РФ в УГПР в 2-3 раза выше, чем в Российской Федерации, земли промышленности и иного специального назначения, в основном, сосредоточены в трех субъектах РФ: Свердловской, Челябинской и Оренбургской областях, составляя в среднем около 2,5%, т.е. в 2,5 раза выше, чем в Российской Федерации. Результаты полученных данных указывают на высокую урбанизацию территории УГПР.

Землепользованием, в рамках настоящего исследования, т.е. на территории горнопромышленного комплекса (далее – ГПК) при разработке месторождения полезных ископаемых (далее – МПИ), будем понимать использование части земной поверхности для формирования горного отвода, совокупность земельных участков, образуемых под технологические здания и сооружения, инженерные и транспортные коммуникации, а также под размещение отходов горнодобывающих и перерабатывающих полезные ископаемые предприятий. В этом случае, система землепользования может иметь следующую структуру (табл. 1).

**Таблица 1 – Система землепользования на территории ГПК**

| Признаки землепользования  | Направление деятельности  |
|----------------------------|---|
| хозяйственная деятельность | <ul style="list-style-type: none"> <li>- деятельность с изъятием земельных ресурсов, в том числе с покрытием земельных ресурсов: <ul style="list-style-type: none"> <li>при застройке территории;</li> <li>без застройки территории;</li> </ul> </li> <li>– деятельность без изъятия земельных ресурсов;</li> <li>– деятельность без изъятия земельных ресурсов, но с покрытием территории;</li> <li>– ограничение деятельности по целевому назначению использования земельных ресурсов;</li> </ul> |
| правовой режим             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– использование земельных ресурсов на праве собственности;</li> <li>– использование земельных ресурсов на ином праве, как правило, на праве аренды;</li> </ul>   |
| экономические показатели   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– плата за использование земельных ресурсов в виде земельного налога или арендной платы;</li> <li>– плата за использование лесных ресурсов;</li> <li>– затраты на рекультивацию нарушенных земель;</li> <li>- экологические платежи;</li> </ul>  |
| социальная функция         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– изъятие и первичная переработка минерально-сырьевых ресурсов в период эксплуатации МПИ;</li> <li>– реабилитация земель с целью их эффективного использования после отработки МПИ;</li> </ul>   |
| экологическое состояние    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– оценка состояния земной поверхности: нарушенное, загрязненное, захламленное, деградированное;</li> <li>– оценка опасности: <ul style="list-style-type: none"> <li>- опасные для окружающей среды и здоровья людей;</li> <li>– не опасные для окружающей среды и здоровья людей;</li> </ul> </li> </ul>   |

При образовании земельных участков под объекты ГПК необходимо учитывать, что на отдельных категориях земель необходимо изменить их целевое назначение, например, на землях сельскохозяйственного назначения. В процессе разработки МПИ, т.е. при значительном антропогенном воздействии на недра, происходит мощный процесс техногенеза с образованием техногенных форм рельефа и ареалов загрязнения земель – результатов негативного влияния ГПК на окружающую среду, формируя специфические промышленные виды ландшафтов – горнопромышленные ландшафты (далее – ГПЛ) [1].

Тогда горнопромышленную территорию (далее – ГПТ) можно определить как территорию воздействия ГПК на окружающую среду в экологическом смысле с учетом прав на земельные участки, занимаемые ГПК и смежными землепользователями. Размеры ГПТ устанавливаются по величине воздействия ГПК на окружающую среду, учитывая, что ГПТ характеризуется наличием зон с особыми режимами использования территорий (далее - ЗОРИТ) различного вида, а также ареалами загрязнений различного назначения: воздушные (выбросы в атмосферу), водные (сброс дренажных и других промышленных вод), почвенные (аккумуляция вредных веществ в результате воздушных выбросов и водных сбросов) [2].

Исходя из определения ГПТ, точные границы такой территории определить достаточно проблематично. Если площади, предоставленные под горный и земельный отвод действующих ГПК, еще можно получить из государственных информационных систем, то такие данные у прекративших существование горных предприятиях получить уже намного труднее. Сведения о площадях загрязненных и деградированных земель получены для отдельных ГПК и практически не систематизированы на территории региона.

Многие населенные пункты в регионе являются такими, где ГПК являются градообразующими, 34 города отнесены к моногородам. Так, например, в Челябинской области 38-40% населенных пунктов тесно связаны с горным производством, в Свердловской области это количество составляет около 35 %, из их числа в УГПР с разработкой МПИ подземным способом связано 49% населенных пунктов, а открытым способом – 51% [3]. При этом территории, связанные с горными выработками, являются подработанными.

На Урале открыто более 13 тысяч месторождений полезных ископаемых. С позиций историко-генетического подхода показано, что освоение минеральных ресурсов региона отмечено археологами еще в бронзовом веке. В целях настоящего исследования по времени образования все ГПЛ на территории УГПР можно подразделить на образованные в доисторический период (до XV – XVI вв.), период становления горнозаводского дела (XVII – XIX вв.) и в период мощного развития горнозаводского производства (XX – XXI вв.). За это время на рассматриваемой территории прекратили свое существование более 1670 горных предприятий, расположенных на различных территориях УГПР. В настоящее время действует свыше 300 горных предприятий, из них около 40 крупных. Анализ истории более чем 300-летнего горнозаводского дела, проведенный авторами, выявил, что на территории УГПР имеются до сих пор не ликвидированные объекты ГПЛ бывших ГПК (шурфы, стволы шахт и рудников и др.), обширные площади земель, занятые отвалами и другими технологическими насыпями горного назначения, объекты ГПЛ, благополучные в экологическом состоянии, подвергшиеся самовосстановлению (зарастанию, заболачиванию, затоплению копей, карьеров и т.п.), горнозаводские водохранилища (пруды) с гидротехническими сооружениями

(плотинами, канавами, шлюзами и т.д.), а также земли, содержащие токсичные вещества, превратившиеся в безжизненные пустыни.

Проведенный авторами анализ информационных источников показал, что, в общем, экологическая ситуация в УГПР неблагоприятная. На территории УГПР общий объем техногенно-минеральных отходов составляет около 8,5 млрд. т, площадь занятых под отвалы земель превышает 2 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 0,1% территории УГПР, при этом в УГПР ежегодно складывается около 2 км<sup>3</sup> всевозможных отходов горного производства [4]. Вклад Уральского экономического района в загрязнении атмосферы стационарными источниками на протяжении 90-х годов составлял 23 – 26% от общероссийского объема выбросов, районы добычи нефти, газа и угля служат источниками поступления в атмосферу метана, в том числе путем возгорания угля в бортах карьеров и в отвалах. При разработке МПИ нарушается состояние и состав поверхностных и подземных вод. На 1 тонну добытого полезного ископаемого расходуется до 10м<sup>3</sup> хозяйственно-питьевой воды, а в переработанном виде получаем «грязную» воду, заражающую гидросферу. Нефтедобывающая промышленность, основная часть которой (71%) размещена на территории УГПР, дает 21 млн. м<sup>3</sup> сточных вод. Негативное влияние оказывают и последствия, вызываемые добычей нефти и газа, и, в первую очередь, нефтеразливы, так, например, на территории ХМАО-Югра на начало 2013 года числилось 18303 загрязненных участка на площади 5137,4га [5].

Что касается техногенных нарушений земной поверхности, происходящих под влиянием горных работ, то здесь необходимо отдельно выделить нарушения земной поверхности, образующиеся при открытом способе разработки МПИ и отдельно - при подземном и скважинном способах разработки МПИ. В первом случае деформациям подвержены практически все карьеры и разрезы УГПР, а размеры оползневых деформаций бортов карьеров могут достигать по занимаемой площади на земной поверхности в прибортовой части 40 тыс. м<sup>2</sup>. Во втором случае нарушения земной поверхности проявляются в виде провалов, трещин, оседаний. Размеры провалов могут достигать по площади до 100 тыс. м<sup>2</sup> и глубины – до 30-50м. Наиболее опасными можно считать подработанные территории населенных пунктов, так как они угрожают безопасности и нормальным условиям жизнедеятельности населения [6]. На отдельных ГПТ экологическая ситуация приближается к критической (гг. Соликамск и Березники, Пермский край), а горнопромышленная территория вблизи г. Карабаша признана территорией экологической катастрофы.

Основываясь на вышеизложенном, проблемы использования и охраны земель горнопромышленных территорий можно изложить в следующей последовательности:

- проблема рационального использования земель на территории ГПК, связанная с оптимальным размещением объектов ГПК;
- проблема охраны земель горнопромышленной территории, связанная с природоохранной деятельностью ГПК;
- проблема государственного кадастрового учета и государственной регистрации прав на образуемые земельные участки;
- проблема эффективного использования земель населенных пунктов и смежных земель в случаях размещения на территории населенных пунктов или непосредственно вблизи них объектов ГПК;
- проблема реабилитации горнопромышленных ландшафтов, остающихся в период после отработки МПИ, в том числе с учетом прошлого накопленного в местах дислокации горных предприятий экологического ущерба.

Разрешение поставленных проблем возможно при применении методов оптимизации использования и охраны земель на горнопромышленной территории. В этом случае, под оптимизацией решений по обеспечению рационального использования и охраны земель ГПТ (далее – оптимизация решений) будем понимать систему (совокупность) мероприятий, позволяющих достичь желаемого результата наилучшим образом в соответствии с определенными критериями оптимальности. Предложенные автором пути оптимизации решений представлены на рисунке 1.

Предложено оптимизацию решений разделить на два периода: оптимизацию решений на территории действующих ГПК и в период после отработки МПИ. Для каждого периода установлены (заданы) критерии оптимальности, варьирующие параметры, математические модели процесса и ограничения, связанные с особенностями горного производства.

В качестве критериев оптимальности для первого периода выдвинуты следующие: реализация рационального использования и охраны земель; реализация экологической безопасности; реализация безопасной среды обитания; реализация эффективного использования природных ресурсов.

*Варьирующими параметрами* являются входные потоки горной массы, т.е. вскрышные и вмещающие горные породы, рудная масса и отходы обогащения, а также поступление вредных веществ на территорию ГПК и сопредельные территории. *Общая математическая модель* выражается прибылью от реализации продукции горного производства. *Частные модели* по критериям сформулированы ниже по каждому критерию. *Ограничениями* могут выступать целевое назначение земель, уровень предельно-допустимых концентраций (уровней, воздействий) вредных веществ, потенциальная возможность (вероятность, риск) проявления деформаций земной поверхности в пределах ГПТ

Согласно реализации *первого критерия*, оптимизация решений в период эксплуатации МПИ достигается путем минимизации площадей земельных участков, занимаемых объектами ГПЛ, в том числе путем рекультивации освобождаемых земель. Основные методы достижения уменьшения площадей, занятых объектами ГПЛ, приведены на рис. 1.

Критерием эффективного использования земельных ресурсов на территории ГПК на каждом этапе освоения МПИ можно считать отношение суммы фактически занятой объектами ГПЛ площади земельного отвода к установленной проектом площади.

Согласно *второго критерия*, необходимо минимизировать вредное влияние ГПЛ на окружающую среду. В полной мере необходимость образования и использования ЗОУИТ и ЗОРИТ зависит от экономической и юридической ответственности собственников режимных и режимобразующих объектов, к которым относятся и объекты ГПК (ГПЛ).

В этом случае за счет средств ГПК должны быть задействованы возможности обновления природоохранных фондов и внедрения инновационных решений по усилению природоохранной деятельности, включая организацию мониторинга и контроля состояния окружающей среды. Индикаторами устойчивого развития являются фактические значения концентрации вредных веществ в воздухе, воде и почве ГПТ.

По *третьему критерию* на ГПТ выявляются и оконтуриваются ЗОРИТ, по каждой зоне определяется коэффициент безопасности (значение риска или вероятность проявления негативного техногенного события) – индикатор устойчивого развития, и определяется программа осуществления мониторинга за состоянием зоны. Авторами предложена методика определения рисков [6].



Рис. 1. Пути оптимизации решений

По *четвертому критерию* должно быть обеспечено наиболее полное (максимальное) извлечение из недр запасов основных и попутных ПИ, что предопределяет форму, размеры и структуру объектов ГПЛ в зависимости от свойств МПИ. При этом в процессе разработки МПИ должна быть обеспечена охрана МПИ как природного объекта ГПЛ от затопления, обводнения, пожаров и других факторов, снижающих качество добываемых ПИ и промышленную ценность МПИ или осложняющих их разработку.

Началом реализации процесса оптимизации решений является разработка проекта освоения МПИ, когда решаются вопросы размещения объектов ГПЛ на территории будущего ГПК, при этом отправной точкой является местоположение самого МПИ. Для осуществления заявленного принципа оптимизации решений разрабатываемые инновационные технологии могут быть разделены на три большие группы: мероприятия по предотвращению нарушений земной поверхности; мероприятия по полному использованию минеральных ресурсов; мероприятия по текущему использованию накапливаемых отходов.

Процесс разработки МПИ и первичной переработки ПИ сопровождается появлением отходов горного производства, формирующих объекты ГПЛ и занимающих большие площади земель. С целью уменьшения вредного влияния отходов и возможности их использования как вторичных МПИ, возникает необходимость переработки отходов, т.е. их утилизация, либо нейтрализация и обезвреживание отходов до уровня их экологической безопасности (рис. 1).

Оптимизация решений после отработки МПИ, т.е. в *постотрабочный* период, имеет свои специфические особенности.

Во-первых, изменяются критерии оптимальности, которые в данных условиях приобретают следующий вид: создание информационного ресурса остаточных ГПЛ; обеспечение устойчивого развития данной территории; актуализация информационного ресурса.

*Варьирующими параметрами* в этом случае можно принять степень самовосстановления или ПНЭУ (степень нарушенности земной поверхности, загрязнения почв, деградации биосферы и т.п.). *Общей моделью* является минимизация затрат на все мероприятия, связанные с использованием объектов ГПЛ или постановкой мониторинговых наблюдений за их состоянием. *Ограничениями* могут являться состояние бюджета МО, не позволяющее направить средства на восстановление ГПЛ, или возможности технологий по выявлению и использованию объектов ГПЛ и/или организации мониторинга за состоянием ГПЛ.

В постотрабочный период в любом случае формируется территория ПНЭУ. Имея это в виду, основной задачей реализации *первого критерия* является выявление, идентификация и оценка состояния остаточных объектов ГПЛ (определение площади распространения объектов ГПЛ, их уровня негативного влияния, определение степени изменения по сравнению с исходным) на территории ПНЭУ. С этой целью авторами предложена методика зонирования территорий ПНЭУ с учетом особенностей ранее проведенных горных работ.

На основании проведенных оценочных работ реализуется *второй критерий*, т.е. разрабатываются предложения по дальнейшему использованию выявленных в ходе инвентаризации земельных участков и других объектов ГПЛ, при этом устанавливаются возможность и условия:

- дальнейшего использования всех или части земельных участков и других объектов ГПЛ прежними землепользователями (арендаторами);
- восстановления нарушенных, деградированных и загрязненных земель;

- передачи неиспользуемых земель и объектов ГПЛ в государственную или муниципальную собственность;

- установления возможности идентификации отходов как вторичного МПИ.

Объекты ГПЛ: отвалы, карьеры, подземные горные выработки и др., которые в настоящее время невозможно утилизировать, могут представлять опасность для расположенных рядом или над ними объектов жизнеобеспечения населения, производственной деятельности или сохранения объектов, расположенных на особо охраняемых природных территориях. С этой целью могут формироваться зоны техногенной опасности или техногенного риска, размеры и статус которых зависит от оставшихся объектов ГПЛ [1, 6].

В этом случае реализуется *третий критерий* – организация постоянного мониторинга за состоянием таких объектов ГПЛ [8, 9].

Мероприятия, предлагаемые при оптимизации решений в постотрабочный период, можно считать реабилитацией ГПТ, учитывая, что целью таких мероприятий является обеспечение максимального приспособления объектов функционирующих ландшафтов к новым условиям, т.е. изменению своей социально-экономической функции, либо их применения по назначению, т.е. выполнения присущей им социально-экономической функции – добычи и переработки полезного ископаемого. В данном случае, реабилитация горнопромышленных ландшафтов – это действия, направленные на полное их восстановление до состояния, близкого к природному, или для достижения максимально возможного их использования в народном хозяйстве и обеспечении нормальных условий жизнедеятельности населения.

Таким образом, предложенные методы решений позволяют определить пути решения выявленных проблем, направленные на устойчивое развитие горнопромышленных территорий.

### Список литературы

1. Коновалов В.Е. Технологические объекты горнопромышленного комплекса – основа формирования объектов горнопромышленных ландшафтов.// Изв. вузов. Горный журнал. – 2014. - №6. – С.27 – 32.
2. Коновалов, В.Е. Кадастр объектов горнопромышленного комплекса [Текст]: научная монография / В.Е. Коновалов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. – 168 с.
3. Коновалов В.Е., Колчина М.Е. Формирование и функционирование горнопромышленных ландшафтов в условиях Уральского горнопромышленного региона. Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов. Труды IV Международной научно-практической конференции 4 апреля 2016 / Отв. редактор Семячков А.И. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2016. – С. 143 – 149.
4. Гурова Н.В. Анализ современного состояния природопользования на железорудных предприятиях Урала и основные пути его совершенствования, Семинар №12, 2006 г., С. 299 – 305. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.gial-online.ru> 21\_Tarasov12\_nov.pdf (дата обращения 16.10 2016).
5. Недропользование в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2012 году [Текст]: Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.Н.Шпильмана». – Тюмень – Ханты-Мансийск: Издательский Дом «ИздатНаукаСервис», 2013. - 223 с.
6. Колчина М.Е., Коновалов В.Е., Колчина Н.В. Вопросы безопасности и организации рационального использования земель промышленных городов в зонах влия-

ния подземных горных выработок // Известия Уральского государственного горного университета. – 2017. – Вып.1. – С.37 – 43.

7. Коновалов В.Е., Шихлаев Д.А. Информационное обеспечение управления земельными ресурсами горнопромышленного комплекса.// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель - 2014. - № 1.– С. 49 – 57.

8. Коновалов В.Е., Колчина М.Е., Тетерюков Е.В. Концептуальный подход к использованию ГИС-технологий при осуществлении мониторинга горнопромышленных ландшафтов.// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. - 2015.- № 1. – С. 40 – 44.

УДК 347.214

## ПРОБЛЕМЫ ВНЕСЕНИЯ СВЕДЕНИЙ В ЕДИНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР НЕДВИЖИМОСТИ О РАНЕЕ УЧТЕННЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ

КОЛЧИНА Н. В.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Совершенствование схемы регистрации земельных участков как ранее учтенных объектов недвижимости, которая позволит избежать существования в Едином государственном реестре недвижимости земельных участков с неуточненными сведениями, в том числе местоположением границ, а также уменьшит количество судебных споров по вопросу наложения границ одних земельных участков на другие земельные участки.

**Ключевые слова:** ранее учтенный земельный участок, государственный кадастровый учет, государственная регистрация прав.

## PROBLEMS OF ENTERING OF DATA INTO THE UNIFIED STATE REGISTER OF THE REAL ESTATE ON EARLIER CONSIDERED LAND PLOTS

KOLCHINA N. V.

Ural State Mining University

**Abstract.** Improvement of the scheme of registration of the land plots as earlier considered real estate objects which will allow to avoid existence in the Unified state register of the real estate of the land plots with not specified data, including location of borders and also will reduce the number of lawsuits concerning imposing of borders of one land plots by other land plots.

**Keywords:** earlier considered land plot, the state cadastral registration, the state registration of the rights.

С 1 января 2017 года начала действовать новая единая федеральная система – Единый государственный реестр недвижимости (далее – ЕГРН), который объединил в себе сведения, содержащиеся в Едином государственном реестре прав на недвижимость и государственном кадастре недвижимости. Такая система является сводом достоверных систематизированных сведений об объектах недвижимости, о границах зон и территорий, о зарегистрированных правах на объекты недвижимости, основаниях их возникновения, правообладателях, а также иных сведений, установленных федеральным законом от 13.07.2015 N 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» (далее – Закон о регистрации) [1].

Государственная регистрация права в ЕГРН является единственным доказательством существования зарегистрированного права. Такой регистрации подлежат право собственности и другие вещные права на объекты недвижимости и сделки с ним, а также ограничения прав и обременения объектов недвижимости. Начиная с 1 января 2017 года такими объектами недвижимости являются земельные участки, здания, сооружения, помещения, машино-места, объекты незавершенного строительства, единые недвижимые комплексы, предприятия как имущественные комплексы [1].

Актуальными проблемами в сфере регистрации недвижимости занимается большое количество ведущих специалистов в области регистрации прав, кадастровых отношений и управления недвижимостью. Однако, не смотря на обилие материалов на эту тему, единого направления совершенствования системы ЕГРН нет. На сегодняшний день одной из главных проблем в сфере осуществления регистрации недвижимости остается отсутствие необходимых и полных сведений об объектах недвижимости, содержащихся в единой федеральной информационной системе недвижимости, и надлежащее их качество.

Все сведения, содержащиеся в ЕГРН, имеют определенные статусы (актуальные, ранее учтенные, временные, аннулированные, архивные, погашенные) [2]. Более обобщенно можно сказать, что ранее учтенными объектами недвижимости являются объекты, которые прошли государственный учет (технический учет, кадастровый учет, регистрация прав) до дня вступления в силу Федерального закона от 24 июля 2007 года N 221-ФЗ «О государственном кадастре недвижимости» (далее – Закон о кадастре). Более подробно можно указать, что в соответствии с Законом о регистрации государственного учета объектов недвижимости, в том числе осуществленный в установленном законодательством Российской Федерации порядке до дня вступления в силу Закона о кадастре, признается юридически действительным, и такие объекты считаются ранее учтенными объектами недвижимого имущества. Объекты недвижимости, государственный кадастровый учет которых не осуществлен, но права на которые зарегистрированы в ЕГРН и не прекращены и которым присвоены органом регистрации прав условные номера в порядке, установленном в соответствии с Федеральным законом от 21 июля 1997 года N 122-ФЗ «О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним», также считаются ранее учтенными объектами недвижимости [1].

При этом ни Законом о регистрации, ни иными нормативными правовыми актами не предусматривается требований к правообладателям земельных участков, являющихся ранее учтенными объектами недвижимости, по определению местоположения их границ и внесению соответствующих сведений в ЕГРН. В связи с этим данные процедуры осуществляются на усмотрение правообладателей таких объектов.

При отсутствии сведений о таких объектах в ЕГРН сведения о них могут быть внесены в ЕГРН согласно статье 69 Закона о регистрации на основании представленного в орган регистрации прав заявления о внесении сведений о ранее учтенном объекте недвижимости и документа, устанавливающего или подтверждающего право на такой объект недвижимости (копии документа, заверенной в порядке, установленном федеральным законом), устанавливающего или подтверждающего право на объект недвижимости, в том числе документа, указанного в пункте 9 статьи 3 Федерального закона от 25 октября 2001 г. N 137-ФЗ «О введении в действие Земельного кодекса Российской Федерации». Отсутствие в таком документе сведений о местоположении границ (контура) объекта недвижимости не является основанием для принятия решения об отказе во внесении сведений о таком объекте недвижимости в ЕГРН. Представление в указанном случае межевого плана земельного участка не требуется.

Следует учитывать, что Законом о регистрации не ограничен перечень вышеуказанных документов, представляемых в качестве оснований для внесения в ЕГРН сведений о ранее учтенных объектах недвижимости. В связи с этим сведения о ранее учтенном объекте недвижимости могут быть внесены в ЕГРН на основании любого документа, устанавливающего или подтверждающего право заинтересованного лица на соответствующий объект недвижимости, при этом такой документ должен быть выдан уполномоченным органом (организацией), отвечать требованиям законодательства, действовавшего в месте издания соответствующего документа на момент его издания.

Самым негативным аспектом в регистрации земельных участков как ранее учтенных является необязательность сведений о местоположении границ (контура) таких земельных участков.

Попытки ФГУ «Земельная кадастровая палата» провести инвентаризацию сведений о ранее учтенных земельных участках для отражения их в государственном реестре земель кадастрового района и на кадастровой карте в виде чертежа и каталога координат точек границ земельных участков оказались безуспешными. По данным Росреестра на 1 июля 2016 года из 57,8 млн. земельных участков, сведения о которых внесены в ЕГРН (ранее государственный кадастр недвижимости), только в 48,8 % установлены границы [3].

Подавляющее количество таких земельных участков являются участки под промышленные объекты и лесные участки.

В итоге в ЕГРН содержатся земельные участки, которые физически не привязаны к какой-либо территории, и находятся своего рода «в воздухе», при этом даже могут находиться в нулевом кадастровом квартале. Большие трудности возникают при проведении кадастровых работ по уточнению границ таких земельных участков.

Уточнение местоположения границ таких земельных участков осуществляется в порядке, предусмотренном частью 10 статьи 22, частями 1 и 2 статьи 43 Закона о регистрации, статьями 39 и 40 Федерального закона от 24 июля 2007 г. N 221-ФЗ «О кадастровой деятельности», и сроками не ограничивается. Одним из главных документов для проведения кадастрового учета по уточнения границ земельных участков является межевой план. Приказом Минэкономразвития России от 08.12.2015 N 921 «Об утверждении формы и состава сведений межевого плана, требований к его подготовке» установлен перечень документов-оснований, необходимых для подготовки межевого плана. Пунктом 21 вышеуказанного приказа определено, что межевой план в связи с уточнением местоположения его границ и площади земельного участка подлежит изготовлению в отношении объекта недвижимости, сведения о котором ранее были внесены в ЕГРН и сведения о котором получены кадастровым инженером для осуществления кадастровых работ. В предусмотренных случаях, для подготовки межевого плана необходимо использовать [4]:

1) документы градостроительного зонирования (правила землепользования и застройки);

2) нормативные правовые акты, устанавливающие предельные (максимальные и минимальные) размеры земельных участков;

3) документация по планировке территории (проекты планировки территории, проекты межевания территории), документы территориального планирования;

4) документы, определяющие (определявшие) в соответствии с законодательством Российской Федерации местоположение границ земельного участка (земельных участков) при его образовании, в том числе:

- схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории;

- решения, предусматривающие утверждение схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории;
- решения о предварительном согласовании предоставления земельных участков;
- решения об утверждении проекта межевания территории;
- утвержденный проект межевания территории;
- решение об изъятии земельного участка и (или) расположенного на нем объекта недвижимости для государственных или муниципальных нужд;

5) утвержденные в установленном порядке проекты организации и застройки территорий садоводческих, огороднических или дачных некоммерческих объединений граждан, проекты перераспределения сельскохозяйственных угодий и иных земель сельскохозяйственного назначения;

6) утвержденные в установленном порядке материалы лесоустройства, проектная документация лесных участков;

7) решения о предоставлении земельных участков, иные документы о правах на земельные участки;

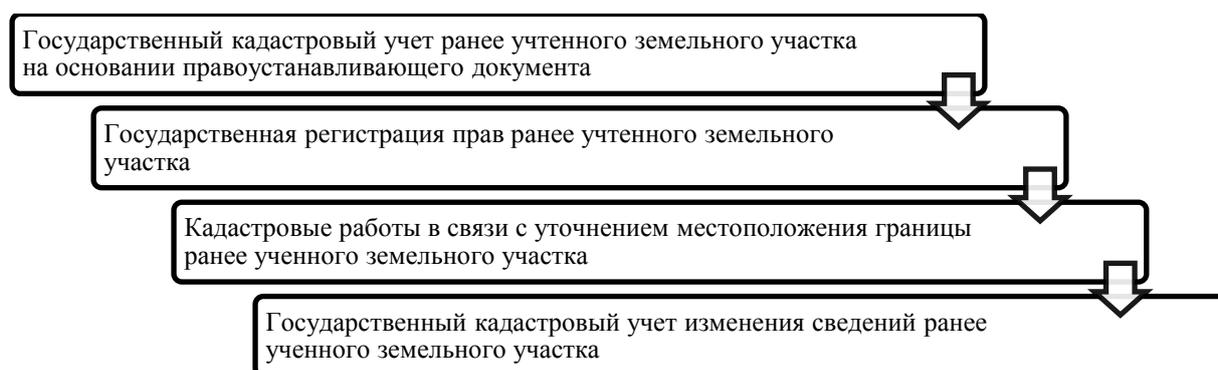
8) вступившие в законную силу судебные акты;

9) иные предусмотренные законодательством документы.

Не смотря на большой список документов-оснований для проведения кадастровых работ по уточнению местоположения границ земельных участков, не редки случаи, когда такие документы отсутствуют. Особенно это насущно для земельных участков, предоставленных до 2008 года.

Помимо указанного, при уточнении местоположения границ и площади земельного участка, в составе межевого плана подлежит включению «Акт согласования местоположения границ земельного участка», содержащего подписи всех заинтересованных лиц, а также документы, подтверждающие полномочия лиц и установленный порядок извещения.

На основании вышеуказанного можно составить схему регистрации земельного участка как ране учтенного объекта недвижимости (рис. 1).



**Рис. 1. Существующая схема регистрации земельного участка как ране учтенного объекта недвижимости**

Как видно на схеме, государственный кадастровый учет необходимо осуществлять два раза. При этом, временной разрыв между первым и последним этапами может составлять до нескольких десятков лет.

Во избежание существования подобных неуточненных земельных участков в ЕГРН, целесообразным является проведение регистрации земельных участков не только на основании правоустанавливающих документов, но и на основании документов, в

которых содержится вся необходимая информация для внесения всех сведений о земельных участках.

Самой большой сложностью является наличие документов-оснований, в котором указано местоположение границ земельных участков. В соответствии с Законом о регистрации местоположение таких границ определяется исходя из сведений, содержащихся в документе, подтверждающем право на земельный участок, или при отсутствии такого документа исходя из сведений, содержащихся в документах, определяющих местоположение границ земельного участка при его образовании. В случае отсутствия в документах сведений о местоположении границ земельного участка их местоположение определяется в соответствии с утвержденным в установленном законодательством о градостроительной деятельности порядке проектом межевания территории. При отсутствии в утвержденном проекте межевания территории сведений о таком земельном участке его границами являются границы, существующие на местности пятнадцать и более лет и закрепленные с использованием природных объектов или объектов искусственного происхождения, позволяющих определить местоположение границ земельного участка.

При отсутствии вышеуказанных документов-оснований имеется практика по подготовке и утверждению схем расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории в соответствии со статьей 11.10 Земельного кодекса Российской Федерации [5].

В решении об утверждении такой схемы указываются [6]:

1) площадь земельного участка, образуемого в соответствии со схемой расположения земельного участка;

2) адрес земельного участка или при отсутствии адреса земельного участка иное описание местоположения земельного участка;

3) кадастровый номер земельного участка или кадастровые номера земельных участков, из которых в соответствии со схемой расположения земельного участка предусмотрено образование земельного участка, в случае его образования из земельного участка, сведения о котором внесены в ЕГРН;

4) территориальная зона, в границах которой образуется земельный участок, или в случае, если на образуемый земельный участок действие градостроительного регламента не распространяется или для образуемого земельного участка не устанавливается градостроительный регламент, вид разрешенного использования образуемого земельного участка;

5) категория земель, к которой относится образуемый земельный участок.

В самой схеме указываются:

1) условный номер земельного участка;

2) площадь земельного участка;

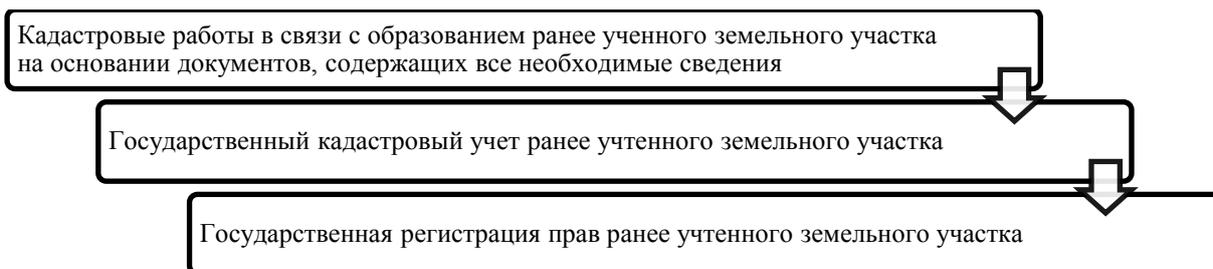
3) обозначение характерных точек границ и их координаты;

4) графическое отображение границы земельного участка;

5) масштаб;

6) условные обозначения.

Таким образом целесообразная схема регистрации земельного участка как ране учтенного объекта недвижимости представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Целесообразная схема регистрации земельного участка как ранее учтенного объекта недвижимости**

Данная схема регистрации земельных участков как ранее учтенных объектов недвижимости позволит избежать существования в ЕГРН земельных участков с неуточненными сведениями, в т.ч. местоположением границ, а также уменьшит количество судебных споров по вопросу наложения границ одних земельных участков на другие земельные участки.

### Список литературы

1. О государственной регистрации недвижимости: федеральный закон от 13.07.2015 N 218-ФЗ (ред. от 28.02.2018). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Об установлении порядка ведения Единого государственного реестра недвижимости, формы специальной регистрационной надписи на документе, выражающем содержание сделки, состава сведений, включаемых в специальную регистрационную надпись на документе, выражающем содержание сделки, и требований к ее заполнению, а также требований к формату специальной регистрационной надписи на документе, выражающем содержание сделки, в электронной форме, порядка изменения в Едином государственном реестре недвижимости сведений о местоположении границ земельного участка при исправлении реестровой ошибки: Приказ Минэкономразвития России от 16.12.2015 N 943 (ред. от 11.12.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Дульцева Н.В. актуальные проблемы в сфере реализации кадастровых отношений // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. 2017. № 1 (8). С. 129-131.
4. Об утверждении формы и состава сведений межевого плана, требований к его подготовке: приказ Минэкономразвития России от 08.12.2015 N 921 (ред. от 23.11.2016). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Земельный кодекс Российской Федерации: от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 31.12.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Об утверждении требований к подготовке схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории и формату схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории при подготовке схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории в форме электронного документа, формы схемы расположения земельного участка или земельных участков на кадастровом плане территории, подготовка которой осуществляется в форме документа на бумажном носителе: приказ Минэкономразвития России от 27.11.2014 N 762 (ред. от 13.10.2016). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

## ПОНИЖАТЕЛЬНАЯ СЕБЕСТОИМОСТЬ ИННОВАЦИОННЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ЛЕГОТИН Ф. Я.

Уральский государственный экономический университет

**Аннотация.** В статье приведена методическая оценка производственной себестоимости добычи руды бригадой горнодобывающего калийного участка ГДКУ в условиях: а) «панельной системы горно-подготовительных и очистных работ шахтного поля комбайновым комплексом «Урал – 20», объемом  $Q = 52737,5$  тонн/месяц; б) инновационной «панельно-блоковой системы горно-подготовительных и очистных работ шахтного поля рудника комплексной бригадой горнорабочих очистного забоя на основе высокомеханизированных дуокомбайновых комплексов «Урал - 20Р» и «Урал - 20А»  $Q = 105475$  т/мес. Предложен методологический подход формирования предельной оптимально-инновационной понижательной цеховой себестоимости добываемой калийно-магниевого руды за период, бригадой горнорабочих очистного забоя ГДКУ. Добавленная повышательная чистая прибыль от применения инновационной технологии за счет понижательной себестоимости добываемой руды составила 19 856 301,6 т/год. Интегральный повышательный чистый доход от прорывного повышательного роста производительности труда при производстве и реализации годового объема высокоортного хлористого калия прогрессивным способом составил 36 585 201,6 т/год.

**Ключевые слова:** руда, себестоимость понижательная, инновационная геотехнология, повышательный чистый доход

## REDUCING COST OF INNOVATIVE GEOTECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS

LEGOTIN F. Ya.

Ural State University of Economics

**Abstract.** The article gives a methodical estimation of the production cost of ore mining by a brigade of the mining potash section of the GDKU in the following conditions: a) a "panel system of mining preparatory and cleaning works of the mine field with the Ural-20 combine harvester,  $Q = 52737.5$  tons / month; b) innovative "panel-block system of mining preparation and cleaning works in the mine pit of the mine complex brigade of mining workers on the basis of highly mechanized duo-combine" Ural-20R "and" Ural-20A  $Q = 105475$  tons / month. A methodological approach is proposed for the formation of the maximum optimal innovative lowering of the cost of production of potassium-magnesium ore mined for the period, by a team of miners of the GDKU bottomhole. The added upward net profit from the use of innovative technology due to the downside of the cost of mined ore was 19,856,301.6.6 per year. Integral upward net income from the breakthrough upward growth in labor productivity in the production and sale of the annual volume of high-grade potassium chloride by progressive method amounted to 36 585 201.6 tons per year.

**Keywords:** ore, downward cost, innovative geotechnology, upward net income

Согласно градации Ньюбоулда и Луффмана, стейкхолдеры делятся на группы: 1) которые оказывают финансовую помощь компании (например, акционеры); 2) менеджеры, которые руководят предприятием; 3) служащие, работающие на предприятии; 4) партнеры компании (потребители, поставщики и т. п.)<sup>2</sup> [1]. В статье принятие оптимальных решений принадлежит участникам второй и третьей групп: наемным менеджерам (АУП, ИТР) и горнорабочим очистного забоя ГРОЗ горнодобывающего калий-

<sup>2</sup> Стратегический менеджмент: стейкхолдеры. URL: <http://www.artimage.ru/contacts/>.

ного участка одной из шахт рудоуправления объединенной акционерной компании ПАО «Уралкалий», [2]. Современное горно-химическое предприятие Российской Федерации разрабатывает Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей с 1933 года, площадью 6,5 тыс. км<sup>2</sup>. Промышленные запасы сильвинитов, карналлитов и других каменных солей 3,8 млрд т, что при текущих уровнях добычи может обеспечить компанию сырьём на 200 лет. Содержание KCl в руде 18-34%. Добываемую в шахтах руду обогащают двумя методами: химическим (галургическим) и флотационным, получая при этом три вида хлористого калия: розовый, белый и гранулированный, [2].

Галургический метод используется со времени зарождения калийной промышленности со второй половины XIX века для выпуска высокосортного хлористого калия в соответствии с ГОСТ 4568-95 марки «А», с массовой долей хлористого калия 98,2%, хлористого натрия 1,3%, аминов, 0,02%. Доля примесей в виде нерастворимого остатка сульфата кальция и хлорида магния не более 0,2%. Применяется высокосортный «Калий хлористый» в химической промышленности. При помощи галургического метода на обогатительных фабриках Общества производится белый хлористый калий. Этот метод основан на изменении совместной растворимости хлорида калия KCl и хлорида натрия NaCl в воде при различных температурах. При охлаждении насыщенного раствора из него выкристаллизуется KCl. В результате применения галургического метода производят также и калийные удобрения с содержанием полезного компонента до 95% [3].

Флотационный метод стал использоваться с 60-х годов XX века для производства калийных удобрений для сельского хозяйства с содержанием полезного компонента до 95%. Розовый хлористый калий производится на обогатительных фабриках Общества флотационным методом. Этот метод получил свое название в связи с тем, что он основан на различной флотуемости минералов сильвина и галита в насыщенном водном растворе хлоридов калия и натрия в присутствии реагентов. Процесс производства гранулированного калия цвета идентичен процессу, который используется при производстве розового хлористого калия. После этого этапа высушенный порошок прессуется в плитки под давлением 200-220 атмосфер. Далее гранулы подвергаются обработке: у них удаляются острые грани, замываются трещины и с помощью закалки в печах кипящего слоя увеличивается прочность. «Уралкалий» также обладает технологией производства гранулята из белого хлористого калия [4].

Основными потребителями минеральных удобрений на внутреннем рынке являются районные и областные предприятия «Сельхозхимии»: Белгородской, Орловской, Курской, Липецкой, Воронежской областей, Краснодарского края и другие [3].

Значительная доля хлористого калия направляется для производства минеральных удобрений нефтедобывающими и нефтеперерабатывающими заводами и предприятиями. Продукция компании используется также на заводах по производству сложных минеральных удобрений, в стекольной, лакокрасочной, парфюмерной, кожевенной, фармацевтической и других отраслях промышленности.

Соликамское калийное рудоуправление направляет добытую карналлитовую руду на «ВСМПО-Ависма» для производства магния и промышленных солей, а магний в свою очередь используется для производства сырья и титановой губки. По оценкам международной ассоциации производителей минеральных удобрений (IFA), пришлось 23% от объема экспорта калийных удобрений в мире (рисунок 1). «Уралкалий» на экспорт осуществляет поставки своей продукции через «УралкалийТрейдинг» (Швейцария). Стратегией «Уралкалия» является сохранение баланса между рынками спотовых продаж и рынками долгосрочных контрактов. География продаж продукции ПАО «Уралкалий» насчитывает более 40 стран мира, рисунок 1. Основные рынки сбыта: Китай, Индия, Бразилия, США, страны Европы, Юго-Восточной Азии, а также Рос-

сия [2]. Страны эти отличаются высокими темпами роста численности населения и его доходов, что способствует значительному росту спроса на калийные удобрения.

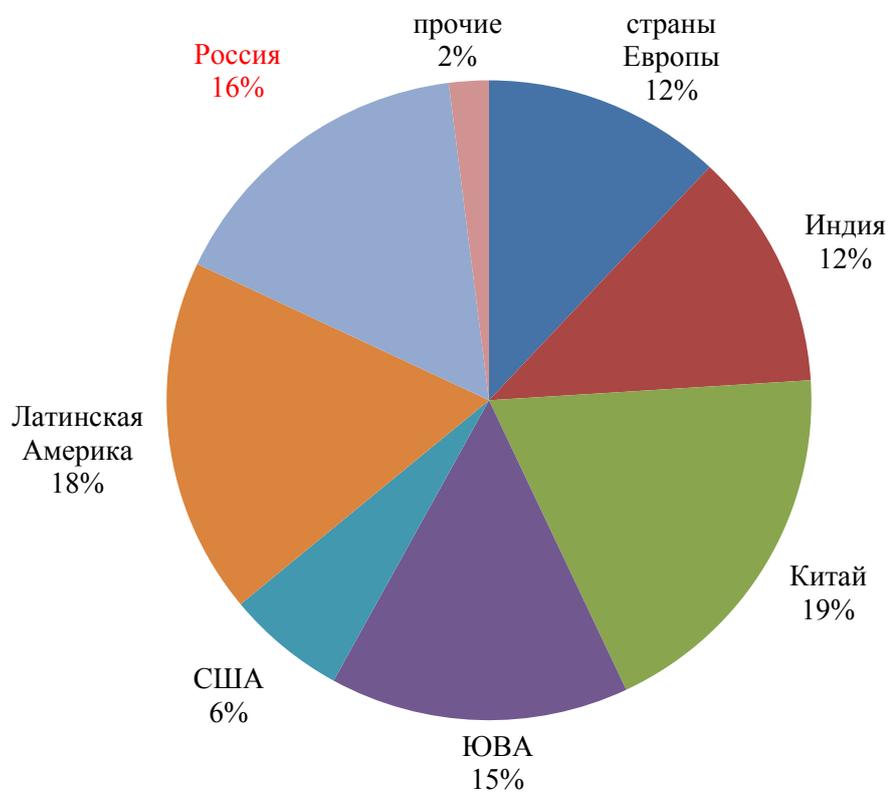
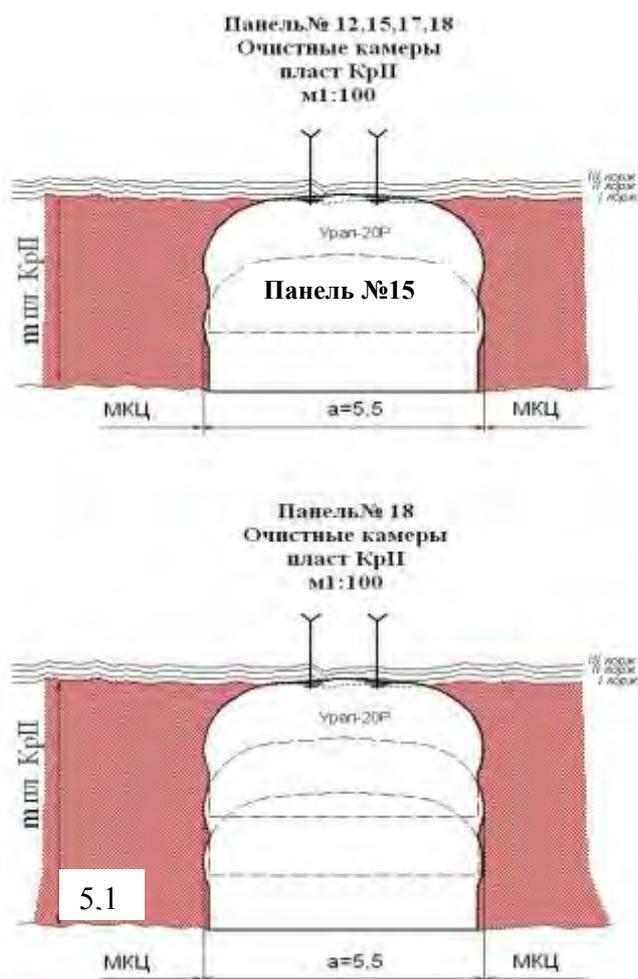


Рисунок 1. Страны мира: потребители продукции ПАО «Уралкалий»

***Панельная система подготовки и отработки шахтного поля рудника СКРУ***



**Рисунок 2. Панельная и панельно-блоковая системы горно-подготовительных и очистных работ шахтного поля рудника**

комплексом, равна  $Q = 52737,5$  тонн/мес. [9]. Приведем основные этапы планирования сокращенной производственной себестоимости добычи руды по горнодобывающему калийному участку ГДКУ в условиях панельной системы горно-подготовительных и очистных работ шахтного поля комбайновым комплексом Урал - 20: Объем продукции,  $Q = 52737,5$  тонн/мес.; калькуляционная единица-тонна. Расчет плановой себестоимости по горнодобывающему участку производится по статьям калькуляции (затрат), представленным в табл. 1 [4,12].

*Оценка цеховой себестоимости добычи руды в условиях панельно-блоковой системы горно-подготовительных и очистных работ шахтного поля рудника СКРУ комплексной бригадой горнорабочих очистного забоя на основе высокомеханизированных комбайновых комплексов Урал - 20Р и Урал - 20А, р/тонн.*

Инновационная «панельно-блоковая система подготовки и отработки шахтного поля» рудника СКРУ включают следующий технологический комплекс горных выработок, рисунок 2. [4,5,9,11].

Горно-подготовительные работы шахтного поля. Панельный вентиляционный штрек проходится по пласту АБ, панельный конвейерный проходится по пласту «каменная соль», транспортный штрек проходится по пласту КрII. Панельный вентиляционный и конвейерный штреки проходятся по оси панели и делят ее на две полу-панели.

Планом горных работ предусматривается машинная выемка руды. Отработка сильвинитовых пластов и каменной соли на шахтном поле рудника СКРУ-3 ведется камерной системой разработки с поддержанием отработанных горных выработок ленточными междукамерными целиками (МКЦ). Пустоты на площадях отработки с данными параметрами заложены гидрозакладкой. Для механизации очистных и подготовительных работ предусматриваются комплексы, в состав которых входят - на очистных и горно-подготовительных работах по пласту КрII, по пластам АБ а также для проходки вентиляционных, транспортных и конвейерных штреков – применяются комбайновые многофункциональные механизированные комплексы Урал 20Р, Урал-20А, Урал-10А. Параметры отработки выбираются из условия максимально возможного извлечения полезного ископаемого из недр при соблюдении условий безопасной подработки ВЗТ, с учетом рационального использования паспортного сечения комбайнов, рисунок 2. Согласно плану разработки горных работ выработка Q за календарный месяц при панельной системе отработки шахтного поля одним комбайновым

Вскрытие двух смежных блоков в панели осуществляется уклоном-заездом с панельно-го транспортного штрека.

Подготовка блока к очистной выемке включает в себя: проходку стартовой выработки и заездов на блок выемочного штрека пласта КрII; проходку блоковых выемочных штреков по пласту АБ и КрII; проходку блокового заглубленного конвейерного штрека по пласту «каменная соль»; проходку блоковых вентиляционных штреков по пластам АБ и КрII.

**Таблица 1 – Калькуляция цеховой себестоимости добычи руды в условиях панельной системы подготовки и отработки шахтного поля рудника СКРУ горнорабочими очистного забоя на основе высокомеханизированного комбайнового комплекса Урал - 20Р, р/т**

| Статьи калькуляции   | Ед. изм. | Затраты на калькуляционную единицу, тонна |          |               | Затраты на месячный объем:<br>$Q=52737,5$ т |                | Структура с/с, % |
|--|----------|---|----------|---------------|---|----------------|------------------|
|  |          | колич.                                    | цена, р. | сумма, р.     | колич.                                      | сумма, р.      |                  |
| 1. Материальные затраты ГДКУ, всего:                                   |          |   |          | <b>9,507</b>  |   | 501364         | 7,41             |
| Анкерная крепь   | ком-кт.  | 0,0227                                    | 239,1    | 5,428         | 1197,1                                      | 286227         |                  |
| 1.2. Кабель КГЭС-3×16  | пм       | 0,0019                                    | 431,06   | 0,819         | 100,2                                       | 43192          |                  |
| 1.3. Кабель КГЭШ-3×95  | пм       | 0,00089                                   | 1032,49  | 0,919         | 46,94                                       | 48465          |                  |
| 1.4. Зубки цепные  | шт.      | 0,013                                     | 180      | 2,34          | 686   | 123480         |                  |
| 2. Электроэнергия  | кВтч     | 11,66                                     | 2,49     | <b>29,033</b> | 615095                                      | 1531148        | 22,64            |
| 3. Зарплата основных производств. рабочих                              | Р        |   |          | <b>14,755</b> |   | 778134         | 11,51            |
| 4. Дополнительная зарплата производственных рабочих                    | Р        |   |          | <b>2,184</b>  |   | 115164         | 1,7              |
| 5. Страховые платежи, сумма ∑ ПФ, ФФМС, ФСС, СНС и ПЗ                  | Р        |   |          | <b>6,53</b>   |   | 267989         | 3,97             |
| 6. Амортизация ОС горнодобывающего участка ГДКУ                        | Р        |   |          | <b>26,434</b> |   | 1394076        | 20,61            |
| 8. Смета РСЭО  | Р        |   |          | <b>6,412</b>  |   | 338151         | 5                |
| 9. Смета цеховых расходов ГДКУ   | Р        |   |          | <b>34,835</b> |   | 1837117        | 27,16            |
| 10. Общепроизводственные накладные расходы                             | Р        |   |          | <b>41,247</b> |   |                |                  |
| 10. <i>Сокращенная производственная, цеховая себестоимость руды, Р</i> | Р        |   |          | <b>129,69</b> |   | <b>6763143</b> | 100%             |

**Инновационная панельно-блоковая система отработки шахтного поля.** Проходка выемочных штреков осуществляется «заходками», затем осуществляется проходка разрезных камер, далее «заходки» по вентиляционным штрекам. На руднике принят обратный порядок отработки в блоке. Подготовленные, к очистной выемке считается блок, оконтуренный блоковыми вентиляционными штреками, блоковым выемочным штреком в котором пройден блоковый конвейерный штрек по оси блока.

**Инновационная панельно-блоковая система проветривания.** В соответствии с требованиями благоприятных условий проветривания при проходке выемочный штрек по пласту АБ проходится «заходками» по 200 метров. Через 200 метров проходится разрезная камера, которая сбивается с блоковым вентиляционным штреком. По условиям безопасного состояния кровли проходка разрезных камер в блоке (на стадии подготовки блока) осуществляется на проектную ширину, на полную отработку, согласно типового паспорта на отработку очистных камер. Блоковый заглубленный конвейерный штрек проходится комбайном Урал20Р сечением  $15,5\text{ м}^2$  или комбайном Урал20А сечением  $15,3\text{ м}^2$ . Порода от проходки заглубленных конвейерных штреков «каменная соль» складывается в отработанные камеры пласта КрII.

**Инновационная система доставки руды.** Для транспортировки руды с пласта Кр11 на конвейер, с конвейерного штрека пробуриваются рудоспускные скважины диаметром 0,5 м с расстоянием между скважинами в зависимости от параметров системы разработки. Для транспорта руды с блоковых штреков на панельный конвейер проводятся рудоспускные гезенки, диаметром 0,5м с последующим расширением буровзрывным способом. Для запасных выходов с заглубленных конвейерных штреков через 300 м проходятся уклоны на пласт КрII. Камеры УРП проходятся вместе с заездом на пласт КрII.

**Инновационный объем руды за период.** Согласно плану разработки горных работ выработка руды при отработке двух блоков двумя высокомеханизированными комбайновыми комплексами, равна  $Q = 105475$  тонн/мес. [2,10].

Расчет калькуляции удельной цеховой себестоимости добычи руды в условиях панельно-блоковой системы горно-подготовительных и очистных работ шахтного поля рудника СКРУ комплексной бригадой горнорабочих очистного забоя на основе высокомеханизированных комбайновых комплексов Урал - 20Р и Урал – 20А,  $\text{Р/тонн} // Q = 105475$  тонн/мес., комплексная бригада – ГРОЗ - 25человек, калькуляционная единица-тонна//

Расчёт плановой себестоимости по горнодобывающему калийному участку ГДКУ производится по следующим статьям затрат: [3,6,7].

1. Удельные затраты на анкерную крепь (З'а) отражаются на себестоимости одной тонны руды произведением нормы ее расхода ( $\gamma/a$ ) на оптовую цену  $\rho/a$  по формуле

$$З'а = \gamma/a \times \rho = 0,0227 \times 239,1 = 5,428 \text{ р/т}; \quad 1)$$

2. Затраты анкерной крепи на плановый объем руды за месяц  $Q$  составят:

а) в комплектах:  $N = \gamma/a \times Q = 0,0227 \times 105475 = 2394,28 \text{ шт};$  б) в рублях:

$$З_а = \rho \times N = 239,1 \times 2394,28 = 572472 \text{ р/}Q; \quad 2)$$

3. Удельные затраты силового кабеля КГЭС-3×16 (З'к) отражаются на себестоимости одной тонны руды произведением нормы его расхода ( $\gamma/к$ ) на оптовую цену  $\rho/к$  по формуле 3

$$З'к = \gamma/к \times \rho/к = 0,0019 \times 431,06 = 0,819 \text{ р/т}; \quad 3)$$

4. Затраты кабеля КГЭС-3×16 на плановый объем руды за месяц  $Q$  составят:

а) в погонных метрах, -пм.:  $N = \gamma/к \times Q = 0,0019 \times 105475 = 200,4$  б) в рублях  $З_к = \rho \times N = 431,06 \times 200,4 = 86384 \text{ р/}Q; \quad 4)$

5. Удельные затраты кабеля КГЭШ-3×95 (З'к) отражаются на себестоимости одной тонны руды произведением нормы его расхода ( $\gamma/к$ ) на оптовую цену  $\rho/к$  по формуле

$$З'к = \gamma/к \times \rho/к = 0,00087 \times 1032,49 = 0,898 \text{ р/т}; \quad 5)$$

6. Затраты кабеля КГЭШ-3×95 на плановый объем руды за месяц  $Q$  составят:

а) в погонных метрах, - пм.:  $N = \gamma/к \times Q = 0,00087 \times 105475 = 91,76$  пм; б) в рублях  $З_к = \rho \times N = 1032,06 \times 91,76 = 94741 \text{ р/}Q; \quad 6)$

7). Удельные затраты расхода цепных зубков комбайна кабеля (Зк') отражаются на себестоимости одной тонны руды произведением нормы их расхода ( $\gamma/з$ ) на оптовую цену  $\rho/з$  по формуле

$$Зк' = \gamma/з \times \rho/з = 0,013 \times 180 = 2,34 \text{ р/т}; \quad 7)$$

8). Затраты расхода зубков на плановый объем руды за месяц  $Q$  составят:

а) в штуках, - шт.:  $N = \gamma/з \times Q = 0,013 \times 105475 = 1371 \text{ шт}$ ; б) в рублях  $Зз = \rho \times N = 180 \times 1371 = 246780 \text{ Р/}Q$ ; 8)

9. Сумма удельных материальных затрат на добычу 1т руды составила:

$$Зм' = За' + Зк' + Зк'' + Зз' = 5,428 + 0,819 + 0,898 + 2,34 = 9,485 \text{ р/тонна};$$

9

10. Материальные затраты на добычу месячного объема

$Q_n=105475 \text{ тонн}$  руды составили

$$Зм = Зм' \times Q = 9,485 \times 105475 = 1000430,375 \text{ Р} \quad 10)$$

Б) Возвратные отходы:

11. Принимаем возвратные отходы (Во) в размере 1% суммы материальных затрат от сдачи черного и цветного металлолома горного участка за месяц:

$$Во=1000430,375 \times 0,01= -10004,3 \text{ Р.}$$

12. Материальные затраты за минусом возвратных отходов (Во) на объем

$Q_n=105475 \text{ тонн}$  равны

$$\begin{aligned} Зм &= За + Зкс + Зкш + Зз - Во = \\ &= 572472 + 86384 + 94741 + 246780 - 10004,3 = 990373 \text{ Р} \end{aligned}$$

9. Удельные материальные затраты на добычу 1т руды за минусом возвратных отходов составила:

$$Зм = Зм/Q = 990373 / 105475 = 9,389 \text{ р/тонна}; \quad 10)$$

В) Энергетические расходы

13. Удельный расход электроэнергии на одну калькуляционную единицу определяем произведением нормы ее потребления энергетическим оборудованием горного участка ( $\gamma/э$ ) на оптовую отпускную цену ( $\rho/э$ ) по формуле

$$Зэ' = \gamma/э \times \rho/э = 11,66 \times 2,49 = 29,0334 \text{ р/тонна}; \quad 11)$$

14. Расход электроэнергии для выполнения планового задания потребуется:

а) в кВт\*часах:  $K = \gamma/э \times Q = 11,66 \times 105475 = 1229838,5 \text{ кВт*ч}$ ;

б) в рублях:  $Зэ = \rho/э \times K = 2,49 \times 1229838,5 = 3062297,86 \text{ Р}$ ;

**Г) Основная заработная плата производственных рабочих за месяц [29].**

(комплексная бригада обслуживает два механизированных комплекса - 25 человек: машинисты ГВМ-6 разряда-12 чел., горнорабочие очистного забоя ГРОЗ-5разряда - 12 чел. и крепильщик - 4 разряд-1 чел.) равна:  $Зо = 1510308 \text{ Р/мес}$ .

а) Удельный расход ОЗППР на одну калькуляционную единицу составляет:

$$Зо^{\wedge}' = Зо/Q = 1510308 / 105475 = 14,32 \text{ Р/тонна};$$

**Д) Дополнительная заработная плата производственных рабочих ДЗППР:**

а) на сумму калькуляционных единиц (тонн руды) добытых за месяц равна

$$14,8\% \text{ п. Г.}: Зд = Зо \times 0,148 = 1510308 \times 0,148 = 223525,5 \text{ Р};$$

б) удельный расход на одну калькуляционную единицу -  $Зд' = Зд/Q = 223525,5 / 105475 = 2,112 \text{ Р}$ ;

**Е) Страховые платежи** установлены в [29].: пенсионный фонд ПФ-22%, федеральный фонд медицинского страхования ФФМС-5,1%, фонд социального страхования ФСС-2,9%, а также страхование от несчастных случаев на производстве и от профзаболеваний НСП и ПЗ-8,5% (при 32-й категории риска для подземных горнорабочих очистного забоя) и равны: а) сумма страховых платежей в: ПФ, ФФМС, ФСС, НСП и ПЗ равна

$$Зс = 0,385 \times (1510308 + 223525,58) = 667525,7 \text{ Р};$$

б) удельная сумма страховых платежей на одну калькуляционную единицу в: ПФ, ФФМС, ФСС, НСП и ПЗ равна  $Zc' = 667525,7/105475 = 6,33 \text{ Р}$ ;

**Ж) Амортизация активной части основных средств ОС горного участка  $A_0$** , согласно закону «О налоге на прибыль организаций» (глава XXV НК РФ) с 01.01.2002 года начисляется линейным налоговым способом:

а) за месяц определяется по формуле  $A_0 = C_n \times K_u / 12 \times T = 2788151,59 \text{ Р}$ , где T-срок полезного использования актива, лет;

$K_u=1;2;3$ -коэффициент ускорения участкового оборудования принимаем за 1, так как номера групп амортизируемых основных средства труда принадлежат к I,II или III группам, то есть со сроком полезного использования до 5 лет.

б) Удельная амортизация на одну калькуляционную единицу на тонну сильвинитовой руды определим формулой  $Zp' = A_0/Q = 2788151,59 / 105475 = 26,434 \text{ Р}$ ;

**З) Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)** включают:

а) Смета РСЭО составляет за месяц:  $Z_{рсэо} = 338151 \text{ Р}$ ;

б) Удельные расходы на одну калькуляционную единицу на тонну сильвинитовой руды составили  $Z_{рсэо}' = Z_{рсэо}/Q = 338151/105475 = 3,21 \text{ Р}$ ;

**И) Смета цеховых расходов горнодобывающего участка** включает:

а) **амортизацию пассивной части основных средств** горнодобывающего участка

б) основная заработная плата административно-управленческого персонала АУП и инженерно-технических работников ИТР за месяц равна  $Z_{oa} = 564911 \text{ Р}$ ;

в) дополнительная заработная плата АУП и ИТР ГДКУ за месяц равна  $Z_{da} = 564911 \times 0,148 = 83607 \text{ Р}$ ;

г) сумма страховых платежей в: ПФ, ФФМС, ФСС, НСП и ПЗ равна за месяц  $Zc = 0,385 \times (564911 + 83607) = 249679,43 \text{ Р}$ ;

д) **плановые затраты на технику безопасности ТБ и охрану труда ОТ персонала** составляют 25% от основной заработной платы всех работающих ГДКУ

$Zc = 0,25 \times (1510308 + 564911) = 518804,75 \text{ Р}$ ;

е) услуги других смежных цехов, участков, производств, лабораторий за период составляют;

$Z_u = 300\ 000 \text{ Р}$ ;

ж) материальные расходы ГДКУ за период равны  $Z_u = 213\ 456 \text{ Р}$ ;

з) прочие неучтенные расходы ГДКУ за период равны –  $Z_{пр} = 144827 \text{ Р}$ .

и) Итого: смета цеховых расходов ГДКУ за период (за месяц) равна  $Z_{цех} = 2075284 \text{ Р}$ ;

к) Удельные цеховые расходы на одну калькуляционную единицу на тонну сильвинитовой руды составили  $Z_{цех}' = Z_{цех}/Q = 2075284/105475 = 19,68 \text{ Р/тонна}$ ;

Таким образом, понижательная себестоимость инновационной геотехнологии по разработке рудных месторождений панельно-блоковым методом высокомеханизированными комбайновыми комплексами «Урал - 20Р» и «Урал – 20А», составила 110,08 Р за тонну по сравнению со 129,69 Р за тонну в условиях панельной системы подготовки и отработки шахтного поля рудника СКРУ-3. Сведем в таблицу №3 показатели себестоимости добываемой руды по статьям калькуляции и структуру себестоимости двух систем разработки месторождений сильвинитовых руд: панельным и панельно-блоковыми методами отработки шахтного поля.

**Таблица 2 – Калькуляция цеховой себестоимости добычи руды в условиях инновационной панельно-блоковой системы горно-подготовительных и очистных работ шахтного поля рудника СКРУ специализированной бригадой горнорабочих очистного забоя на основе высокомеханизированных дуокомбайновых комплексов «Урал - 20Р» и «Урал – 20А»,  $\text{P/тонн}$ . Объем продукции,  $Q = 105475$  тонн/мес.; калькуляционная единица-тонна, специализированная бригада ГРОЗ-25 чел. [2,4,6,7,9]**

| Статьи калькуляции  | Ед. изм.   | Удельные затраты на одну калькуляционную единицу, 1-тонна руды |                  |                   | Затраты на месячный объем руды: $Q_n=105475$ тонн |                   | Структура с/с, % |
|---|------------|--|------------------|-------------------|---|-------------------|------------------|
|   |            | колич.   | цена, $\text{P}$ | сумма, $\text{P}$ | колич.  | сумма, $\text{P}$ |                  |
| 1. Материальные затраты, всего:   |            |  |                  | <b>9,485</b>      |   | 1000377           | 8,73             |
| Анкерная крепь  | комп.      | 0,0227   | 239,1            | 5,428             | 2394,28   | 572472            |                  |
| 1.2. Кабель КГЭС-3×16   | пм         | 0,0019   | 431,06           | 0,819             | 100,2   | 43192             |                  |
| 1.3. Кабель КГЭШ-3×95   | пм         | 0,00087  | 1032,49          | 0,898             | 91,76   | 94741             |                  |
| 1.4. Зубки цепные   | шт.        | 0,013  | 180              | 2,34              | 1371  | 246780            |                  |
| 2. Электроэнергия   | кВтч       | 11,66  | 2,49             | 29,033            | 1229838   | 3062298           | 26,71            |
| 3. Зарплата основных производств. рабочих   | $\text{P}$ |  |                  | <b>14,32</b>      |   | 1510308           | 13,18            |
| 4. Дополнительная зарплата производственных рабочих   | $\text{P}$ |  |                  | <b>2,12</b>       |   | 223525,58         | 1,95             |
| 5. Страховые платежи<br>это сумма: $\sum$ ПФ, ФФМС, ФСС, ЧНС и ПЗ                                 | $\text{P}$ |  |                  | <b>6,33</b>       |   | 520150,01         | 4,54             |
| 6. Амортизация ОС горного участка   | $\text{P}$ |  |                  | <b>26,43</b>      |   | 2788151           | 24,32            |
| 9. Смета РСЭО   | $\text{P}$ |  |                  | <b>3,21</b>       |   | 338151            | 2,95             |
| 10. Смета цеховых расходов горного участка  | $\text{P}$ |  |                  | <b>19,15</b>      |   | 2020161           | 17,62            |
| <b>11. Сокращенная производственная себестоимость, цеховая себестоимость <math>St_{in}</math></b> | $\text{P}$ |  |                  | <b>110,08</b>     |   | 11463022          | 100              |

**Таблица 3 – Понижательная себестоимость инновационных геотехнологий при разработке рудных месторождений панельным и панельно-блоковыми методами отработки шахтного поля с применением высокомеханизированных дуокомбайновых комплексов «Урал - 20Р» и «Урал - 20А»,  $\text{P/тонн}$  [4,6]**

| Показатели себестоимости добываемой руды по статьям калькуляции | Затраты на калькуляционную единицу, $\text{P/тонна}$ |                                   | Структура себестоимости, %        |                                   |
|---|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|   | панельная отработка шахтного поля                    | панельно-блоковый метод отработки | панельная отработка шахтного поля | панельно-блоковый метод отработки |
| 1. Материальные затраты   | 9,507  | 9,485                             | 7,41                              | 8,73                              |

|   |        |        |       |       |
|---|--------|--------|-------|-------|
| горнодобывающего калийного участка, всего:  |        |        |       |       |
| 2. Электроэнергия   | 29,033 | 29,033 | 22,64 | 26,71 |
| 3. Заработная плата основных производственных рабочих                               | 14,75  | 14,32  | 11,51 | 13,18 |
| 4. Дополнительная зарплата производственных рабочих                                 | 2,184  | 2,12   | 1,7   | 1,95  |
| 5. Страховые платежи во внебюджетные фонды, сумма: $\sum$ ПФ, ФФМС, ФСС, СНС и ПЗ   | 6,53   | 6,33   | 3,97  | 4,54  |
| 6. Амортизация основных средств горнодобывающего калийного участка                  | 26,434 | 26,43  | 20,61 | 24,32 |
| 7. Технологическая себестоимость руды, сумма п.п. $\sum$ 1-6                        | 88,44  | 87,72  | 67,84 | 79,43 |
| 8. Общепроизводственные накладные затраты, п.9+п.10                                 | 41,25  | 22,36  | 32,16 | 20,57 |
| 9. Смета РСЭО   | 6,412  | 3,21   | 5,0   | 2,95  |
| 10. Смета цеховых расходов горнодобывающего калийного участка                       | 34,835 | 19,15  | 27,16 | 17,62 |
| 11. Сокращенная производственная себестоимость, цеховая себестоимость ГДКУ, п.7+п.8 | 129,69 | 110,08 | 100   | 100   |

Программная методическая оценка оптовой цены, средней и предельной понижательной себестоимости добываемой калийно-магниевого руды ГДКУ для максимизации повышательной прибыли в будущих периодах. Из уравнения производственной себестоимости  $C = C_n + \{\bar{c}_a + \bar{c}_m + \bar{c}_m\} \times Q$  запишем и построим на рис. 3 [3]: 1. Средние условно-постоянные накладные расходы, асимптотически приближающиеся к оси абсцисс, не пересекая ее. С ростом объема производства до бесконечности они приближаются к нулю. На рис. 3 кривая 1)  $\bar{C}_n = \frac{C_n}{Q}$ . 2. Средние переменные издержки (с ростом объема производства несколько уменьшаются до определенного предела – точка «А» на графике, а затем увеличиваются). На рисунке кривая 2)  $\bar{C}_n = \frac{C_n}{Q}$ . 3. Средние общие издержки (с ростом объема производства уменьшаются до оптимального предела за счет значительного снижения накладных затрат, точка «О» на графике, а затем увеличиваются). На рис. 3 кривая 3)  $\bar{C} = \frac{C}{Q}$ . 4. Предельные (маржинальные) издержки<sup>3</sup> товаропроизводителя (это есть прирост прямых затрат на последующую единицу продукции). На рис. 3 – кривая 4)  $S = C' = \frac{\Delta C_n}{\Delta Q}$ , где  $S = S_m + S_a + S_3$  – это сумма предель-

<sup>3</sup> Маржинальные издержки – это приростные прямые затраты (материальные, трудовые, амортизационные), возникающие при выпуске дополнительной единицы продукции, формирующие маржинальный доход: разность между оптовой ценой  $P$  и маржинальными издержками.

ных материальных, амортизационных и трудовых (прямая заработная плата горнорабочих очистного забоя - сдельщиков) затрат. 6. Уравнение производственной себестоимости при снижении удельной материалоемкости, удельной амортизации и при росте оплаты труда производственных рабочих в связи с ростом производительности труда (назовем его инновационное уравнение прогрессивной технологии добычи руды) имеет вид

$C = C_n + C_n = C_n + C_n' \times Q + 0,5 \times \Delta c_n \times Q - 0,5 \times \Delta c_n \times Q^2$ , где  $C_n' = m' + a' + z'$  – удельные переменные издержки соответственно материальные, амортизационные и трудовые;  $\Delta c_n = \Delta m + \Delta a + \Delta z$  – скорость изменения удельных переменных затрат соответственно материальных, амортизационных и трудовых;  $C_n = C_n' \times Q + 0,5 \times \Delta c_n \times Q - 0,5 \times \Delta c_n \times Q^2$  – переменные издержки товаропроизводителя;  $\bar{C}_n = C_n' + 0,5 \times \Delta c_n - 0,5 \times \Delta c_n \times Q$  – удельные средние издержки товаропроизводителя. Перспективную оптимально-инновационную понижательную себестоимость добываемой калийно-магниевого руды за будущий период, бригадой горнорабочих очистного забоя можем определить согласно закону рыночного равновесия, приведенного на рис. 3, по формуле:

$$P_F = S_F \Rightarrow Q_F \Rightarrow C_F \Rightarrow B_F = \pi_f \Rightarrow \max$$

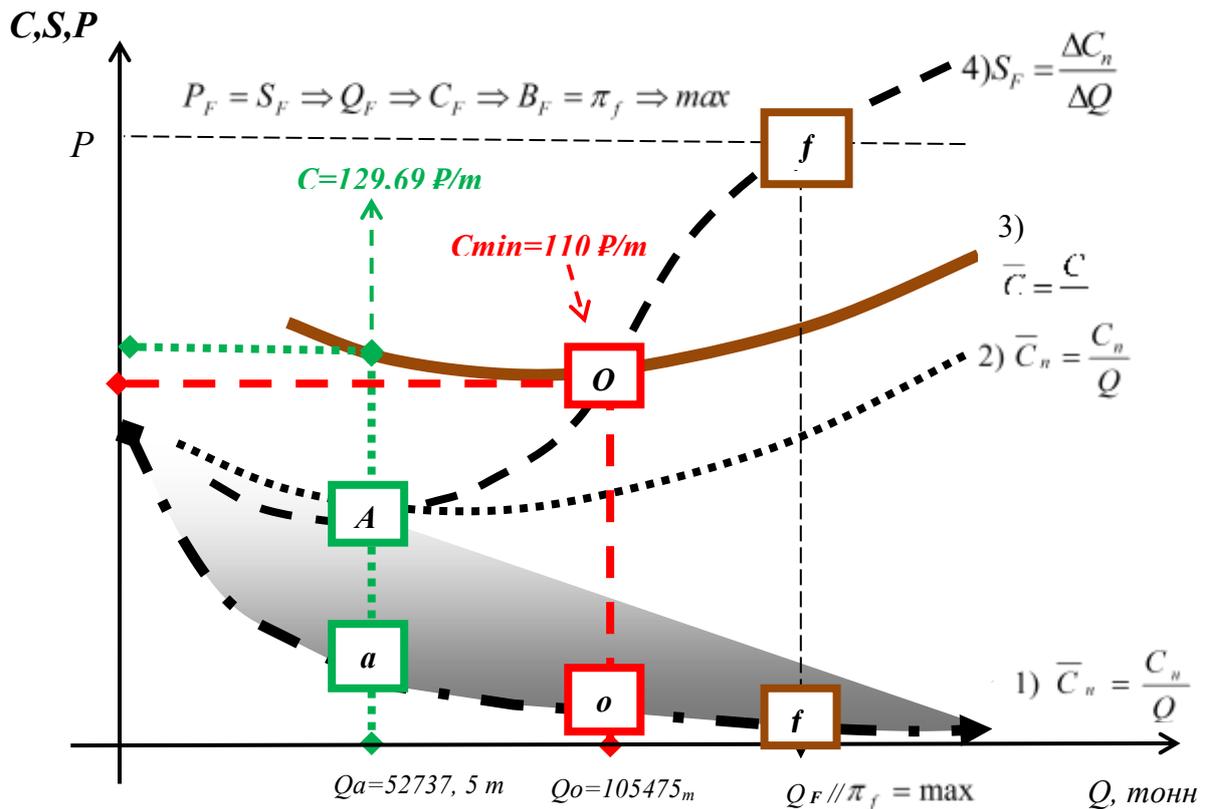
Некоторые важнейшие сводные показатели экономической оценки применения новой панельно-блоковой схемы подготовки шахтного поля рудника СКРУ-3, за счет одновременной отработки двумя комбайновыми комплексами, а также за счет инновационной понижательной себестоимости добываемых сильвинитовых и карналлитовых руд для производства и реализации хлористого калия следующие [7]: **IV. Инновационная чистая прибыль от производства и реализации одной тонны хлористого калия** 9) Понижательная удельная себестоимость новой товарной продукции  $\bar{C}_{mn}^H$  по сравнению с базовой  $\bar{C}_{mn}^6$  превращается после ее реализации одной тонны руды в повышательную удельную прибыль  $\pi$ , которая определяется формулой  $\pi = \bar{C}_{mn}^6 - \bar{C}_{mn}^H = 129,69 - 110,08 = 19,61$  Р/тонна; 10) Добавленная прибыль  $\Pi$  от реализации годового объема инновационной товарной продукции равна произведению повышательной удельной прибыли  $\pi$  на объем  $Q = 105475 \times 12$  тонн/год;  $\Pi = 19,61 \times 105475 \times 12 = 24820377$  Р.

11) Налог на прибыль  $НП$  равен

$$НП = 20\% \times \Pi / 100 = 0,2 \times 24820377 = 4964075,4 \text{ Р.}$$

12) Инновационная чистая прибыль  $ЧП$  ГДКУ составит

$$ЧП = \Pi - НП = 24820377 - 4964075,4 = 19856301,6 \text{ Р.}$$



**Рис. 3. Проектная оптимально-инновационная понижательная себестоимость добываемой калийно-магниевого руды на будущий период, бригадой горнорабочих очистного забоя определяется законом [6,7]:  $P_F = S_F \Rightarrow Q_F \Rightarrow C_F \Rightarrow B_F = \pi_f \Rightarrow \max$ , где  $P_F$  – рыночная оптовая цена тонны руды,  $\text{P}$ ;  $Q_F$  – оптимальный выпуск, тонн руды/за период;  $S_{\pi}$  – предельная прямая себестоимость руды за период,  $\text{P}$ ;  $C_F$  – минимальная удельная цеховая себестоимость руды  $C_F \rightarrow \min$ ,  $\text{P}$ ;  $B_F$  – предельная выручка от реализации руды за период;  $\pi_f$  – удельная инновационная прибыль максимальная  $\pi_f = \max$**

*Интегральный чистый годовой доход от производства и реализации годового объема хлористого калия составит*

13) Интегральный чистый годовой доход определяется суммой прироста чистой прибыли и амортизации инновационного объекта модернизации по формуле:

$$\text{ЧД} = 19856301,6 + (2788151 - 1394076) \times 12 = 36\,585\,201,6 \text{ P.}$$

14) Именно интегральный чистый годовой доход от производства и реализации нарастающего объема хлористого калия от  $Q_A$  до  $Q_O$  тонн за счет инновационной понижательной себестоимости добываемой калийно-магниевого руды ГРОЗ позволит получить гарантированный источник, увеличения фонда оплаты труда работников ГДКУ. [29]. Повышательный ФОТ, это и есть вторичный источник дальнейшего роста производительности труда горнорабочих очистного забоя для достижения выпуска оптимального объема руды  $Q_F$  тонн, и, получения проектной максимальной прибыли, согласно закону рыночного равновесия  $Q_A \Rightarrow Q_O \Rightarrow Q_F \Rightarrow \max \pi$ , рисунок №3,

### Список литературы

1. Стратегический менеджмент: стейкхолдеры. URL: <http://www.argimage.ru/contacts/>;
2. Официальный сайт ПАО «Уралкалий» [Электронный ресурс] URL.: [www.uralkali.com](http://www.uralkali.com);
3. Основные положения по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции предприятия ПАО «Уралкалий» на БКПРУ-4, 2014;
4. Манакова Е.В., Леготин Ф.Я., Пути снижения себестоимости при панельной и панельно-блоковой схемах разработки шахтного поля рудника СКРУ-3// Ек-бург, УрГЭУ, ВКР, 2017. - 76 с.;
5. ПАО Уралкалий. Консолидированная финансовая отчетность за год, закончившийся 31 декабря 2015 года [Электронный ресурс] URL.: [http://www.uralkali.com/upload/iblock/e33/Uralkali\\_IFRS%20FS\\_rus.pdf](http://www.uralkali.com/upload/iblock/e33/Uralkali_IFRS%20FS_rus.pdf);
6. Леготин Ф. Я., Григорьев Д. Н. Методы повышательной инвестиционной и инновационной активности реновации технологического оборудования // Известия УГГУ. 2017. Вып. 2(46). С. 109–113. DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-109-113;
7. Леготин Ф. Я. Затраты и ценообразование в инновационной сфере // Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2012;
8. Лагоша Б. А. Оптимальное управление в экономике. М.: Финансы и статистика, 2003 289 с.
9. Экономика предприятия: учеб. пособие / Л.Н. Нехорошева [и др.]; под ред. Л.Н. Нехорошевой. – 3-е изд. – Минск : БГЭУ, 2008. 719 с.
10. Леготин Ф. Я., Пряхин Г. Н. « Теоретико-методологическая и методическая оценки эффективности ускоренной модернизации технологического оборудования УГМК»// «ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ»№5,(65) -2017- с3-13, МОСКВА, [HTTP://WWW.SCIENCELIB.RU](http://www.sciencelib.ru)
11. Постоянный технологический регламент производства хлористого калия на СКРУ-1, 2012.
12. План разработки горных работ СКРУ». 2015.

УДК 628.316.12:546.17+622.271

## ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ОТРАБОТАННОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ

ХОХРЯКОВ А. В., СТУДЕНОК А. Г., ОЛЬХОВСКИЙ А. М., СТУДЕНОК Г. А.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Типичными загрязнителями, содержание которых в дренажных водах горных предприятий превышает предельно допустимые концентрации, являются соединения азота – аммонийный, нитритный и нитратный азот. Их наличие в дренажных водах является следствием использования взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры (нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) для подготовки горной массы к экскавации.

Приведены результаты исследований, выполненных в условиях карьеров крупного добывающего предприятия, обосновывающие возможность предварительной естественной очистки дренажных вод горных предприятий от соединений азота в отработанной открытой горной выработке с учетом геотехнологических параметров и особенностей предприятия.

**Ключевые слова:** геотехнология; геоэкология; очистка; соединения азота; отработанная горная выработка.

## GEOTECHNOLOGICAL AND ECOLOGICAL JUSTIFICATION OF THE DRAINAGE WATER CLEANING TECHNOLOGY FROM NITROGEN COMPOUNDS IN THE SPENT QUARRY

**Abstract.** Typical pollutants, which contents in the drainage waters of mining enterprises rises above maximum permissible concentrations, are nitrogen compounds – ammonium nitrogen, nitrite nitrogen and nitrate nitrogen. Their presence in the drainage waters are a result of using various industrial explosive agents based on ammonium nitrate ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). In the article are presented the results of the researches, which were executed in conditions of the big mining enterprise of construction industry which justify the admissibility of the preliminary natural cleaning of the mining enterprises drainage waters from nitrogen compounds in a spent quarry.

**Keywords:** geotechnology, geocology, cleaning, nitrogen compounds, spent quarry.

Одним из экологических аспектов производственной деятельности горных предприятий, связанной с буровзрывной подготовкой горной массы, является применение промышленных взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры (нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества (аммиачно-селитренные ВВ) в настоящее время получили широкое распространение в горной промышленности, что обусловлено доступностью и невысокой стоимостью исходного сырья для производства данных типов взрывчатых веществ.

Применение промышленных аммиачно-селитренных ВВ на карьерах является источником загрязнения дренажных вод, откачиваемых при осушении карьерного поля, соединениями азота (ионы аммония, нитрит-ионы и нитрат-ионы). Поступление соединений азота в дренажные воды при ведении взрывных работ приводит в свою очередь к существенному превышению допустимого уровня их содержания в поверхностных и подземных водах, вызывая загрязнение водных объектов при сбросе в них дренажных вод [1–3].

Вследствие этого возникает необходимость выбора и обоснования технологии очистки дренажных карьерных вод, загрязненных соединениями азота, с учетом не только природоохранных требований, но и технико-экономических возможностей конкретного горного предприятия. При этом основные проблемы, связанные с ужесточением природоохранных требований, связаны с наличием в сбрасываемых дренажных водах наиболее токсичных соединений азота (ионов аммония и нитрит-ионов), для которых установлены достаточно жесткие требования по их содержанию в водных объектах (Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (утв. приказом Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20); Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03):

– ионы аммония –  $0,4 \text{ мг/дм}^3$  (водоемы рыбохозяйственного назначения) и  $3,3 \text{ мг/дм}^3$  (водоемы хозяйственно-питьевого назначения);

– нитрит-ионы –  $0,08 \text{ мг/дм}^3$  (водоемы рыбохозяйственного назначения) и  $2,6 \text{ мг/дм}^3$  (водоемы хозяйственно-питьевого назначения).

Выполненный анализ применяемых в настоящее время методов и технологий для очистки сточных вод от соединений азота показывает, что комплексная очистка возможна только с применением биологических методов очистки, реализуемых на специальных объектах капитального строительства (станциях биологической очистки) [4, 5]. Вместе с тем очистка дренажных вод на станциях биологической очистки для условий горных предприятий требует высоких капитальных и эксплуатационных затрат,

связанных с большими объемами очищаемых дренажных вод, что не всегда возможно с учетом экономических возможностей горного предприятия.

Для соединений азота в водных объектах гидросферы характерен биогеохимический круговорот, приводящий к трансформации наиболее токсичных форм аммонийного (ионы  $\text{NH}_4^+$ ) и нитритного (ионы  $\text{NO}_2^-$ ) азота в нитратный азот (ионы  $\text{NO}_3^-$ ). Образовавшиеся в результате процесса микробиологической нитрификации ионы нитрата используются фитопланктонными организмами и бактериями для синтеза азотсодержащих клеточных компонентов (ассимиляционная нитратредукция).

Концентрация ионов аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) в природных водах зависит от насыщенности кислородом и величины рН, для многих рек и водохранилищ эта величина составляет  $n \cdot 10^{-1}$  мг/дм<sup>3</sup>, для нитрит-ионов ( $\text{NO}_2^-$ ) – от  $n \cdot 10^{-3}$  до  $n \cdot 10^{-2}$ ) мг/дм<sup>3</sup>, для нитрат-ионов ( $\text{NO}_3^-$ ) – от  $n \cdot 10^{-3}$  до  $n \cdot 10^{-1}$  [6].

Экологическая опасность для водоемов при поступлении в них соединений азота связана:

- с токсичностью ионов аммония и нитрит-ионов для гидробионтов, главным образом рыб (водоемы рыбохозяйственной категории) и человека (водоемы хозяйственно-питьевой категории).

- с процессом эвтрофикации водоемов, приводящим к повышению уровня первичной продукции водоемов (фитопланктон) благодаря увеличению в них концентрации биогенных элементов (нитратный азот); повышение до определенного уровня первичной продукции создает основу для ухудшения качества воды за счет ее «цветения», уменьшения прозрачности и содержания в ней кислорода, что приводит к замору и гибели рыбы и др. гидробионтов.

Перспективным и экономически выгодным для очистки сточных вод от соединений азота является применение технологии очистки с использованием биоинженерных сооружений, принцип работы которых основан на естественных биологических процессах, протекающих в гидроэкосистемах. К ним относятся различные типы биологических прудов и ботанических площадок с водной растительностью (биоплато) [7].

Распространение данной технологии наблюдается как в странах Европейского Союза, так и в Российской Федерации. При эксплуатации биоинженерных сооружений очистка сточных вод от аммонийного и нитритного азота происходит за счет их микробиологической нитрификации, а нитратный азот удаляется из воды за счет его поглощения водной растительностью.

При создании и эксплуатации биоинженерных сооружений для очистки сточных вод необходимо соблюдение следующих условий:

- биоинженерное сооружение (техногенный биогеохимический барьер) проектируется под конкретную задачу очистки сточных вод (вид и концентрация загрязняющих веществ, степень требуемой очистки, расход воды);

- время пребывания загрязненной воды в биоинженерном сооружении должно обеспечивать необходимую степень очистки от загрязняющих веществ при максимальном использовании объема и площади биоинженерного сооружения;

- наличие системы постоянного контроля эффективности работы биоинженерного сооружения;

- в процессе эксплуатации биоинженерного сооружения необходимо обеспечивать условия для предотвращения вторичного загрязнения воды продуктами трансформации задержанных загрязняющих веществ.

При создании и применении биоинженерных сооружений необходимо наличие достаточной площади земельного отвода для их организации и строительства, чтобы обеспечить необходимое время для протекания процесса микробиологической нитрификации и последующей ассимиляции нитратного азота. Другой особенностью эксплу-

атации биоинженерных сооружений при наличии высшей водной растительности является сезонность их функционирования только в теплый период года.

В условиях горных предприятий в качестве биоинженерных сооружений перспективным и экономическим целесообразным вариантом является использование частично затопленных отработанных горных выработок. При оценке возможности использования частично затопленной отработанной горной выработки для очистки дренажных вод следует учитывать наличие в ней сформированной экосистемы, поскольку очистка дренажных вод от соединений азота будет происходить в результате микробиологического процесса нитрификации аммонийного и нитритного азота с последующей ассимиляцией нитратного азота гидробионтами. Формирование устойчивой экологической системы в затопленных горных выработках при отсутствии токсичных загрязняющих веществ происходит в течение нескольких лет [8].

Решение по использованию отработанного карьера 1-2 для очистки дренажных вод действующего карьера «Центральный» ОАО «Ураласбест» было принято по результатам специальных работ, включавших исследование геотехнологических параметров отработанной горной выработки:

- гидрохимические исследования условий формирования существующего химического состава воды в затопленной части отработанного карьера;

- гидрогеологические исследования, обосновывающие предельный уровень заполнения карьера дренажными водами, который обеспечивает сохранение существующего гидрологического и гидрохимического режима прилегающей территории и расположенных на ней объектов (действующие водозаборные скважины и природные водные объекты);

- геомеханические исследования и инженерно-геологические изыскания для определения устойчивости бортов карьера при заполнении его дренажными водами.

Результаты гидрохимических исследований условий формирования существующего химического состава воды в затопленной части карьера (таблица 1) показали отсутствие в воде загрязняющих веществ в концентрациях, превышающих нормативы ПДК<sub>хп</sub> для водоемов хозяйственно-питьевого назначения, за исключением незначительного превышения по ионам нитрата (в 1,2 раза). Нормативы ПДК<sub>рх</sub> для рыбохозяйственных водоемов были превышены только по ионам нитрита (в 3 раза) и нитрата (в 1,3 раза) в связи с более низкими их значениями по сравнению с нормативами для водоемов хозяйственно-питьевого назначения.

**Таблица 1 – Химический состав воды в затопленной части карьера**

| Контролируемый показатель                    | Значение, г/м <sup>3</sup> (мг/дм <sup>3</sup> ) |                                      |
|--|--|--------------------------------------|
|  | Затопленная часть карьера                        | ПДК <sub>хп</sub> /ПДК <sub>рх</sub> |
| Сухой остаток                                | 546  | 1000,0                               |
| Железо (общее)                               | 0,04   | 0,3/0,1                              |
| Хлорид-ион (Cl <sup>-</sup> )                | 48,4   | 350/300                              |
| Сульфат-ион (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) | 80,0   | 500/100                              |
| Ион аммония (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )  | 0,2  | 1,5/0,5                              |
| Ион нитрита (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )  | 0,24   | 3,3/0,08                             |
| Ион нитрата (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )  | 53,5   | 45,0/40,0                            |
| Нефтепродукты                                | 0,02   | 0,3/0,05                             |
| Медь   | 0,002  | 1,0/0,001                            |
| Цинк   | 0,009  | 1,0/0,01                             |

Максимально возможный рабочий объем заполнения карьера дренажными водами был определен в результате гидрогеологических исследований, инженерно-геодезических и инженерно-гидрометеорологических изысканий. Для оценки времени достижения предельной отметки уровня воды в карьере была разработана математическая модель водного баланса карьера с учетом природных и техногенных факторов (очищаемых дренажных вод, атмосферных осадков и подземных вод, потерь на фильтрацию и испарение). Принципиальная схема водного баланса карьера 1-2 при заполнении его дренажными водами действующего карьера «Центральный» ОАО «Ураласбест» приведена на рис. 1.



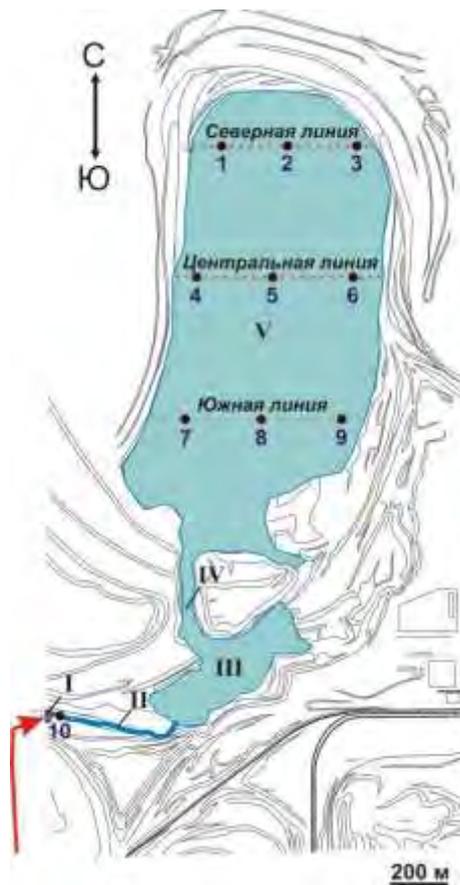
**Рис. 1. Принципиальная схема водного баланса карьера 1-2 при заполнении его дренажными водами карьера «Центральный» ОАО "Ураласбест"**

Для установления зависимости динамики изменения уровня воды в карьере 1-2 при его эксплуатации в системе очистки дренажных вод была разработана трехмерная математическая модель карьера с использованием программного комплекса Golden Software Surfer (версия 9). В качестве исходных данных для построения трехмерной модели карьера использовались данные выполненных инженерно-геодезических изысканий.

При использовании отработанного карьера в качестве биоинженерного сооружения для очистки дренажных вод от соединений азота была организована система постоянного мониторинга химического состава воды в затопленной части карьера для контроля эффективности очистки (рисунок 2).

Мониторинговые наблюдения проводились в теплый период года (апрель–октябрь) с одновременными замерами уровня воды в карьере. Отбор проб воды осуществлялся в девяти точках из поверхностного слоя глубиной до 5 м, что соответствовало годовому увеличению уровня заполнения карьера при подаче в него поступающих на очистку дренажных вод.

Экспериментальное заполнение отработанной горной выработки дренажными водами происходило в течение 2014 г. Результаты мониторинговых наблюдений за концентрациями соединений азота в отработанной горной выработке подтвердили первоначальное предположение о возможности успешной очистки дренажных вод от аммонийного и нитритного азота за счет микробиологической нитрификации. В 2015–2017 гг. заполнение было продолжено и будет продолжаться до достижения предельного уровня +215,0 м (ориентировочно – конец 2021 г.).

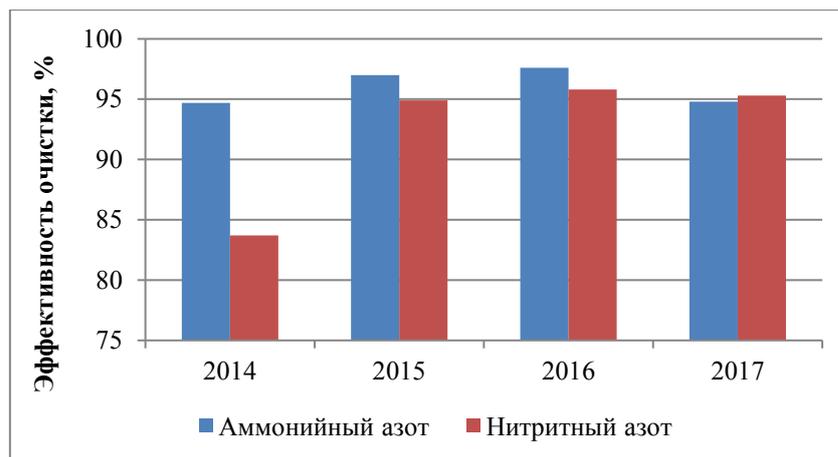


**Рис. 2. Схема организации системы мониторинга для контроля эффективности очистки поступающих дренажных вод от соединений азота: I – место подачи дренажных вод; II – русло ручья дренажных вод; III – карьер «Северный»; IV – каньонообразная перемычка; V – карьер 1-2**

Анализ практических результатов эксплуатации отработанной горной выработки в условиях ОАО «Ураласбест» за период 2014–2017 гг. показывает, что достигаемая эффективность очистки поступающих в нее дренажных вод, загрязненных соединениями азота, составляет для аммонийного и нитритного азота более 90 % (рис. 3). При этом следует отметить, что эффективность очистки в целом стабилизировалась и поддается, таким образом, достоверному прогнозированию с учетом определенной по результатам мониторинга скорости нитрификации 0,25–0,29 г/(м<sup>3</sup>·сут). Важность прогнозирования как одного из инструментов экологического менеджмента показана, например, в статье [9].

Для нитратного азота не наблюдается значительного увеличения его содержания по сравнению поступающими дренажными водами. Это объясняется тем, что нитратный азот, образующийся в процессе нитрификации аммонийного и нитритного азота, ассимилируется (поглощается) водной растительностью.

Анализ практических результатов использования отработанной горной выработки для очистки дренажных вод от соединений азота показал, что стабилизация параметров очистки дренажных вод от соединений азота происходит на второй год после начала ее заполнения поступающими на очистку дренажными водами (рисунок 3).



**Рис. 3. Эффективность очистки дренажных вод от аммонийного и нитритного азота (ионы аммония и нитрита) в отработанной горной выработке**

Наблюдаемый в 2014 г. период установления параметров процесса нитрификации (микробиологическое окисление аммонийного и нитритного азота) связан с адаптацией в первую очередь нитрифицирующих бактерий к химическому составу дренажных вод по соединениям азота.

В результате при определении рабочего объема отработанной горной выработки необходимо учитывать первоначальный адаптационный период эксплуатации, при котором происходит накопление дренажных вод и стабилизация параметров процессов микробиологической нитрификации. Длительность адаптационного периода будет зависеть от конкретных условий эксплуатации отработанной горной выработки и должна устанавливаться по результатам мониторинговых наблюдений.

Полученные практические результаты очистки дренажных вод от соединений азота в условиях ОАО "Ураласбест" с использованием отработанного и затопляемого естественным путем (атмосферные осадки и подземные воды) карьера позволяют обосновать условия и перспективы применения данной технологии и на других горных предприятиях для решения задачи очистки дренажных вод, загрязненных соединениями азота в результате ведения буровзрывных работ.

Подводя итог, можно сказать, что технология очистки дренажных вод от соединений азота в условиях отработанной горной выработки (карьера) успешно реализуется с учетом геотехнологических параметров, обеспечивающих промышленную и экологическую безопасность и эффективность данной технологии:

- качественный состав вод, ранее накопленных и поступающих естественным путем (подземные воды и атмосферные осадки) в отработанную горную выработку не должны содержать токсичных примесей, препятствующих развитию нитрифицирующих организмов;
- предельный уровень заполнения дренажными водами отработанной горной выработки, обеспечивающий отсутствие влияния на гидрогеологическую и гидрохимическую обстановку прилегающей территории с учетом наличия на ней природных и водохозяйственных объектов;
- геомеханические свойства бортов и уступов, обеспечивающие отсутствие активизации склоновых процессов при заполнении отработанной горной выработки дренажными водами;
- наличие свободного объема для заполнения с учетом предельной отметки уровня воды, который обеспечивает необходимое время выдержки для достижения

требуемой эффективности очистки с учетом установленной скорости процесса естественной биологической нитрификации (0,25 г/(м<sup>3</sup>\*сутки)).

### Список литературы

1. Хохряков А. В., Студенок А. Г., Ольховский А. М., Студенок Г. А. Количественная оценка вклада взрывных работ в загрязнение дренажных вод карьеров соединениями азота // Изв. вузов. Горный журнал. 2005. № 6. С. 29–31.
2. Хохряков А. В., Студенок А. Г., Студенок Г. А. Исследование процессов формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота на примере карьера крупного горного предприятия // Известия Уральского государственного горного университета. 2016. № 4(44). С. 35–37.
3. Катанов И. Б. Оценка влияния взрывных работ в условиях разрезов Кузбасса на качество карьерных вод // Вестник Кузбасского государственного технического университета. № 1. 2003. С. 15–17.
4. Студенок А. Г., Студенок Г. А., Ревво А. В. Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий // Известия Уральского государственного горного университета. 2013. № 2(30). С. 26–30.
5. Гусев М. В., Минеева Л. А. Микробиология. М: Академия, 2006. 446 с.
6. Зенин А. А., Белоусова Н. В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 241 с.
7. Попов А. Н., Бондаренко В. В., Дерябин В. Н. Биоинженерные методы и сооружения // Вода России. Водохозяйственное устройство. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2000. С. 316–328.
8. Русанов В. В., Гаранина И. А. О проблеме гидробиологической рекультивации карьерных водоемов // ГИАБ. 2004. № 6. С. 154–157.
9. Хохряков А. В., Цейтлин Е. М., Москвина О. А., Ларионова И. В. Прогнозирование концентраций загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 4. С. 56–63.

УДК 620.001

## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: МИФЫ И РЕАЛИИ

БЕЛОВ В. В.<sup>1</sup>, КРУПИНИН Н. Я.<sup>2</sup>, ЛЕБЕДЕВ Ю. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГП ХМАО «Фонд поколений ХМАО»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Зелёная энергетика - часть энергопроизводящей системы, использующая возобновляемые источники энергии. Сейчас в мире около 1% электроэнергии вырабатывается солнечными установками и чуть более 2% - ветряными установками. Установленные мощности по использованию солнечной энергии и ветра удваиваются за каждые четыре года. В Европе тренд отрасли новой энергетики сегодня уже нисходящий. Китай планирует к 2040 году фактическое производство «зелёной» энергии в объеме 250 гигаватт. В США есть планы к концу столетия 65% электроэнергии получать за счёт фотоэнергетического преобразования. В России на долю «зелёной» энергетики приходится около 2%. По плану Правительства РФ к 2020 году этот показатель должен увеличиться до 4,5%.

**Ключевые слова:** зелёная энергетика, солнечные установки, ветряные установки, тренд отрасли, традиционные энергетические ресурсы.

## ALTERNATIVE ENERGY: MYTHS AND REALITIES

BELOV V.V.<sup>1</sup>, KRUPININ N.Ya.<sup>2</sup>, LEBEDEV Yu.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fund of Generations of KhMAO

<sup>2</sup>Ural State Mining University

**Abstract.** Green energy is part of the energy-producing system that uses renewable energy sources. Now in the world about 1% of electricity is produced by solar installations and slightly more than 2% by windmills. Installed capacity for the use of solar energy and wind are doubled for every four years. In Europe, the trend of the new energy industry is already downward. By 2040, China plans to actually produce "green" energy in the amount of 250 gigawatts. In the US, there are plans by the end of the century to get 65% of electricity from the photo-energy conversion. In Russia, the share of "green" energy accounts for about 2%. According to the plan of the Government of the Russian Federation, by 2020 this indicator should increase to 4.5%.

**Keywords:** green energy, solar installations, wind installations, industry trend, traditional energy resources.

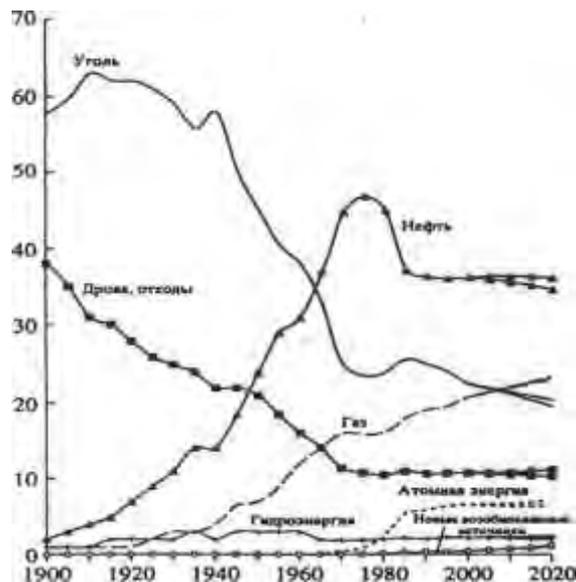
Основу современной энергетики составляют пять основных первичных источников: нефть, уголь, природный газ, гидроэнергетика и атомная энергетика (табл. 1), к которым в будущем могут прибавиться и возобновляемые источники энергии (ВИЭ) (рис.1). Производство подавляющей части потребляемой человечеством энергии обеспечивают сейчас ископаемые энергоресурсы.

**Таблица 1. Доля основных источников в мировом производстве первичной энергии в 2014 г.**

| Источник энергии              | Доля в мировом энергобалансе, % |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Нефть                         | 32,6                            |
| Уголь                         | 30,0                            |
| Природный газ                 | 23,7                            |
| Гидроэнергетика               | 6,8                             |
| Атомная энергетика            | 4,4                             |
| Прочие, в т.ч. возобновляемые | 2,5                             |

Углеводородные ресурсы являются продуктами трансформации за миллионы лет органических организмов (флоры и фауны). В период 2010-2015 гг. потребление таких энергетических ресурсов составляло 15-16,4 млрд т (угольный эквивалент) в год, то есть около 2,2 т условного топлива в год на одного человека [1]. Естественно, что такие энергетические источники (нефть, газ, уголь) считаются ограниченными и невозобновляемыми (за обозримые периоды времени). Важной положительной особенностью традиционных энергетических ресурсов (нефти, газа, угля) является аккумулированная (плотно упакованная) в них энергия. Так, аккумулированная в нефти энергия превращается в транспортную энергию в автомобилях, судах, самолётах; нефть составляет около трети потребления всей мировой энергии [2].

%



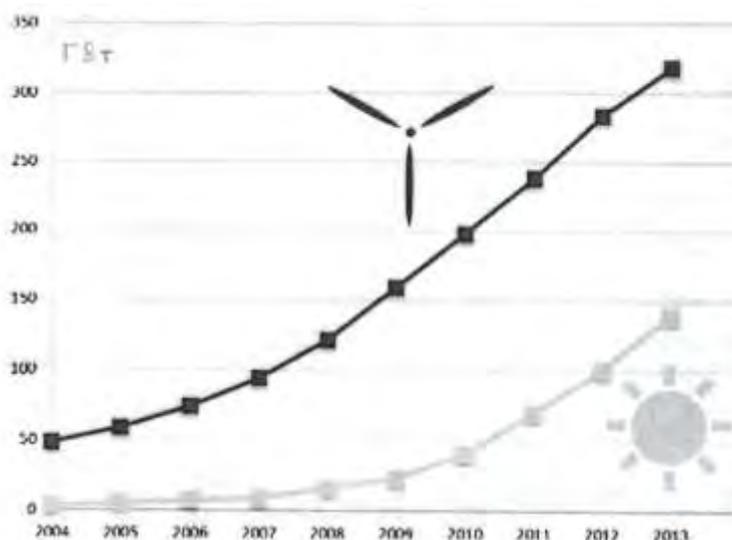
**Рис. 1. Эволюция структуры мирового энергопотребления**

К возобновляемым энергетическим источникам относятся природные явления, являющиеся внешними (по сравнению с внутренними у углеводородных ресурсов) свойствами и признаками природных объектов, используемых человеком для получения энергии. «Зелёная» энергетика - часть энергопроизводящей системы, использующая возобновляемые источники энергии. Самыми распространёнными видами «зелёной» энергетики являются солнечная энергия и энергия ветра. Менее известны технологии использования энергии морских приливов (первая приливная электростанция уже существует, стоимость её энергии в 5 раз выше, чем у традиционной энергетики), использования энергии волн морского прибоя. Есть такие экзотические проекты «зелёной» энергетики, как обратный осмос (односторонняя диффузия) - использование взаимодействия пресной и солёной воды для получения электроэнергии, поднятие ветряков в верхние слои стратосферы в виде дирижаблей (сейчас такие проекты разрабатываются на Аляске).

По сути явлений к возобновляемым источникам энергии относятся энергия падающей воды на гидроэлектрических станциях (ГЭС) и энергия геотермальных источников. На Камчатке сегодня 40% потребляемой энергии вырабатывается на геотермальных водах [4].

Распространённым видом энергетических ресурсов является древесина, используемая для получения тепловой энергии в бытовом секторе слаборазвитых стран. С биологической позиции этот энергетический ресурс в таёжной зоне является возобновляемым с периодом 60-120 лет. С позиции экосистемного подхода лесонаждения являются условно возобновляемым ресурсом, поскольку после рубки коренные древостой сменяются производными с гораздо меньшим природно-ресурсным потенциалом.

Расширяется использование растительной биомассы для производства различных видов автомобильного топлива.



**Рис. 2 – Рост установленной мощности солнечных и ветровых энерго установок в мировой энергетике в 2004-2013 гг. ГВт)**

При обсуждении перспектив возобновляемых источников энергии в первую очередь рассматривают солнечную и ветровую энергетику. Сегодня солнечная и ветро-энергетика - быстроразвивающиеся (рис. 2) зрелые отрасли мировой индустрии. В 2014 г. только в Европе солнечными энергоустановками выработано почти 100 млн. МВтч, а общемировое производство солнечной энергии достигло 186 млн. МВтч.

Особенностью «зелёной» энергии является её малая удельная плотность, для наглядности, например, характеризуемая сравнением потока энергии, переносимой дуновением ветра или тепла солнечного луча с концентрированной энергией в камере сгорания газовой турбины. Так, мощность энергии солнечного излучения на входе в атмосферу - 1367 Вт/м<sup>2</sup>, после прохождения атмосферы на уровне моря на экваторе - 1000 Вт/м<sup>2</sup>, а среднесуточное - в три раза меньше. В итоге даже на экваторе с площади в 1 км можно получить мощность солнечной энергии в 90 МВт (средняя районная электростанция).

На основе частных случаев создания в каких-то особых условиях объектов «зелёной» энергетики в СМИ распространяется магический рецепт для всей энергетики, даже рассматривается вопрос о переходе в сфере энергетики на новый технологический уклад. Но это один из современных мифов [5], распространяемых в обществе; таких как устойчивое развитие [6], динамика озоновых дыр, глобальное потепление и парниковый эффект [7], «зелёная» экономика [8]. Прилагательное «зелёный» и приставки «эко-», «био-» стали своего рода религией и одновременного маркетинговым крючком для привлечения потребителей.

Реалии «зелёной» энергетики заключается в следующем.

Во всем Мире сейчас около 1% электроэнергии вырабатывается солнечными установками и чуть более 2% - ветряными установками [9].

Сейчас можно выделить два основных направления использования солнечного излучения в энергетике:

- фотоэлектрические преобразователи солнечного излучения непосредственно в электроэнергию на основе фотоэффекта;
- гелиотермальная энергетика, использующая солнечное излучение для нагрева рабочего тела, например, воды, используемой затем в качестве источника тепла для генерации пара для привода паровых турбин, как в обычных тепловых электростанциях.

По мнению академика Ж.И. Алферова [3], «Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую - наше будущее. Солнце - неиссякаемый источник энергии, наш термоядерный реактор, устойчиво работающий уже миллиарды лет. Проблемы с солнечными батареями сегодня чисто экономические. Один киловатт электрической мощности, получаемой от них, должен быть сравним по цене с киловаттом, получаемым на тепловых электростанциях».

Преимуществом фотоэлектрических преобразователей является отсутствие подвижных частей, их высокая надёжность и стабильность. Они имеют малую массу, просты в обслуживании. Модульный тип конструкций позволяет создавать установки практически любой мощности, что очень удобно для потребителя. Недостатками являются высокая стоимость и низкий КПД. Солнечные батареи являются основным источником энергопитания в космосе, на Земле используются в основном для энергоснабжения автономных потребителей, питания радионавигационной и маломощной радиоэлектронной аппаратуры.

Преимуществом гелиотермоэлектростанций является их способность к интеграции в традиционные тепловые электростанции. В качестве «солнечной топки» их можно интегрировать в традиционные тепловые циклы параллельно с камерами сгорания для ископаемых видов топлива. В США, занимающих ведущие позиции в области солнечной энергетики, в 2014 г. реализован крупнейший проект солнечной электростанции Ivanpah на границе Калифорнии и Невады в пустыне Мохаве. Она включает систему из 300 тысяч управляемых плоских зеркал, занимающих площадь в 16 км<sup>2</sup>, которые концентрируют солнечное излучение на три одинаковых башни высотой по 140 м (рис. 3).

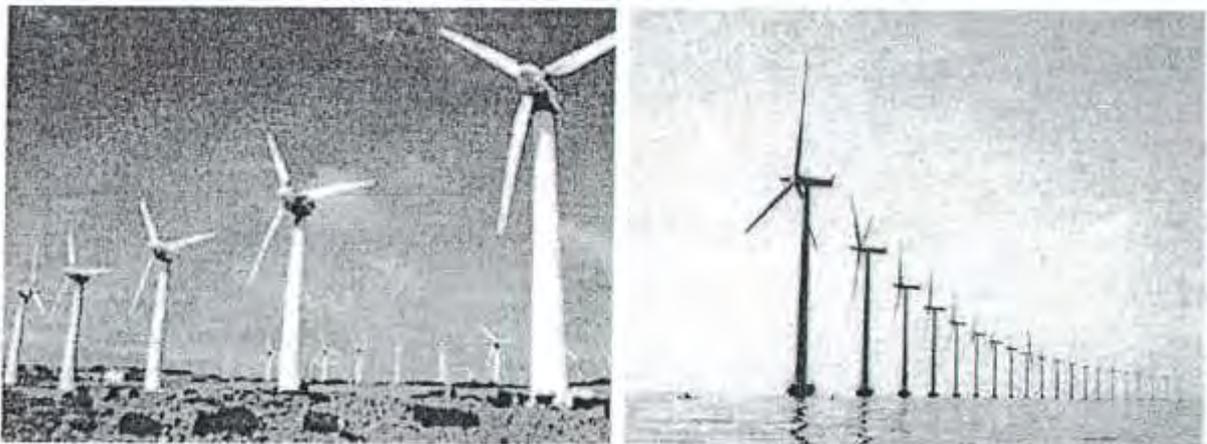
В солнечных коллекторах, расположенных наверху башен, тепло солнечного излучения превращает воду в водяной пар, направляемый на лопатки турбин, производящих электроэнергию, как в обычных ТЭЦ. Максимальная мощность станции составляет 392 МВт, а её стоимость - 2,2 млрд долларов, что в несколько раз превышает стоимость тепловых электростанций аналогичной мощности. Есть и другие серьёзные проблемы: более 300 тысяч зеркал очень сильно нагревают воздух (температура коллекторов достигает 540 градусов Цельсия), что приводит к гибели фауны (птиц). Поэтому серьёзно рассматривается вопрос влияния подобных электростанций на окружающую среду.

При системном (а не только комплексном) рассмотрении «зелёная» энергетика является не менее «грязной», чем та, которую она призвана заменить. Только здесь «грязь» находится не в поле зрения наблюдателя и пользователя. Публицист Т. Воеводина (а публицисты всегда острее чувствуют проблему) отмечает («Завтра», 2017, № 24):

«Когда прогрессивный домовладелец в Италии устанавливает у себя на крыше солнечную батарею, он верит, что вносит вклад в сбережение нашей зелёной планеты. На самом деле, на изготовление этой батареи потрачено столько энергии, и она породила столько загрязнения при производстве, что лучше бы он подключился к ближайшей угольной электростанции».



**Рис. 3. Солнечная электростанция в пустыне Мохаве (США)**

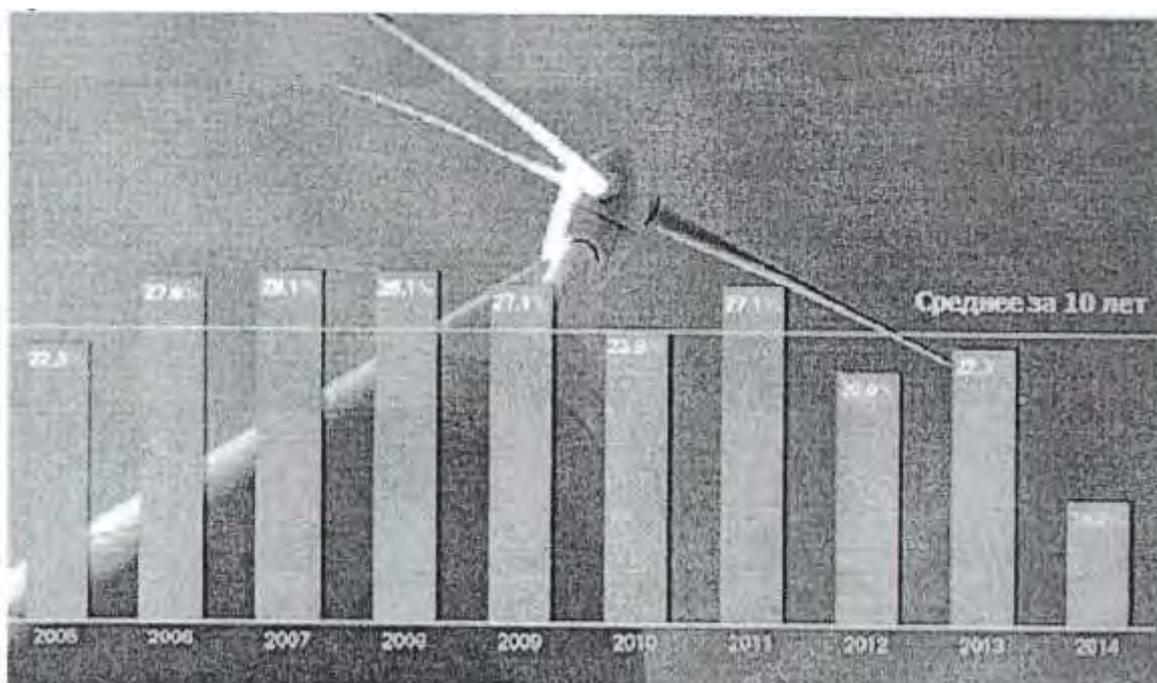


**Рис. 4. Ветроустановки на суше и у побережья**

К началу 2015 года общая установленная мощность всех ветрогенераторов составила 369 ГВт, а количество произведённой ими электрической энергии достигло 3% всей произведённой человечеством электрической энергии. Более 30% установленных мощностей приходится на Китай, 18% - на США и 10% - на Германию. За счёт этого источника, в основном установок, размещённых в море вблизи побережья, Дания покрывает около 40% своих потребностей в электроэнергии, Германия покрывает за счёт ветроэнергетики 8,6% потребности в электроэнергии, а Китай - 1,3%. Существуют планы дальнейшего развития ветроэнергетики, согласно которым к 2020 г. мощность ветроэнергоустановок только в странах Евросоюза достигнет 180 ГВт. Однако наиболее продуктивные с географической и потребительской точек зрения места расположения ветроэнергоустановок уже освоены, что ведёт к падению темпов развития ветровой энергетики (рис. 5).

Наиболее перспективными местами для размещения ветрогенераторов считаются прибрежные зоны морских акваторий. Но при этом стоимость инвестиций по сравнению с сушей повышается в 1,5-2 раза.

Хотя энергия ветра, в отличие от ископаемого топлива, практически неисчерпаема, доступна и более чистая с экологической точки зрения, сооружение ветровых электростанций сопряжено с определёнными трудностями технического и экономического характера, замедляющими распространение ветроэнергетики. В частности, непостоянство ветровых потоков создает проблемы надёжности производства электроэнергии. Но главное, ветроэнергетика остаётся одним из наиболее дорогих источников электричества. Пока на большинстве рынков ветровая энергия неконкурентоспособна, поэтому ситуация смягчается льготными тарифами для этого вида энергетики.



**Рис. 5. Ежегодные темпы прироста мощностей в мировой ветроэнергетике (Источник:BP Statistical Review of World Energy, 2015)**

Журнал «Proceedings of the Natural Academy of Sciences» опубликовал (2017 г.) теоретические расчёты о потенциале энергии ветра на Земле. Ветряная станция на площади 3 млн. км (полторы Гренландии), установленная в океане (скорость ветра над океаном на 70% выше, чем на суше), сможет полностью удовлетворить нужды человечества в электроэнергии.

При рассмотрении не только электроэнергии, а всей производимой энергии (в том числе на транспорте) доля «зелёной» энергетики при всем её бурном развитии за последние десятилетия составляет сейчас около 5%. В мире рост установленных мощностей по использованию солнечной энергии и энергии ветра удваивается за каждые четыре года. Тренды «зелёной» энергетики в мире разнонаправлены: где-то она существенно растёт, а где-то рост замедляется.

Солнечная энергетика начала сдавать свои позиции в Европе. Тренд в отрасли новой энергетики сегодня здесь уже нисходящий. Основные причины - сокращение субсидирования в виде налоговых льгот, беспроцентных кредитов, специальных тарифов.

В Германии, которая была флагманом «зелёной» технологии, пик установки новых «зелёных» мощностей в генерации энергии миновал три года назад, и сейчас там устанавливаются считанные гигаватты. В Германии доля солнечной энергетики состав-

ляет 7-7,5% от всей электрогенерации (40 гигаватт). Но там идёт сильное замедление роста ввода новых мощностей.

В других регионах мира идёт противоположная тенденция. В Китае (где вся энергетика составляет около 1 000 гигаватт) в 2015 году установленная мощность солнечных установок составила 43 гигаватта (больше, чем в Германии). А установленная мощность ветряной электрогенерации в Китае больше, чем во всей Европе (с её флагманами Данией, Великобританией, Испанией) - 180 гигаватт. Но с учётом низкого коэффициента использования установленной мощности доля энергии ветра не превышает 5%.

Сейчас большая часть энергетики Китая (более 1000 гигаватт) основана на использовании каменного угля. Там всячески пытаются уйти от угольной генерации электроэнергии; принимают программы газовой энергии, даже изучают тему использования метана угольных пластов [10]: строят ГЭС и АЭС.

Китай планирует создание мощностей по солнечной энергетике к 2040 году в объёме 1000 гигаватт (это его сегодняшняя вся энергетика); но фактическое производство «зелёной» энергии с учётом коэффициента установленной мощности (менее 25%) может быть не более 250 гигаватт.

В США первая программа солнечной энергетики была принята в 1972 г. [3]. В американском прогнозе (U.S Energy Information Administration (EIA)) доля возобновляемых энергетических источников колеблется от 5% (2010 г.) до 6,4% к 2040 году.

В России сегодня на долю «зелёной» энергетики приходится около 2%; к 2020 г. по плану Правительства РФ этот показатель должен увеличиться до 4,5% [11].

В России своя специфика в развитии «зелёной» энергетики. У нас много реального дешёвого газа (четверть разведанных мировых запасов природного газа), много дешевого угля (пятая часть мировых запасов), десятая часть мировых разведанных запасов угля, есть гидроэлектростанции с дешёвой электроэнергией, есть атомная энергетика. Обеспеченность России традиционными энергетическими ресурсами не сопоставима ни с одной страной Мира. В России электрическая энергетика на природном газе обеспечивает 45% общего потребления, на угле - 20%, на мазуте - 5%; на долю гидро-ресурсов приходится 18% производимой энергии, на долю ядерной энергетики - 12%.

В России в первую очередь должна решаться задача эффективного использования традиционных энергетических ресурсов в интересах всего населения страны. Антиобщественным следует считать положение, когда более 70% добываемой нефти и нефтепродуктов экспортируется в другие страны, и значительная часть эффекта от этого экспорта сосредотачивается у богатейшего меньшинства - у ПО российских миллиардеров [И]; а для большинства населения стоимость бензина по отношению к среднему уровню годового душевого дохода - самая высокая среди нефтедобывающих стран мира. В России треть населения страны (а это почти всё сельское население) пока не имеет доступа к газу. Только 30% территории покрыто сетями РАО ЕС; на остальной территории электричество получают с помощью дизельных электрогенераторов.

Перспективы развития «зелёной» энергетики в России обусловлены её огромной территорией - 13% поверхности планеты и многообразием природно-климатических факторов (от Арктической зоны до субтропиков).

Так, в Якутии, занимающей территорию, равную четырём Франциям, работают 1284 котельные. Там на тысячи километров перевозят уголь, топливо для дизелей, затрачивают огромные усилия и средства на производство энергии. Естественно, что здесь рассматриваются альтернативные источники энергии. Но в Якутии континентальный климат, там мало ветра (его много на соседней Камчатке), да и солнца там не много. Но всё-таки в декабре 2015 г. была запущена солнечная электростанция в поселке Багатай. Ожидается, что в летний период активного солнца солнечная электростан-

ция будет обеспечивать 70% потребности посёлка в энергии, а в зимний период — около 40%. Остальную потребность посёлка в энергии будут продолжать обеспечивать дизельные генераторы.

На Европейском севере России, на Дальнем Востоке много ветра, и там уже стоят ветряки. В 2015 году ветряные парки были построены в Усть-Камчатске и на Сахалине. Но в северных районах России, где температура воздуха опускается до  $-40^{\circ}\text{C}$ , возникает проблема борьбы с обледенением лопастей ветряков. Таких проблем не возникает в южных регионах, и там ветряная энергия конкурирует с традиционной (Великобритания, Дания, Испания, Германия).

Солнца достаточно на юге России, на Алтае, на Кавказе. Солнечная энергетика в нынешних реалиях может реально конкурировать с традиционной энергетикой (уголь, нефть, газ) в узком диапазоне, в каких-то особых условиях; себестоимость установки солнечной энергетики составляет в среднем 100 долларов за один мегаватт-час генерации электроэнергии, что значительно выше традиционной энергетики. В последние годы в России реализовано пять проектов по строительству солнечных электростанций. Уже несколько лет работает солнечная электростанция на Алтае мощностью 5 мегаватт.

Но всё-таки для основной значительной части территории в России планирование перехода с традиционной энергетикой на «зелёную» - «мода» и «пиар». Это, во-первых, дорого, а, во-вторых, в России есть огромное количество традиционных источников энергии, к тому же и возобновляемых, как ГЭС. Швейцария, например, полностью пользуется ГЭС и не планирует заменять их на солнечную и ветровую энергию.

При рассмотрении перспективы развития «зелёной» энергетикой нужно учитывать следующие положения. На создание новой - «зеленой» - энергетикой на солнечных установках и ветряках в материальном воплощении потребуются десятилетия. А полная замена традиционной энергетикой (уголь, нефть, газ), которую создавали столетие, потребует такого же времени. Так, например, замена нефти (бензина и дизельного топлива) как носителя транспортной энергии (для существующих сейчас 1,1 миллиарда автомашин) на солнечную энергию для электромобилей потребует многих десятков лет. Сейчас в год выпускается 80 миллионов машин с двигателями внутреннего сгорания, а электромобилей делается во всём мире около 500 тысяч (меньше процента от общего количества). То есть увеличить долю «зеленой» энергии в транспортной сфере экономики, снизив потребление нефти, в перспективе на ближайшие годы невозможно.

Одной из сложностей использования возобновляемых источников энергии является проблема аккумуляции энергии от них и обеспечение устойчивости энергообеспечения территорий. Пока нет полного перехода на «зеленую» энергетикой и пока её можно резервировать традиционными мощностями, - такой проблемы не возникает. Так, Германия, где доля солнечной энергетикой составляет 7-7,5% от всей электрогенерации, справляется с задачей устойчивого энергообеспечения. Но в будущем, в случае перехода на значительную долю непостоянной «зелёной» энергетикой, когда ей придётся работать в одиночку в жёстком «островном» режиме, может возникнуть проблема устойчивого энергообеспечения территории, например, проблема создания значительных аккумулирующих мощностей.

Аккумулировать - хранить - электрическую энергию в больших объёмах человек пока не может. В ряде случаев (Тункинская котловина в Бурятии) около солнечных батарей находятся ряды щелочных аккумуляторов, и возникает проблема их утилизации после срока использования. Ведь даже одна выброшенная пальчиковая батарейка заражает солями металлов 20 кг прочего мусора.

НИИ им. Фраунгофера в Германии выполнил анализ основных способов аккумуляции электрической энергии: на основе электролиза, на основе химического запаса-

ния электрической энергии и на основе сохранения её в виде тепловой энергии (в виде нагретой воды). Последний способ был предложен в качестве основы всей энергосистемы Германии к 2050 году, другие способы аккумуляции энергии гораздо сложнее и намного дороже.

Таким образом, в целом у «зелёной» энергетики (в первую очередь у солнечной и ветряной) есть будущее, идёт тренд удвоения мощностей новой энергетики за каждые 4-5 лет. Но по ряду объективных причин объём «зелёной» энергетики в ближайшем десятилетии не превысит 5-10% [12].

В России «зелёная» энергетика также будет расти, хотя и не так быстро, как хочется. Наши богатые подземные ресурсы позволяют достаточно долго и эффективно использовать традиционные источники энергии; это всё-таки сейчас разумнее, чем обогревать лопасти ветряков на Севере и ловить ограниченные лучи Солнца в Сибири.

С учётом существующих трендов развития «зелёной» энергетики в Мире ожидать формирования нового уклада в сфере энергетики можно будет, по мнению специалистов, в неблизком будущем [13]. В американском прогнозе «U.S Energy information Administration» (2014) доля возобновляемых энергетических источников будет колебаться от 5% до 6,4% в 2040 году.

*Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433.*

#### Список литературы

1. Арутюнов В.С. Нефть XXI. Мифы и реальность альтернативной энергетики. - Т.Д. Алгоритм; Москва. - 2016. - 208 с.
2. Арутюнов В.С. Ведущие тенденции энергетики начала века: повышение эффективности использования ресурсов, энергосбережение и децентрализация // Российский химический журнал. - 2008. - Т. 52. - № 6. - С. 4-10.
3. Перспективы энергетических технологий. В поддержку Плана действий «Группы восьми». Сценарии и стратегии до 2050 г. ОЭСР/МЭА, WWF России (пер., ред. ч. 1 - А. Кокорина, ч. 2 — Т. Муратовой). - М. - 2007. - 586 с.
4. Пучков Л.А. Энергетический анализ мировых кризисов // Горный журнал. - 2015, -№4.-С. 41-45.
5. Лактюшкин В., Собко А., Анпилогов А. Конец эпохи сланца. Газ // «Завтра». - 2017.-№ 1.
6. Алфёров Ж.И. Власть без мозгов. Отделение науки от государства. - М.: Алгоритм. - 2012. - 224 с.
7. Давиденко И.В., Кеслер Я.А. Ресурсы цивилизации. - М.: ЗАО «Всеобщие исследования». - Изд-во «Эксмо». - 2009. - 554 с.
8. Лосев К.С. Мифы и заблуждения в экологии. - М.: Научный мир. - 2011. - 224 с.
9. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. - М.: Прогресс-Традиция. - 2000. - 416 с.
10. Каменщик А. Глобальное оглупление // «Своими именами». - 2013. —№ 28.
11. Бобылев С.Н., Вишняков В.С., Комарова И.И. и др. под общ. ред. А.В. Шевчука. «Зелёная экономика. Новая парадигма развития страны». - М.:СОПС. - 2014.- 248 с.
12. Лактюшкин В., Анпилогов А. Мифы новой эры // «Завтра». - 2016. -№ 47.
13. Ильковский К.К., Тимофеев Д.И. Взгляд на энергетику будущего // Горный журнал. - 2011. - № 12. - С. 73-74.

14. Залиханов М.Ч., Степанов С.А. Почём сегодня недра // Бюллетень «Природные ресурсы». - 2016. - № 8-9.
15. Арутюнов В.С. Биотопливо: новая энергетика или модное увлечение?// Химия и жизнь. - 2008. - № 5. - С. 27-31.
16. Агафонов А. Зелёная энергетика: пустите атом! // «Областная газета». - 14.12.2017.
17. EIA project world energy consumption will increase 56% by 2040 //U.S. Energy Information Administration 2013. URI <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=12251>.
18. BP Statistical Review of World Energy, June 2015 (bp.com/statistical-review-of-world-energy-2015). A top-down to approach to assess physical and ecological limits of biofuels, Energy (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.enetgy.2013/10/049>

УДК 007.3; 334.025; 334.021.1

## ИСТОРИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

В. Г. КРЫЛОВ, Ю. В. ЛЕБЕДЕВ  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье дается критический анализ правительственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в контексте исторической ретроспективе. Авторы проводят анализ прошлого опыта аналогичных масштабных реализаций государственных программы и дают обоснованную критику с элементами конструктивных предложений с учетом нынешнего положения экономики страны.

**Ключевые слова:** Цифровая экономика, признаки цифровизации, виртуальная среда, цифровой сегмент, ОГАС.

## HISTORY OF THE DIGITAL ECONOMY

V. G. KRYLOV, V.V. LEBEDEV  
Ural State Mining University

**Abstract.** The article gives a critical analysis of the government program "Digital Economy of the Russian Federation" in the context of a historical retrospective. The authors analyze the past experience of similar large-scale implementations of the state programs and provide valid criticism with elements of constructive proposals, taking into account the current state of the country's economy.

**Keywords:** Digital economy, signs of digitalization, virtual environment, digital segment, OGAS.

Термин «цифровая экономика» ввёл в употребление в 1995 г. американский информатик Николас Негропonte (Массачусетский университет)[1]. Это понятие связано с интенсивным развитием информационно-коммуникационных технологий. Сейчас этим термином пользуются во всём мире, он вошёл в обиход политиков, предпринимателей, журналистов.

В послании Президента России В.В.Путина Федеральному собранию 1 декабря 2016г. [2] были определены приоритеты развития цифровой экономики России: «Предлагаю запустить масштабную системную программу развития экономики нового технологического поколения так называемой цифровой экономики. В её реализации будем опираться на российские компании, научные, исследовательские и инжиниринговые центры страны». В 2017 г. на заседании Совета по стратегическому развитию и при-

ритетным проектам при Президенте России была принята программа цифровизации экономики России до 2024г.

Не хочется принимать это как очередную компанию, но ... В последнюю четверть XX века в России было несколько подобных «пузырей», которые надувались, лопались и исчезали. Так, года полтора-два держался лозунг «Удвоение ВВП», потом лет пять - «Превратим Москву в международный финансовый центр», далее был брошен клич «Четыре И: инновации, инвестиции, институты и инфраструктура», но очень скоро эти увлечения у руководителей страны проходили. В 2008 г. Д.А.Медведев шел на выборы Президента России под лозунгом «модернизации»; в 2010г. по его инициативе даже был запущен масштабный инновационный проект — исследовательский центр «Сколково», в который государство вложило огромные средства - десятки миллиардов рублей

. Только вот технологического чуда не получилось: вложенные деньги не дали результатов, а то и вовсе выводились в офшоры - об этом сообщалось в отчёте Счётной палаты по деятельности «Сколково» (2016). А ещё был клич «экономика знаний»...

Понятие «цифровая экономика» в 2016 г. озвучил Всемирный банк в «Докладе о мировом развитии - 2016: цифровые дивиденды»[3]. Были указаны такие признаки цифровизации в России, как открытые данные, система электронного правительства, работа цифровых компаний «Яндекс», «Касперский», службы онлайн-заказов, сокращение сроков обработки документов и др.

Использование компьютера, интернета, мобильных телефонов уже можно считать «потреблением»; тогда цифровая экономика может быть представлена как часть экономических отношений, которая опосредуется Интернетом, сотовой связью, информационно-компьютерными технологиями (ИКТ), или, по мнению В.В.Иванова, члена-корреспондента РАН, как виртуальная среда, дополняющая нашу реальность (В.В.Иванов, 2017). А саму цифровую экономику в этом представлении следует понимать как дополнение к аналоговой (реальной по производству материальных благ).

Правительство РФ представило Программу [4], содержащую цель создать минимум 10 высокотехнологичных IT-предприятий, 10 «индустриальных цифровых платформ для основных отраслей экономики» (образование, здравоохранение и т.д.), 500 малых и средних предприятий в сфере цифровых технологий; а ещё обеспечить ежегодный выпуск 120 тысяч дипломированных IT-специалистов, предоставить 97% российских домохозяйств широкополосный доступ в Интернет со скоростью не менее 100 Мбит/с (в 2016 г. средняя скорость составляла 12 Мбит/с), и сделать так, чтобы 95% сетевого трафика шло через отечественные сети. Предлагалось наладить во всех городах-миллионниках устойчивое покрытие 5G и добиться того, чтобы доля России на мировом рынке услуг по хранению и обработке информации достигала бы 10% (сейчас - менее 1%). Достичь всего этого к 2024 г. планировалось при ежегодном финансировании по 100 млрд, рублей из госбюджета. Итогом реализации программы должно стать снижение доли иностранного компьютерного и телекоммуникационного оборудования, закупаемого госорганами, до 50%, а программного обеспечения - до 10%.

Как видно, главное внимание направлено на достижение определённых цифровых (количественных) показателей, а не на создание среды эффективной экономики. Широкополосный интернет, число программистов и скорость передачи данных - это только технические условия. При этом следует иметь в виду, что Россия в отдельных секторах «цифровой экономики» движется (или бежит) наравне с лидерами Запада; например, в сфере телекоммуникаций и распространения широкополосного Интернета, в сфере распространения интернет-банкинга. Так, на каждые 100 человек у нас приходится 160 мобильных телефонов, мобильным доступом к Интернету пользуются 71,3%

населения, средняя скорость в Сети в России составляет 12,2 Мбит/с, и по этому показателю Россия находится на одном уровне с Францией и Италией.

Цифровая революция отгремела на Западе 10—15 лет назад, там бизнес первым и весьма активно освоил новые средства коммуникации, оцифровал всё, что только можно, добился от властей законодательного оформления электронной подписи, налазил цифровую связь не только внутри бизнес-сообщества, но и с государством, да и госведомства интегрировали свои информсистемы.

Последние годы на Западе стремятся «разогнать» цифровой сегмент настолько, чтобы он был сопоставим по объёмам с реальным сектором экономики. В «Докладе Всемирного банка о мировом развитии - 2016: цифровые дивиденды» отмечен вклад ИКТ в повышение темпов экономического роста. В период 1995—1999 гг. вклад всей цифровой экономики в экономический рост развитых стран был эквивалентен 3,0% ВВП; в период 2005-2009 гг. > - 1,0%; в период 2010-2014 гг. - 1,8%. Основная часть этого вклада приходилась на рост капитализации компаний сектора ИКТ. Примерно 20% всего прироста ВВП, который был обусловлен цифровой экономикой в двадцатилетний период 1995-2014 гг., обеспечивались теми отраслями и компаниями, которые были потребителями ИКТ. То есть основные дивиденды от цифровой экономики получали ИТ—компании, а не производство материальных благ и общество. По данным Всемирного банка, вклад цифровой экономики в ВВП США, оцененный в 7% ВВП, — это совокупная капитализация восьми гигантов сектора ИКТ. В Великобритании - ИТ-лидере цифровой экономики - этот сектор в 2016 году обозначен в 12% от ВВП, но у некоторых экономистов есть подозрение, что эта цифра не очищена от поставляемых в этом сегменте материальных благ.

Таким образом, согласно программе цифровизации России до 2024 года, экономика страны должна быть цифровой; то есть не сырьевой (какая сейчас существует и от которой все стремятся уйти) и не производственной (инновационной, к которой так страстно стремились до последнего момента). Очевидно, цифровизация России до 2024 года есть очередная попытка догнать Запад числом (ИТ-компаний, скоростью передачи информации, увеличением штата программистов и пр.), и эта попытка сохранит вечное отставание экономики России.

Многие экономисты убеждены, что уровень развития цифровой экономики прямо коррелирует с уровнем развития материальной экономики: там, где этот уровень выше, там и развитие цифрового сегмента выше. Уже ясно, что чем больше оцифровываются процессы на производстве, тем больше активность развития реальной экономики. Но в России состояние производственных процессов - реального сектора экономики - критическое. По данным государственной статистики, производительность труда в 3,5-4 раза ниже, чем в развитых странах. По этому показателю мы занимали в 2016 г. 32-е место среди стран ОЭСР. Степень износа основных фондов за последние три года - 48-49 процентов, это самые высокие цифры после 1990 года. Полностью изношенные основные фонды предприятий на конец 2015 года - 15,8%. Самый большой износ - на предприятиях, производящих машины и оборудование (24%). Из 75,3 млн. человек, работающих в реальном секторе, более 20 млн — старше 50 лет...

Именно поэтому у специалистов - критическое отношение к объявленной \ цифровизации России. Так, руководитель Института демографии, миграции и регионального развития Ю.В.Крупнов (Сигида А.А., 2017) отмечает: «Программа ставит во главу угла некие потребительские потребности, смартфоны и айфоны, совершенно не предлагая строить самолёты, турбины, корабли и так далее. В этом смысле — это выдающаяся антипромышленная программа!» [5]

В ноябре 2017 года в г.Екатеринбурге проходила XII Международная конференция «Российские регионы в фокусе перемен»; на круглом столе «Цифровая экономика регионов»[6] обсуждались темы:

- Какие сферы социально-экономических отношений требуют немедленной цифровизации; барьеры, стоящие на пути цифровизации бюджетного и коммерческого сектора;
- Успешные примеры решений в области индустриального интернета вещей;
- Внедрение современных технологий в привычную жизнь: синергетический эффект науки и инноваций;
- Умные города: примеры внедрения и потенциальный эффект;
- Подготовка кадров для цифровой экономики.

Действительно «цифровая экономика» в представленной форме является анти-промышленной для Урала. Сфера реального производства (недропользование, горно-промышленный комплекс, машиностроительный сектор) пока не входят в поле «цифровой экономики» в Уральском федеральном университете, в его Высшей школе экономики и менеджмента (как организаторов конференции). Следует отметить, что на Западе цифровизация происходила в другой промышленной системе, где есть аэробусы, машиностроительные комплексы и, конечно, смартфоны и мобильники, составляющие несколько процентов ВВП.

Существует три базовых составляющих экономической цифровизации («цифровой экономики»):

- сбор и анализ данных, необходимо понимание, для чего это делать;
- формирование потребностей; активная информатизация преобразует поведение потребителей, у которых облагораживается примитивное потребление, переходящее в зону тотального комфорта для каждого человека;
- управление взаимодействием цифровых данных с экономическими потребностями, то есть удовлетворение возрастающих потребностей человечества через прогнозирование, планирование, организацию, исполнение, контроль и координацию всей деятельности.

То есть должна существовать единая система управления народно-хозяйственным комплексом на основе сбора и анализа данных для выработки путей развития страны. Такая задача была осознана и сформулирована более полувека назад академиком В.М.Глушковым. В книге Б.Н.Малиновского «История вычислительной техники в лицах» (1995) приведены воспоминания Виктора Михайловича Глушкова:

«Задача построения общегосударственной автоматизированной системы управления (ОГАС) экономикой была поставлена мне первым заместителем Председателя Совета Министров (тогда А.Н.Косыгиным) в ноябре 1962 года. К нему меня привёл президент Академии наук СССР В.М.Келдыш, с которым я поделился некоторыми своими соображениями по этому поводу». Наличие планового хозяйства в СССР позволило создать самую эффективную систему управления экономикой. \ Понимая это, В.М. Глушков и сделал ставку на ОГАС. По предварительным расчётам, её реализация обошлась бы в 20 миллиардов рублей. Основную часть работы можно было сделать за три пятилетки, но только при условии, что эта программа была бы организована так, как атомная и космическая.

ОГАС сложнее космической и атомной программ вместе взятых и организационно труднее, так как затрагивает все и всех: промышленность, и торговлю, планирующие органы, и сферу управления и т.д. Хотя стоимость проекта ориентировочно оценивалась в 20 миллиардов рублей, рабочая схема его реализации предусматривала, что вложенные в первой пятилетке первые 5 миллиардов рублей в конце пятилетки дадут

отдачу более 5 миллиардов. А всего за три пятилетки реализация программы принесла бы в бюджет не менее 100 миллиардов рублей.

Создатель кибернетики Норберт Винер в 1964 году дал интервью журналу «U.S. News & World Report» [7]:

*Вопрос:* Вы нашли во время вашей последней поездки в Россию, что Советы придают большое значение вычислительной машине?

*Ответ:* «Я скажу вам, насколько большое. У них есть институт в Москве. У них есть институт в Киеве. У них есть институт в Ленинграде. У них есть институт в Ереване, в Армении, в Тбилиси, в Самарканде, в Ташкенте и Новосибирске. У них могут быть и другие».

*Вопрос:* Используют ли они эту область науки полностью, если сравнить с нами?

*Ответ:* «Общее мнение - оно идёт от самых разных лиц - таково, что они отстают от нас в аппаратуре: не безнадежно, а немного. Они впереди нас в разработке теории автоматизации...»

То есть Норберт Винер предупреждал о возможном прорыве русских по вопросам автоматизации; и Запад принял меры. В 1964 году по инициативе тогдашнего министра обороны США Макнамары Президент США Линдон Джонсон подписал директиву Совета национальной безопасности (в переводе на русский - «Красная киберугроза»).

О продолжении этой истории академик В.М. Глушков вспоминал так: «Появились сначала две статьи: одна в «Вашингтон пост», а другая - в английской «Гардиан». Первая называлась «Перфокарта управляет Кремлём» и была рассчитана на наших руководителей. Там было написано следующее: «Царь советской кибернетики академик В.М. Глушков предлагает заменить кремлевских руководителей вычислительными машинами». Ну и так далее, низкопробная статья. Статья в «Гардиан» была рассчитана на советскую интеллигенцию. Там было сказано, что академик Глушков предлагает создать сеть вычислительных центров с банками данных, что это звучит очень современно, и это более передовое, чем есть сейчас на Западе, но делается не для экономки, а на самом деле это заказ КГБ, направленный на то, чтобы упрятать мысли советских граждан в банки данных и следить за каждым человеком. Потом последовала целая серия перепечаток этих грязных пасквилей в других ведущих капиталистических газетах - и американских, и западноевропейских, и серия новых статей.

И вся наша оппозиция, в частности экономическая, на меня ополчилась».

Против ОГАС и В.М.Глушкова, начиная с 1964 года, стали открыто выступать учёные-экономисты Е.Г.Либман, В.Д.Белкин, И.Я.Бирман и другие, многие из которых потом уехали в США и Израиль. В начале 1972 года в «Известиях» была опубликована статья «Уроки электронного бума», написанная Мильнером, заместителем Г.А.Арбатова, директора Института Соединённых Штатов Америки \ (впоследствии одного из идеологов перестройки и разрушения СССР). В ней он пытался доказать, что в США спрос на вычислительные машины упал. В ряде докладных записок в ЦК КПСС от экономистов, побывавших в командировках в США, использование вычислительной техники для управления экономикой приравнивается к моде на абстрактную живопись. Мол, капиталисты покупают машины только потому, что это модно, дабы не показаться несовременными. Это всё дезориентировало руководство.

Поучительно и красноречиво поведение руководителей государства и различных ведомств. На одном из заседаний Политбюро ЦК КПСС по вопросу ОГАС председатель Госплана Совета Министров Н.К. Байбаков (один из главных создателей нефтегазового комплекса СССР в Сибири) сказал: «Я слышал, что здесь есть возражения у товарища Гарбузова (министра финансов). Если они касаются увеличения аппарата, то я считаю дело настолько важным, что если Политбюро только в этом усматривает

трудность, то пусть мне дадут поручение, как председателю Госплана, и я внесу предложение о ликвидации трех министерств (сократить или объединить), и тогда найдётся штат для этого дела». В.Ф.Гарбузов же выступил так: «... я ездил в Минск, и мы осматривали птицеводческие фермы. И там на такой-то птицеводческой ферме (назвал её) птичники сами разработали вычислительную машину. Три программы выполняет: включает музыку, когда курица снесла яйцо, свет выключает и зажигает и всё такое прочее. На ферме яйценоскость повысилась. Вот что нам надо делать: сначала все птицефермы в Советском Союзе автоматизировать, а потом уже думать про всякие глупости вроде общегосударственной системы».

А дальше была предпринята кампания на переориентацию основных усилий и средств на управление технологическими процессами. В 1972 году состоялось Всесоюзное совещание, на котором главный крен был сделан в сторону управления технологическими процессами.

По мнению В.М.Глушкова, одна из бед состояла в том, что по проблеме создания ОГАС в Политбюро отсутствовало ответственное лицо, как по атомной и космическим программам (у И.В.Курчатова, у С.П.Королёва был «шеф» в лице действительно государственного управленца Л.П.Берия). Л.И.Брежнев, Н.А.Косыгин, А.П.Кириленко были по образованию технологи, у М.А. Сулова не хватало уровня именно государственного управленца. В один из решающих моментов обсуждения проекта ОГАС он сказал: «Товарищи, может быть мы совершаем сейчас ошибку, не принимая проект в полной мере, но это настолько революционное преобразование, что нам сейчас трудно его осуществить...».

«ОГАС погас» - злословили враги учёного и в СССР, и за рубежом. Неприятие ОГАС было стратегической ошибкой нашего руководства, нашего общества, так как создание ОГАС давало уникальную возможность объединить информационную и телекоммуникационную структуру в стране в единую систему, позволявшую на новом научно-техническом уровне решать вопросы экономики, образования, здравоохранения, экологии, сделать доступными для всех интегральные банки данных и знаний по основным проблемам науки и техники, интегрироваться в международную информационную систему.

Доктор юридических наук, специалист в области кибербезопасности В.С.Овчинский (2017) пишет: «Почему при гениальных разработках советских учёных мы опять, теперь уже в новых условиях, при преобразовании и экономики, и общества в цифровые, вынуждены кого-то догонять, а не идти впереди?. [8]. И главное, как это преодолеть? Попробуем ответить на эти вопросы.

Во-первых, не стихийный рынок будет определять весь процесс цифровизации экономики и общества. Мобилизация всех ресурсов, жесткий расчёт и план. План как система математического управления экономикой и обществом... Речь о плане как вершине математической мысли на основе искусственного интеллекта.

Во-вторых, цифровизация экономики и общества вновь может столкнуться с ожесточённым сопротивлением новой доморощенной номенклатуры, готовой ... уничтожать всё новое, не позволяющее им спокойно восседать в своих креслах.»

В-третьих, цифровая экономика требует открытости и ПРАВДЫ обо всех социальных и экономических процессах, которые происходят в каждом посёлке, регионе и стране в целом. Ведь работа с Большими данными без этого бессмысленна.

В-четвёртых, технологии цифровой революции всю систему контроля за расходованием бюджета и любых средств ужесточают и делают прозрачной. И здесь уже не остается места масштабной коррупции, мошенничеству и воровству.

Совокупность указанных факторов говорит о том, что процесс цифровизации экономики и общества не будет безмятежным, а в ряде случаев столкнётся с ожесточённым сопротивлением или умелой имитацией.

### Список литературы

1. Negroponte, Nicholas. 1995. Being Digital. New York: Alfred A. Knopf. <http://web.stanford.edu/class/stsl75/NewFiles/Negroponte.%20Being%20Digital.pdf>
2. Послание Президента Федеральному Собранию. Владимир Путин обратился к Федеральному Собранию с ежегодным Посланием. Оглашение Послания по традиции состоялось в Георгиевском зале Большого Кремлёвского дворца. 1 декабря 2016 года 13:10 Москва, Кремль <http://kremlin.ru/events/president/news/53379>
3. Один из основных докладов Группы Всемирного банка. Доклад о мировом развитии. 2016. ЦИФРОВЫЕ ДИВИДЕНДЫ. ОБЗОР <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/23347/210671RuSum.pdf>
4. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» 31 июля 2017 Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» Распоряжение от 28 июля 2017 года №1632-р. Подготовлено Минкомсвязью России во исполнение перечня поручений Президента России по реализации Послания Федеральному Собранию (№Пр-2346 от 5 декабря 2016 года), <http://government.ru/docs/28653/>
5. Цифровая экономика в России: программно-правовые источники /Созидание общества социальной справедливости <http://viperson.ru/uploads/attachment/file/950685/.pdf> [http://zavtra.ru/blogs/tcifrovizatsiya\\_rossii\\_i\\_natsionalizatsiya\\_zhvon\\_v\\_saratove](http://zavtra.ru/blogs/tcifrovizatsiya_rossii_i_natsionalizatsiya_zhvon_v_saratove)
6. XII Международная конференция «Российские регионы в фокусе перемен» Дата проведения: 16 ноября — 18 ноября 2017 <http://www.acexpert.ru/events/konferenciya-rossijskie-regiony-v-focuse-peremen.html>
7. Цифровая экономика и советская кибернетика [http://zavtra.ru/blogs/tcifrovaya\\_ekonomika\\_i\\_sovetskaya\\_ekonomika](http://zavtra.ru/blogs/tcifrovaya_ekonomika_i_sovetskaya_ekonomika) <https://izborsk-club.ru/13850> Владимир Овчинский: Цифровой мир и каббалистическая нумерология
8. Цифровая экономика и советская кибернетика <http://krasvremva.ru/cifrovaya-ekonomika-i-sovetskaya-kibemetika/>

*Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 18-45-860010.*

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 514.18:512.7:004.925.8

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

БАБИЧ В. Н.<sup>1</sup>, КРЕМЛЕВ А. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет»

**Аннотация.** Современная практика решения задач реальной направленности определяется высоким уровнем применения методов математического моделирования на основе системного анализа физических, экономических, технологических, социальных и иных процессов и объектов в сочетании с объемной и качественной информационной поддержкой. Такой совместный процесс информационно-математического моделирования (ИММ) позволяет:

1) интерпретировать в геометрическом смысле поставленную проблему через выявленные характеристики;

2) сформулировать в геометрической постановке проблему, при этом, возможно потребуются сформулировать несколько связанных между собой геометрических задач;

3) оценить перспективные пути решения этих задач;

4) определить, какие дополнительные исследования необходимо провести для получения содержательной информации (уточняющего и/или конкретизирующего характера).

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, геометрический объект, геометрическая модель, методы моделирования, средства моделирования, характеристики.

## PROBLEMATICS ANALYSIS IN INFORMATION- MATHEMATICAL MODELLING

BABICH V. N.<sup>1</sup>, KREMLEV A. G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ural State Mining University

<sup>2</sup>Ural Federal University

**Abstract.** A modern practice of tasks solution of the actual orientation is defined by the high level of application of mathematical modeling methods on the basis of the system analysis of the physical, economic, technological, social and other processes and objects in combination with extensive and high-quality information support.

Such a combined process of the information-mathematical modeling (IMM) allows to:

1) interpret in terms of geometry the assigned task through the revealed characteristics;

2) formulate a task in geometrical statement, at the same time it may demand to formulate several related geometrical tasks;

3) evaluate perspective solutions of these tasks;

4) define additional researches necessary to be conducted in order to obtain substantial information (of a specifying and/or concretizing character).

**Keywords:** geometrical modeling, geometrical object, geometrical model, methods of modeling, characteristic.

Было проанализировано более 250 работ различных авторов по вопросам геометрического моделирования (ГМ), выделению его идентифицирующих признаков (цель, объект, средства и методы, теоретическая значимость и практическое применение).

ние), систематизации теоретических основ ГМ, исследованию взаимосвязей методов геометризации с результатами и методами смежных разделов математики, численными и графоаналитическими методами, компьютерными методами обработки пространственной информации и построения объемных цифровых моделей, методике геометризации объектов инженерной практики, организации ГМ в составе общего процесса ИММ.

Источники информации, раскрывающие указанные аспекты исследования, можно классифицировать по следующим направлениям. Во-первых, это теоретические основы геометрического представления объектов (топологические, морфологические, алгебраические и иные свойства), методы проективной геометрии, параметризации геометрических взаимосвязей и соотношений элементов исследуемого объекта, вопросы аналитического описания геометрических преобразований, алгебраические методы исследования геометрических форм.

К группе данного направления также следует отнести научные статьи, содержащие освещение проблем теории ГМ, предлагаемые способы их решения, перспективные направления исследований, в том числе по разработке новых методов ГМ, направленных на поиск приемлемых (практически реализуемых) решений требуемых разнообразных геометрических задач.

Во-вторых, это источники, в которых представлены различные методы (проективные, алгебраические, вычислительные и др.), позволяющие получить геометрический образ объекта. Эта группа объединяет работы (монографии, методические и практические пособия, электронные источники), содержащие конструктивные способы решения задач геометризации, их обоснование и рекомендации по использованию, практическому применению в инженерной практике.

В-третьих, это источники, включающие работы по информационному обеспечению процесса ГМ, использованию компьютерных технологий, алгоритмизации процедур геометрических операций и преобразований.

#### ***Идентифицирующие признаки ГМ***

ГМ – это вид моделирования и, следовательно, характеризуется определенными признаками, качественно отличающими его от других видов моделирования (например, от макетного моделирования, результатом которого является материальный образец моделируемого объекта, или от формирования символьной модели, представляющей собой описание исследуемого объекта, определенных его свойств на формальном языке). Таким образом, чтобы определить понятия «геометрическое моделирование», «геометрическая модель», необходимо, прежде всего, указать цель данного вида моделирования, специфические свойства этих моделей – результаты ГМ, природу модели, способы образного представления объекта (теоретическую основу этих способов), используемые методы формирования модели, функциональные действия (операции) с моделью.

Далее требуется определить тип информационных данных, характеризующих объект моделирования, указать форму организации этих данных, оценить качество базовой информации, информационную достаточность исходных данных для выполнения процесса ГМ (в соответствии с принятым критерием качества процесса). При этом следует учесть согласованность такого критерия с постановкой (формулированием) геометрической задачи.

Объектом ГМ являются любые объекты и процессы, имеющие визуальное представление в форме изображения на каком-либо носителе или с помощью каких-либо технических средств. ГМ выполняется в целях получения геометрического описания (отображения) реального или проектируемого объекта (оригинала). Причем это описание может быть представлено в виде бинарного файла (содержащего массивы информационных дан-

ных) с помощью средств компьютерной графики, видеоотображений (на экране дисплея), голографических изображений, объемно-пространственных световых композиций и другими способами, при этом итоговый результат процесса ГМ предполагает визуализацию модели. Это позволяет выполнить анализ модели (с позиции исследования моделируемого объекта): осознать объемно-пространственные характеристики объекта, выявить геометрические особенности его формы, оценить количественные отношения элементов модели, установить функциональные зависимости между параметрами модели и их аналитические обобщения, определить конструктивную схему объекта, характеризующую его структуру.

Часто решение геометрических задач происходит в процессе совокупного исследования геометрической и аналитической моделей, а также сопровождается выполнением вычислительных процедур (т. е. выполняется в совместном процессе ИММ). При этом геометрическая модель (первоначально представленная в виде эскиза, простого чертежа, графического описания исходных данных и указанием требуемых определения элементов) может детализироваться, усложняться, включая дополнительные содержательные характеристики (размерные и топологические), полученные в результате такого совокупного исследования. Геометрические элементы объекта «носители определенных характеристик и отношений (размерность, параллельность, ортогональность, подобие, конгруэнтность и т. п.)» рассматриваются во взаимном расположении, взаимосвязи (образуя внутреннюю структуру объекта). Формируя те или иные условия (в геометрических понятиях или в аналитическом смысле, например, в форме оптимизационной задачи), исследователь приступает к поиску решения поставленной (скорректированной) задачи, используя весь доступный ему арсенал средств (аналитических, геометрических, вычислительных), не ограничиваясь лишь методами синтетической геометрии. Эффективность поиска решения существенно зависит от способности использовать преимущества способа описания (представления) исследуемой модели, от умения переходить из одной содержательной оболочки в другую, от качественной интерпретации взаимоотношаемых понятий. Такой синтез способов модельного описания – суть процесса практической реализации ГМ.

### ***Сущность и специфика ГМ***

Теоретическую сущность ГМ можно определить как теорию методов моделирования пространств и многообразий различного числа измерений и различной структуры. Ее методы позволяют развивать, дополнять и уточнять уже разработанные и строить новые геометрические теории, причем имеет место взаимное обогащение геометрии оригинала и геометрии модели в результате перевода известных фактов одной геометрии на язык другой.

Геометрическая модель – это представление (изображение) рассматриваемого объекта исследования с помощью геометрических понятий. Геометрическое описание объектов инженерной практики выполняется на основе начертательной геометрии, проективной геометрии, аналитической геометрии, а также с использованием графоаналитических методов конструирования поверхностей технических форм.

При этом геометрическая модель инженерного объекта должна однозначно представлять геометрию (форму) и количественную характеристику объекта. Геометрическая модель включает и математическое описание (размеры, функции контуров, параметры гладкости поверхности объекта, локальные характеристики поверхности и контуров: векторы нормалей, значения кривизны и т. д.), а также интегральные характеристики модели (объем, площадь поверхности, моменты инерции и т. д.). Эти характеристики могут явно не задаваться, но должны вычисляться по математическому описанию. Формирование математического описания и использование (обработка в «геометрическом плане») аналитической информации выполняется на основе дифференциальной геометрии (изучающей линии и поверхности, задаваемые дифференцируемыми функциями, а также их отображения; при этом применяются средства дифференциаль-

ного исчисления), алгебраической геометрии (изучающей свойства алгебраических кривых и поверхностей, как плоских, так и пространственных).

Применение ЭВМ позволило сочетать ГМ и вычислительную геометрию с использованием векторного (аналитического) описания геометрической информации.

Литературно-аналитический обзор по теме исследования показал, что:

– ГМ как метод получения геометрического представления объекта является важнейшей частью как теоретических исследований по вопросам формообразования, топологии и морфологии объектов, так и решения практических задач проектирования;

– процесс геометризации является составной частью интеграционного процесса ИММ, включающего математическую формализацию описания исследуемого или проектируемого объекта на основе скоординированной, внутренне согласованной и системно достаточной информации об объекте;

– геометризация объекта направлена, прежде всего, на получение визуального образа (визуализации) исследуемого или проектируемого объекта, при этом важнейшим способом представления является компьютерный способ – видеоотображение (на экране дисплея), сохранение в виде бинарного файла, связанного с информационной базой данных, описывающих геометрическую модель объекта;

– информационные технологии и программные средства компьютерной графики позволяют сделать процесс визуализации исследуемого или проектируемого объекта более оперативным, содержательным и убедительным;

– компьютерная визуализация обеспечивает наглядность представления исследуемого объекта, является средством поиска, анализа и принятия продуманного решения функциональных, конструктивных, эксплуатационных и других задач инженерной практики.

Специфичность средств и методов ГМ дополняется особенностями постановки задач ГМ, которые можно охарактеризовать с позиций:

– теоретического исследования (получение новых знаний об объекте, отражающих как геометрические отношения, так и функционально-процессуальные свойства);

– конструктивно-технологического проектирования (геометрический смысл оптимизационных критериев и оценочных параметров, геометризация целевых установок прототипирования);

– передачи знаний (образное представление геометрических объектов, геометрический язык описания признаков, свойств и отношений).

### **Методы ГМ**

Классифицировать методы ГМ можно по отношению:

– к способам описания (задания) геометрических моделей (объектов);

– к способам формирования геометрических моделей;

– к средствам моделирования;

– к целям моделирования (с позиции конечного результата);

– к моделируемой характеристике (ее сущности, отражаемой в модели);

– к виду модели.

Можно определить следующие способы описания геометрических моделей:

– аналитический способ – через задание функциональных зависимостей, алгебраических выражений, теоретико-множественных отношений, результатов итерационных и рекурсивных процедур, иных символьных формализаций (аналитического типа);

– численный способ – через задание числовых массивов (например, координатных значений базовых точек объекта);

– графический способ – через задание геометро-графического (ГГ) изображения объекта (например, проекционное отображение объекта, используемое в начертательной геометрии);

– информационный способ – через задание бинарного представления, допускающего машинную обработку (например, растровое или воксельное представление, в виде структуры данных).

Аналитическое (а также и численное) описание геометрической модели формируется на основании геометрического значения функциональных и алгебраических выражений (уравнений, неравенств, отношений). Геометрическое значение аналитического описания – суть геометрическая интерпретация аналитических (формальных, символьных) понятий.

Геометрическое представление объекта выполняется с помощью идеализированных форм (геометрических абстракций), которые сами являются моделями. Поэтому графический способ предполагает конструктивное представление (отображение) объекта с помощью некоторого проецирующего аппарата (определяющего процедуру формирования модели), причем операции выполняются с геометрическими многообразиями в некоторых абстрактных пространствах.

Структуры данных, используемые для информационного описания объемных тел, представляются в виде:

– дерева, описывающего историю (последовательность) применения булевских операций (и других трансформаций и операций, например, перенос, поворот, масштабирование) к конкретным графическим примитивам, т. е. здесь дерево состоит из операций и базовых примитивов (корень – результат моделирования, листья – базовые примитивы);

– таблицы, содержащей сведения о границах объема - вершинах, ребрах, гранях и их соединении друг с другом (граничным представлением).

Древообразное представление определяет конструктивную геометризацию на основе ручного моделирования в среде соответствующего программного приложения в соответствии с указанной структурой данных, т. е. последовательным выполнением операций по комбинированию базовых графических примитивов (из описанного набора). При этом способе представления хорошо описывается объем и поверхность, непрерывность, связность, качественность визуализации.

Граничное представление определяет аппроксимацию поверхности объекта, при этом возможны различные способы аппроксимации, основанные на различных структурах данных:

– заданы координаты вершин и указаны грани, каждая грань – это полигон, состоящий из последовательности координат вершин, модель определяется набором граней;

– заданы вершины (через координаты) и ребра (через вершины), грани определяются через ребра.

Грани могут представлять собой куски криволинейной поверхности, которые следует аппроксимировать (например, плоскостями или квадратами). Тогда ребра – это кривые, по которым пересекаются грани. Дополнительно могут указываться локальные характеристики в точках сопряжения.

### ***Проблематика теории ГМ***

На основе терминологического анализа показано, что использование термина «геометрическое моделирование» и связанных с ним понятий («геометрический объект», «геометрическая модель», «проекционное моделирование», «геометризация», «геометрический образ», «геометро-графическое представление») трактуются в разных интерпретациях и конкретизируются по мере надобности, в соответствии с целями и условиями поставленной задачи.

Под геометрическим моделированием понимают, «во-первых, переход от реального объекта к его геометрическому описанию (представлению), во-вторых, последу-

ющее проекционное моделирование, имеющее целью обеспечить передачу информации, облегчить наблюдение, анализ, расчет, познание изучаемого объекта» [1].

Геометрическое моделирование определяется как «совокупность операций и процедур, включающих формирование геометрической модели объекта и ее преобразования с целью получения желаемого изображения объекта и определения его геометрических свойств [2].

Геометрическое моделирование «изучает методы построения кривых линий, поверхностей и твердых тел, методы выполнения над ними различных операций и методы управления численными моделями» [3].

Геометрическое моделирование - как процесс создания электронной модели проектируемого объекта и ее визуализации (графического отображения объекта на экране компьютера).

Геометрическое моделирование относят к виду математического моделирования, хотя символичный язык математических описаний (аналитическое или численное представление) принципиально отличается от геометрического языка (визуально-образное представление на основе геометрических абстракций). В связи с этим предлагается под геометрическим моделированием «понимать системообразующий раздел геометрии, изучающий пространственные формы, их взаимодействие, соотношение и технологию создания геометрических моделей, позволяющих осуществлять исследование и изготовление объекта моделирования. Предметным языком геометрического моделирования является визуально-образный (геометрический) язык» [4.]

Проблемы геометризации реальных или проектируемых объектов определяются особенностями геометрического моделирования, используемыми подходами к формированию геометрических моделей, применяемыми способами геометрического описания объектов, возможностью алгоритмизации процедур геометрических операций и способностью создания специализированных компьютерных технологий, позволяющих эффективно обрабатывать геометрическую информацию.

Особенно важен вопрос дальнейшей разработки средств компьютерной визуализации, позволяющих оперативно и качественно представить на экране формируемую геометрическую модель объекта с возможностью вывода соответствующей (требуемой) аналитической информации. При этом необходимо выработать критерии для формулировки геометрической задачи виртуального моделирования (описания геометрии модели объекта), даже целую систему критериев, согласованных по целевым установкам.

Особенности компьютерной визуализации объектов ГМ выявляются как на этапе подготовки, так и в процессе визуализации и определяются совокупностью факторов, влияющих на выбор способа визуализации (типа представления геометрической модели), конкретизацию характеристик (параметров), отражающих качество визуализации, форму (тип описания) и содержание представляемой информации, которая может быть (или должна быть) получена из визуализированной модели. Все эти факторы связаны между собой, взаимозависимы.

Для перехода на новый уровень геометрического моделирования требуется как совершенствование методологии геометризации (теоретических основ и практических методов), так и формирование пространственно-конструктивного мышления проектантов (инженера, архитектора и других лиц, профессионально занимающихся проектированием), включающего в себя владение визуально-образным геометрическим языком и компьютерными технологиями геометрического моделирования объектов.

Разработка новых эффективных методов исследования и конструирования многообразий различного числа измерений и различной структуры возможна только при наличии тесной взаимосвязи современных методов косоугольного/криволинейного проектирования с классическими методами алгебраической геометрии.

### Список литературы

1. Вальков К.И., Дралин Б.И., Клементьев В.Ю. и др. Начертательная геометрия. Инженерная и машинная графика. М.: Высш. Шк., 1997. – 496с.
2. Системы автоматизированного проектирования: В 9 кн. Иллюстрированный словарь: учеб. пособие для вузов / Д.М. Жук, П.К. Кузьмик, В.В. Маничев и др. Под ред И.П. Норенкова. М.: Высш. Школа, 1986.
3. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. М: Изд-во Физматлит, 2002. – 472с.
4. Рукавишников В.А. Геометрическое моделирование как методологическая основа подготовки инженера. Казань: Изд-во Казан. Гос. Ун-та, 2003. – 32с.

УДК 512.7

## ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ЦЕЛОЙ РАЗМЕРНОСТИ

БАБИЧ В. Н., СИРАЗУТДИНОВА Н. Б.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** Начертательная геометрия занимается изучением взаимно однозначных и взаимно непрерывных отображений. Основным инвариантом таких отображений является размерность. Понятие размерности служит важным рабочим инструментом для начертательной геометрии. Статья посвящена различным приемам подсчета размерности геометрических многообразий на примерах неточечных многообразий обычного пространства.

**Ключевые слова:** размерность, множества, элементы множества, группа, бесконечные множества, иерархия, отображение, факторизация и др.

## GENERAL CONCEPTS ABOUT THE WHOLE DIMENSION

BABICH V. N., SIRAZUTDINOVA N. B.

Ural State Mining University

**Abstract.** The descriptive geometry is engaged in studying of biunique and mutually continuous displays. The main invariant of such reflections is the dimension. The term of dimension serves as an important working instrument for descriptive geometry. The article is devoted to various methods of calculation of geometrical variety dimension on examples of not-dotted varieties of usual space.

**Keywords:** dimension, sets, set elements, group, infinite sets, hierarchy, reflection, factorization, etc.

Определить, что такое размерность (число измерений) фигуры, пытались многие математики. Окончательное выяснение смысла этого понятия и создание теории размерности является заслугой замечательного советского математика П. С. Урысона. Мы будем понимать под размерностью число  $n$  измерений геометрической фигуры (линии, поверхности и т. п.).

Известно, что конечные множества можно сравнивать между собой по числу элементов. Пусть в аудитории число посадочных мест для студентов  $M = 30$ . На практические занятия приходит группа  $C$  и рассаживается. Если оказалось, что несколько посадочных мест пустует, - это означает, что присутствующих студентов меньше тридцати. Такое заключение мы делаем из следующих соображений: поскольку отображение  $C$  на  $M_c$ , (где  $M_c$  - множество занятых студентами мест в аудитории) взаимно однозначно, т. е. множества  $C$  и  $M_c$  содержат одинаковое количество элементов, а свободные места остались, можно сделать вывод, что в множестве  $M$  больше элементов, чем в  $C$ .

В случае бесконечных множеств вопрос «Где больше элементов?» приводит нас к понятию размерности. Конечно, мы представляем, что на плоскости точек «больше», чем на прямой, а на поверхности точек «меньше», чем в пространстве.

В самом деле, прямая может быть «вложена» в плоскость, т. е. совмещена с некоторой прямой на плоскости. Тем самым будет задано взаимно однозначное отображение множества точек прямой на какое-то подмножество множества точек на плоскости. Рассуждая аналогично, мы можем сказать, что поверхность - подмножество в пространстве и поэтому она содержит «меньше» точек, чем пространство.

Таким образом, среди бесконечных множеств существует своя *иерархия*. Несколько упрощая, мы можем сказать: если два множества можно взаимно однозначно и взаимно непрерывно отобразить друг на друга, то эти множества будут иметь *одинаковую размерность*. Если же такого отображения не существует, но существует взаимно однозначное и взаимно непрерывное отображение одного множества на подмножество другого множества, то говорят, что первое множество имеет размерность меньше, чем второе.

Известно, что *линия (в частности, прямая) - одномерное множество, поверхность (плоскость) - двумерное множество, а пространство - трехмерное множество точек. Множества, содержащие конечное число элементов, называют нульмерными.*

Понятие многомерного точечного множества -  $n$ -мерного пространства,  $m$ -мерной плоскости в таком пространстве - довольно абстрактно. Но оказывается, что в обычном евклидовом пространстве повсюду встречаются многомерные множества. Например, множество сфер и множество прямых пространства четырехмерны, множество коник (кривых второго порядка) на плоскости - пятимерное, множество тетраэдров пространства - двенадцатимерное и т. д. Далее осваивать понятие размерности мы будем на конкретных примерах.

Отметим, что выражение « $n$ -мерное множество» примерно эквивалентно выражениям «множество размерности  $n$ », «множество (многообразие, семейство)  $n$ -измерений», « $n$ -параметрическое множество», «множество, элемент которого имеет  $n$  степеней свободы», «множество, содержащее  $\infty^n$  членов элементов», «множество  $n$ -й степени». Употребляется также запись  $\dim N = n$ , означающая, что «размерность множества  $N$  равна  $n$ » (англ. *dimension* – размерность) [1–4].

### **Примеры различных многообразий**

Здесь мы рассмотрим ряд простых примеров, в которых размерность не превышает трех. В каждом из этих примеров мы будем строить взаимно однозначное (взаимная непрерывность сохраняется) отображение рассматриваемого множества на эталон множества соответствующей размерности - прямую, плоскость, пространство или на множество, размерность которого мы уже установили, - и говорить, что рассматриваемое множество имеет ту же размерность.

С помощью обычных декартовых координат прямая, плоскость и пространство взаимно однозначно отображаются на множества вещественных чисел, пар вещественных чисел, троек вещественных чисел. Эти числовые множества  $R$ ,  $R^2$  (декартов квадрат) и  $R^3$  (декартов куб) имеют, таким образом, размерности 1, 2 и 3 соответственно.

За эталон  $n$ -мерного множества принимают множество  $R^n$ , элементом которого служит  $n$ -ка (читается «энка») вещественных чисел  $(a_1, a_2; \dots a_n)$ , т. е.  $n$ -я декартова степень множества  $R$  вещественных чисел.

### **Примеры одномерных множеств**

*Пучок прямых* (на плоскости) – одномерное множество. Проведем по плоскости пучка произвольную прямую, не проходящую через его центр, и поставим в соответствие всем прямым пучка точки их пересечения с этой прямой. Такое отображение (се-

чение) взаимно однозначно, т. е. обратимо и непрерывно. Поэтому пучок имеет ту же размерность, что и прямая, т. е. пучок - это однопараметрическое множество прямых.

*Пучок плоскостей* – также одномерное множество. Плоскости пучка отображаем на точки их пересечения с произвольной прямой, не проходящей через ось пучка. Таким образом, размерность пучка плоскостей также равна единице.

*Множество касательных к кривой* - однопараметрическое множество. Каждой касательной ставится в соответствие точка кривой, т. е., как и точки кривой, касательные зависят от одного параметра.

*Параболический пучок сфер* – семейство сфер, касающихся данной плоскости  $\alpha$  в данной точке  $A$ . Сфер в пучке столько же, сколько точек на прямой, проходящей через точку  $A$  и перпендикулярной к плоскости  $\alpha$ , которые являются центрами сфер.

*Эллиптический пучок окружностей* - однопараметрическое семейство окружностей на плоскости, проходящих через две данные точки. Центры этого пучка окружностей лежат на прямой, перпендикулярной к середине отрезка заданных точек.

### **Примеры двумерных множеств**

*Связка прямых* – двухпараметрическое множество прямых. Каждой прямой связки ставится в соответствие одна точка плоскости, не проходящей через центр связки, и любой точке этой плоскости ставится в соответствие ровно одна прямая связки.

*Связка плоскостей* – двухпараметрическое множество. Плоскостям этой связки ставим в соответствие прямые, перпендикулярные к ним, которые образуют связку прямых.

*Плоское поле прямых* – множество прямых плоскости. Оно содержит двухпараметрическое множество прямых. Каждой прямой плоскости ставится в соответствие одна плоскость связки плоскостей.

*Множество касательных плоскостей к поверхности* двумерно. Каждой плоскости ставим в соответствие ее точку касания. Развертывающиеся поверхности представляют здесь исключение. У такой поверхности роль точек касания выполняет прямолинейная образующая этой поверхности.

*Окружности на плоскости, проходящие через фиксированную точку*, определяются двумя параметрами. Каждой окружности можно поставить в соответствие произвольную точку плоскости, являющуюся ее центром.

*Окружности на плоскости, касающиеся данной прямой*, имеют две степени свободы.

### **Примеры трехмерных множеств**

*Плоскостей в пространстве* - трехпараметрическое множество. Каждой точке ставим в соответствие основание перпендикуляра, опущенного на нее из некоторой фиксированной точки  $P$ . Это соответствие  $M \rightarrow N$ , где  $M$  - множество плоскостей пространства, а  $N$  - множество точек пространства, будет строго взаимно однозначным только в том случае, если из  $N$  выбросить точку  $P$ , а из  $M$  - связку  $\pi$  плоскостей, проходящих через  $P$ . Но поскольку  $\dim N = 3$  и  $\dim P = 0$ , то  $\dim (N \setminus P) = 3$ , и поскольку  $\dim (M \setminus \pi) = 1$  и  $\dim \pi = 2$ , то  $\dim M = 3$ .

*Специальный линейный комплекс прямых с осью  $q$*  – трехпараметрическое множество прямых, пересекающих прямую  $g$  - ось комплекса. Прямой комплекса ставится в соответствие плоскость пространства. Но поскольку размерность всех плоскостей пространства - трехпараметрическое множество, то и прямых в специальном линейном комплексе также трехпараметрическое множество.

*Сфер, проходящих через данную точку*, – трехпараметрическое множество. Отображение: сфера однозначно определяется этой точкой и ее центром, на который тратится три параметра (три координаты определяют точку в пространстве).

*Сфер, касающихся данной плоскости*, – трехпараметрическое множество.

*Окружностей на плоскости* – трехпараметрическое множество. Любые три неколлинейные точки однозначно определяют ориентированную окружность.

*Множество пар точек на прямых пучка* – трехпараметрическое множество, в силу взаимной однозначности отображения Монжа.

*Множество поворотов плоскости* трехмерно в силу взаимной однозначности отображения, в котором эти повороты служат образами точек пространства.

Однако для каждого из рассмотренных многообразий можно подобрать и другие отображения - результат при этом не изменится. Например, параметрами плоскости в пространстве можно считать длины отрезков, отсекаемых ею на координатных осях.

*Многомерные неточечные множества*

*Множество сфер в пространстве* – четырехпараметрическое множество, так как каждой сфере соответствуют четыре числа: три координаты ее центра и длина радиуса.

*Линейчатое пространство, или множество всех прямых пространства*, содержит четырехпараметрическое множество прямых. Прямая в пространстве определяется двумя точками, на каждую из которых тратится по три параметра. Однако построенная прямая содержит в себе еще двухпараметрическое множество пар точек, лежащих на этой прямой. Следовательно, прямая в пространстве определяется  $\infty^6/\infty^2 = \infty^4$ .

*Цилиндр вращения* определяется пятью параметрами: четыре числа задают ось и одно - радиус.

*Треугольников общего вида в пространстве* –  $\infty^9$ , поскольку треугольник определяется тремя его вершинами, на каждую из которых приходится по три параметра. Аналогично тетраэдров общего вида в пространстве –  $\infty^{12}$ .

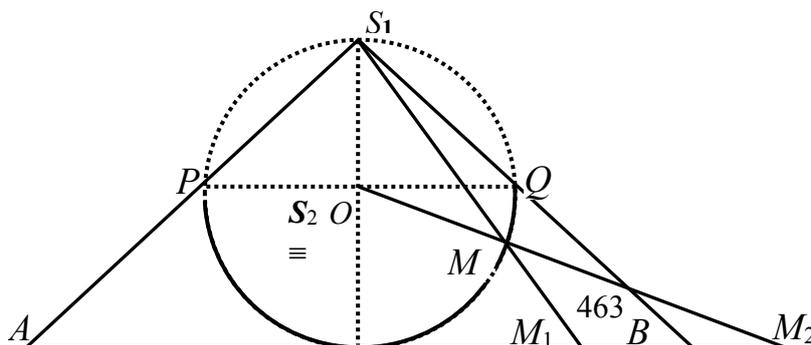
*Повороты пространства* зависят от пяти параметров: четыре числа задают ось поворота и одно - угол поворота.

*Конус вращения* определяется шестью параметрами: четыре числа задают его ось, одно число - положение вершины на оси, и одно - угол наклона образующей к этой оси.

Обычно для ускорения подсчета параметров пользуются различными приемами, представляющими собой разновидности основного способа, состоящего в отображении рассматриваемого множества на эталон.

**Замечание 1.** Для бесконечных множеств имеет место факт, кажущийся на первый взгляд парадоксальным, поскольку он не имеет аналогий в случае конечных множеств. Речь идет о том, что *некоторые собственные подмножества бесконечного множества можно взаимно однозначно отобразить на это множество*.

Для примера рассмотрим отображение открытого отрезка  $AB$  (открытый отрезок – это «отрезок без концов», т. е. множество точек, координаты которых удовлетворяют неравенствам  $a < x < b$ ; (если  $a \leq x \leq b$ , то отрезок называется замкнутым на прямую  $AB$ ), представляющее собой произведение двух проецирований и двух сечений. Пусть открытая полуокружность  $PQ$  с центром  $O$  касается отрезка  $AB$ , причем точка касания является серединой отрезка и серединой полуокружности (рис. 1).



Точку  $M_1$  отрезка проецируем из точки  $S_1$ , взятой на перпендикуляре к середине отрезка  $AB$ . Причем точка  $S_1$  будет находиться на пересечении прямых  $AP$  и  $BQ$ . По-

Рис. 1. Отображение открытого отрезка на прямую

лученную точку  $M_1$ , принадлежащую полуокружности, спроецируем из центра  $O \equiv S_2$  в точку  $M_2$  на отрезок прямой  $AB$ . Полученное отображение обратимое и непрерывное, и поэтому отрезок имеет ту же размерность 1, что и содержащая его прямая (следовательно, одномерным множеством точек является и полуокружность). Если центр проекций  $S_1$  поместить в точку  $O$ , получим отображение полупрямой (луча) на прямую, то есть полупрямая также есть одномерное множество точек.

Представленные рассуждения можно обобщить на кривую линию или ее дугу. Таким образом, *кривая линия (дуга кривой) – это одномерное множество точек; и наоборот: одномерное множество точек – это линия.*

Аналогично двумерными точечными многообразиями являются полуплоскости и полуповерхности, часть поверхности (например, треугольник, квадрат), вообще любая геометрическая фигура.

Аналогично трехмерными точечными многообразиями являются полупространство, «четверть пространства» и т. п., пирамида, шар, куб, вообще любое геометрическое тело.

**Замечание 2.** *Размерность объединения (суммы) нескольких множеств принимают равной максимальной из размерностей слагаемых.*

Иначе говоря, размерность множества не увеличивается, если к нему прибавить множество меньшей или той же размерности. Например, пусть  $M$  - проективная плоскость, полученная из обычной плоскости добавлением несобственной (бесконечно удаленной) прямой. Размерность полученной проективной плоскости при этом не изменится [2].

**Факторизация множества определителей.** Еще один прием подсчета параметров связан с заданием элемента, принадлежащего множеству, элементами каких-то других (сопровождающих) многообразий, например: прямую в пространстве можно задать: а) парой ее точек, б) ее точкой и параллельной ей прямой, в) пересекающимися плоскостями и т. п.; плоскость в пространстве можно задать: а) тройкой точек, б) точкой и прямой, не проходящей через эту точку, в) парой пересекающихся прямых и т. п.; сферу в пространстве можно задать: а) центром и точкой, б) центром и касательной плоскостью, в) четверкой некопланарных (не лежащих в одной плоскости) точек, г) диаметром и т. п.; цилиндр вращения в пространстве можно задать: а) осью и образующей, б) тройкой образующих и т. п.; гомотетию в пространстве можно задать: а) центром и парой соответствующих точек, коллинейных с центром, б) центром и парой соответствующих параллельных плоскостей и т. п. Назовем *определителем* элемента многообразия  $M$  набор каких-то геометрических объектов, задающий конечное число элементов из множества  $M$ . Во всех вышеприведенных примерах это число равно единице – в этом случае мы будем называть определитель *однозначным*. Существуют и многозначные определители, например: пара точек и касательная двузачно определяют окружность на плоскости. Что касается однозначных определителей, то на множестве определителей всех элементов из множества  $M$  (элементом множества является определитель!), которое мы обозначим  $O$ , естественным образом возникает отношение эквивалентности, а именно  $O_1 \sim O_2$ , если определители  $O_1, O_2 \in O$  задают один и тот же элемент  $a \in M$ . Множество  $O$ , таким образом, распадается на классы эквивалентности: каждый класс  $E$  содержит определители одного и того же элемента  $a \in M$ . Поэтому, если  $O$  определяется  $\infty^n$ , а  $E$  –  $\infty^m$  определителей, то классов эквивалентности будет  $\infty^{n-m}$ . Но каждому классу соответствует тот элемент из множества  $M$ , который задается определителями, входящими в этот класс, т. е. имеет место естественное взаимно однозначное отображение многообразия  $M$  на множество классов эквивалентности, т. е. фактормножество множества  $O$  по отношению к классу эквивалентности. Поэтому размерность множества  $M$  равна размерности этого фактормножества, т. е.  $n - m$ , где  $n = \dim O$ ,  $m = \dim E$ ,  $\dim M = \dim O - \dim E$ . Таким образом, задача нахождения размерности многообразия  $M$  сводится к нахождению размерности  $m$  мно-

жества  $E$  определителей одного элемента  $a \in M$  и размерности  $n$  множества  $O$  всех определителей.

Рассмотрим множество  $M$  прямых пространства. Обозначим  $O$  - множество пар точек пространства;  $\dim O = 6$ .  $E$  - множество пар точек прямой;  $\dim E = 2$ . Таким образом, размерность множества  $M$  равна  $\dim M = 6 - 2 = 4$ .

Другой определитель для подсчета параметров прямых пространства. Элементом множества  $O$  является пара «точка пространства плюс прямая пространства»;  $\dim O = 3 + 4 = 7$ . Элементом множества  $E$  является пара «точка прямой плюс прямая связи», размерность которого равна  $\dim E = 1 + 2 = 3$ . Тогда размерность множества  $M$  равна  $\dim M = 7 - 3 = 4$ .

Еще один определитель для подсчета параметров прямых пространства. Элементом множества  $O$  является тройка «точка пространства плюс прямая, пересекающая данную точку, плюс прямая, пересекающая данную прямую». Размерность многообразия  $E$  равна  $\dim E = 1 + 3 + 3 = 7$ . Таким образом, размерность множества  $M$  равна  $\dim M = 11 - 7 = 4$ .

### ***Множество плоскостей пространства***

Рассмотрим множество троек точек пространства;  $\dim O = 9$  так как каждая точка пространства задается тремя параметрами, следовательно, для задания трех точек необходимо девять параметров. Однако эта плоскость содержит в себе любую другую тройку точек, на каждую из которых приходится по два параметра (точка на плоскости определяется двумя параметрами), значит, множество троек точек на плоскости определяется шестью параметрами. Таким образом, размерность множества плоскостей пространства  $\dim M = 9 - 6 = 3$ .

Или другой определитель подсчета параметров плоскостей пространства. Элементом множества  $O$  является пара «точка пространства плюс прямая пространства»; размерность этого множества равна размерности множества точек пространства плюс размерность прямых пространства  $\dim O = 4 + 3 = 7$ . Элементом множества  $E$  служит пара «точка плоскости плюс прямая плоскости», которые на плоскости задаются двумя параметрами, т. е.  $\dim E = 2 + 2 = 4$ . Следовательно, размерность множества плоскостей пространства  $\dim M = 7 - 4 = 3$ .

Еще один определитель для подсчета параметров множества плоскостей пространства. Элемент множества  $O$  – пара «прямая пространства плюс прямая, пересекающая эту прямую», следовательно, размерность этого множества равна размерности множества прямых пространства плюс размерность прямых, пересекающих заданную прямую  $\dim O = 4 + 3 = 7$ . Однако эта плоскость содержит в себе пару пересекающихся прямых, размерность которых равна  $\dim E = 2 + 2 = 4$ . Таким образом, размерность множества плоскостей пространства равна  $\dim M = 7 - 4 = 3$ .

### ***Множество сфер пространства***

Допустим, есть множество пар точек пространства, каждая из которых определяется тремя параметрами;  $\dim O = 3 + 3 = 6$ . Однако множество  $O$  содержит также множество пар «центр сферы плюс точка сферы». Ее размерность равна  $\dim E = 0 + 2 = 2$ . Следовательно, размерность множества сфер пространства равна  $\dim M = 6 - 2 = 4$ .

Существует и другой определитель сфер для подсчета параметров множества сфер пространства.

Пусть  $O$  – множество пар «точка пространства плюс плоскость пространства», его размерность равна размерности точки пространства плюс размерность плоскости пространства, т. е.  $\dim O = 3 + 3 = 6$ . Однако множество пар «центр сферы плюс касательная плоскость к сфере» имеет размерность  $\dim E = 0 + 2 = 2$ . Таким образом, размерность множества сфер пространства равна  $\dim M = 6 - 2 = 4$ .

Еще один определитель сфер для подсчета параметров. Если  $O$  – множество четверок точек пространства, не принадлежащих (не компланарных) одной плоскости, на каждую из которых тратится по три параметра, то, следовательно, размерность

$\dim O = 3 \cdot 4 = 12$ . Однако это множество содержит любую другую четверку точек сферы, на каждую из которых тратится по два параметра. Таким образом, размерность множества четверок точек сферы равна  $\dim E = 2 \cdot 4 = 8$ . Тогда размерность множества сфер пространства равна  $\dim M = 12 - 8 = 4$ .

Следует помнить, что объекты, из которых составлен определитель, т. е. его компоненты, могут быть независимыми, а могут быть и связаны между собой. Иногда эта связь настолько очевидна, что ее не оговаривают, например параллельность оси и образующей цилиндра вращения. Такие случаи наиболее «опасны» при подсчете параметров, так как, забыв о такой связи, мы получим неверный результат.

#### *Множество цилиндров вращения*

Элемент  $O$  есть пара параллельных прямых пространства, ее размерность равна размерности прямой пространства плюс размерность связки параллельных прямых, т. е.  $\dim O = 4 + 2 = 6$ . Элемент  $E$  есть пара «ось цилиндра плюс образующая цилиндра», ее размерность равна  $\dim E = 0 + 1 = 1$ . Таким образом, размерность множества цилиндров вращения равна  $\dim M = 6 - 1 = 5$ .

Другой определитель множества цилиндров вращения. Пусть элемент  $O$  есть тройка параллельных прямых пространства, которые определяются размерностью прямой пространства плюс размерность двух параллельных прямых, т. е.

$\dim O = 4 + 2 + 2 = 8$ . Элементом  $E$  в этом случае является тройка образующих цилиндра, каждая из которых обусловлена одним параметром, т. е.  $\dim E = 1 + 1 + 1 = 3$ . Следовательно, размерность множества цилиндров вращения равна  $\dim M = 8 - 3 = 5$ .

### Список литературы

1. Вальков К.И. Лекции по основам геометрического моделирования. Л., Изд-во Ленингр. ун-та: 1995. – 180с.
2. Пеклич В.А. Высшая начертательная геометрия. М: изд-во АСВ, 2000. – 344с.
3. Бабич В.Н. Геометрическое моделирование.- Екатеринбург; Изд-во УГГУ, 2010. - 221с.
4. Волков В.Я. Теория параметризации и моделирования геометрических объектов многомерных пространств и их приложения: дис. ... д-ра техн. Наук. М., 1983.

УДК 514.18

## ХАРАКТЕРИСТИКА Л. ЭЙЛЕРА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ГРАФОВ

САМОХВАЛОВ Ю. И.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Идея многомерных пространств и их геометрий возникла в XIX веке. В XX веке эта тема разрабатывалась очень интенсивно многими учеными и геометрическими школами. В настоящей работе автор излагает некоторые мысли по этой теме, используя метод геометрической индукции.

**Ключевые слова:** геометрические модели, четырехмерное пространство, геометрическая индукция, метод заматания, симплекс, гиперэлемент, композиция, характеристика Эйлера.

### L. EULER'S CHARACTERISTIC FOR VARIOUS FORMS OF COUNTS

SAMOHVALOV Yu. I.

Ural State Mining University

**Abstract.** The idea of multidimensional spaces and their geometry has arisen in the 19th century. In the 20th century this subject was developed by very intensively many scientists and geometrical

schools. In the real work the author states some thoughts on this subject, using a method of geometrical induction.

**Keywords:** geometrical models, four-dimensional space, geometrical induction, sweeping method, simplex, hyper element, composition, Euler's characteristic.

Геометрические модели пространства основной метод изучения реального трехмерного мира видимого или невидимого. В этой работе ставится задача построить геометрические модели пространств числа измерения больше трех. В геометрии хорошо известны геометрические модели нульмерного пространства ( $R_0$ ), одномерного ( $R_1$ ), двухмерного ( $R_2$ ) и трехмерного ( $R_3$ ). Последовательность или ряд этих моделей (1) представлены в виде последовательности:

$$R_0, R_1, R_2, R_3 \dots \quad (1)$$

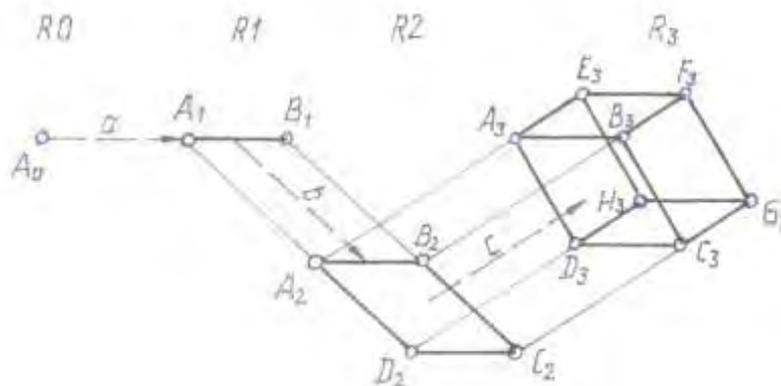
Если  $R_4$  – четырехмерное пространство, то оно должно стоять за  $R_3$ , если это ряд, то  $R_4$  должно содержать все или большинство свойств предыдущих пространств и алгоритмов решения аналогичных задач.

Фактически у нас нет никакой информации о реальном четырехмерном пространстве и даже его существовании. Нет никакой информации или мы ее не воспринимаем, в любом случае наука не может категорически отрицать существование  $R_4$  в реальности, но нет также оснований и утверждать его наличие.

Известный ряд (1) и его продолжение  $R_4, R_5, \dots$  должны содержать идентичные закономерности, связывающие свойства, алгоритмы, иными словами, нужно разработать индукцию ряда (1) и построить модели пространств  $R_4, R_5, \dots$  на основе этой индукции.

Первая идея индукции появилась в XIX веке [1] это довольно наивная методика называется «заметание».

Метод «заметания» напоминает кинематический метод построения кривых линий и поверхностей.



**Рис. 1. Метод «заметания»**

Алгоритм метода «заметания»:

- 1) точка  $A_0$  определяет нульмерное пространство  $R_0$ , эта же точка является симплексом пространства  $R_0$  –  $C_1$  и гиперэлементом  $H_1$ ;
- 2) точка  $A_0$  перемещаясь по направлению  $a$ , замечает прямую линию  $A_1B_1$ . Отрезок  $A_1 - B_1$  определяет одномерное пространство  $R_1$  и является симплексом этого пространства –  $C_1$ . Прямая  $A_1 - B_1$  является также гиперэлементом  $H_2$  пространства  $R_1$ ;

3) гиперэлемент  $H_1$  перемещается по направлению  $b$  и замечает плоскость или двумерное пространство  $R_2$ . Гиперэлемент  $H_2$  при заметании покрывает всю плоскость  $A_2B_2C_2D_2$ , а сама фигура  $A_2B_2C_2D_2$  является симплексом пространства  $R_2$ ;

4) гиперэлемент  $H_2$  перемещаясь по направлению  $c$  замечает все пространство  $R_3$ , гиперэлемент  $H_3$  покрывает также все пространство  $R_3$ , а гексаэдр  $A_3B_3C_3D_3E_3F_3G_3H_3$  является симплексом  $R_3$ ;

5) продолжать этот процесс с  $R_3$  не имеет смысла, поскольку  $R_3$  пространство простирается бесконечно, а выйти за пределы бесконечности просто невозможно. Таки образом, построить  $R_4$  методом заметания невозможно, однако в [2] (гл. 22. § 3) сделана попытка построить политоп – гиперкуб на основе гексаэдра  $A_3B_3C_3D_3E_3F_3G_3H_3$ , замещающего пространство  $R_4$ , но заметания  $R_4$  как – то не просматривается, зато построение гиперногогранников доведено до ячеек (120 - ячейка, 600 –ячейка). Но до четырехмерного пространства дело не дошло.

6) Ряд геометрических пространств  $R_0, - R_6, \dots$

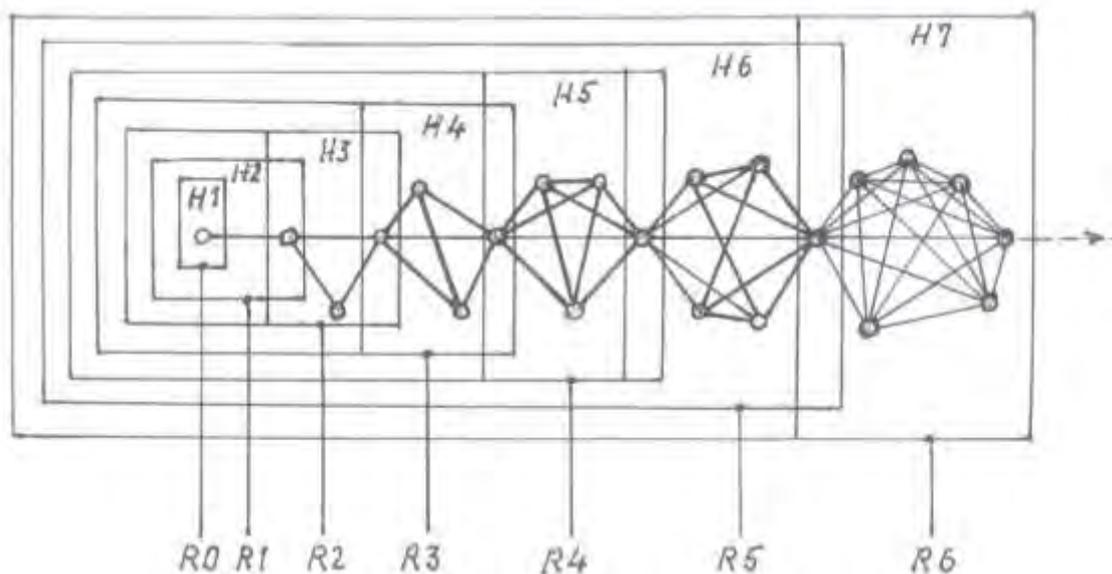
7) Гиперэлементы  $H_1, \dots H_7, \dots$

8) Симплексы  $C_1, \dots C_7, \dots$

9)  $R_0$  – нульмерное геометрическое пространство

10)  $H_1$  – гиперэлемент объёмлющий пространство (точка)

11)  $C_1$  – симплекс пространства  $R_0$  (точка)



**Рис. 2. Схема коммутации геометрических пространств  $R_0, - R_6, \dots$**

Точка в нульмерном пространстве представляется в трех ипостасях  $H_1 = R_0 = C_1$ .

$R_1$  – одномерное геометрическое пространство

$H_2$  – гиперэлемент – прямая линия (кривая) бесконечная, непрерывная, однородная не содержит никаких прочих геометрических элементов

$C_2$  – симплекс пространства – композиция отрезка и двух точек – концов отрезка

$R_2$  – двумерное геометрическое пространство

$H_3$  – гиперэлемент – плоскость (поверхность) (далее см.  $H_2$ )

$C_3$  – симплекс пространства треугольник (композиция трех вершин, трех ребер и отсека плоскости)

R3 – трехмерное геометрическое пространство

H4 – гиперэлемент, трехмерный геометрический элемент, бесконечный, непрерывный, однородный и т. д. (см. H2)

C4 – симплекс пространства тетраэдр (4,6,4) четыре вершины, шесть ребер, четыре грани и отсек пространства внутри тетраэдра. Характеристика Эйлера симплекса C4.

$$B - P + \Gamma - C4 = 4 - 6 + 4 - 1 = 1$$

R4 – четырехмерное геометрическое пространство

H5 – гиперэлемент, объемлющий четырехмерное пространство, бесконечный, однородный и т. д. (см. H2)

C5 – симплекс пространства – политом с эйлеровской характеристикой

$$B - P + \Gamma - C4 + C5 = 5 - 10 + 10 - 5 + 1 = 1$$

R5 – пятимерное геометрическое пространство

H6 – гиперэлемент, объемлющий все пятимерное пространство, бесконечный, непрерывный, однородный, не содержит в себе никаких геометрических элементов

C6 – симплекс пространства R5 – политом с эйлеровской характеристикой

$$B - P + \Gamma - C4 + C5 - C6 = 6 - 15 + 20 - 15 + 6 - 1 = 1$$

R6 – шестимерное геометрическое пространство

H7 – гиперэлемент, объемлющий все шестимерное пространство, бесконечный, непрерывный, однородный, не содержит в себе никаких геометрических элементов

C7 – симплекс пространства R6 – политом с эйлеровской характеристикой

$$B - P + \Gamma - C4 + C5 - C6 + C7 = 7 - 21 + 35 - 35 + 21 - 7 + 1 = 1$$

На рис. 2 построена принципиальная схема коммутации геометрических пространств различных измерений. Здесь представлена принципиальная схема, без количественного учета компонентов архитектуры многомерных пространств.

Рассмотрим пример трехмерного пространства:

1) обозначение R3, вертикальная линия указывает на прямоугольник, ограничивающий все компоненты, относящиеся к трехмерному пространству;

2) R0, R1, R2 являются компонентами R3, действительно, в трехмерном пространстве неотъемлемо содержатся точки, прямые, плоскости. Это конструктивные элементы R3 – точка, прямые, кривые, плоскости (поверхности) – весь арсенал R3.

У шестимерного пространства конструктивный набор представлен шестеркой пространств R0, R1, R2, R3, R4, R5 (каждое пространство имеет свой конструктивный набор, см. рис 2). В комментарии к рис. 2 приводится компонентный состав симплекса каждого пространства в виде эйлеровской характеристики.

### Список литературы

1. A. Square (E. A. Abbot) Flatland: A Romance of Many Dimensions, Boston, 1885 I 1928.
2. Г. С. М. Кокстер. Введение в геометрию. Изд. «Наука» М. 1966. с. 648.

## ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АТЛАС

КАБУЛОВ А. В.<sup>1</sup>, КАЛАНДАРОВ И. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана им. Мирза Улугбека

<sup>2</sup>Навоийский государственный горный институт

**Аннотация.** На статье предлагается автоматизированная алгоритмическая технологическая агрегативная система (АТЛАС) при проектировании и управлении производственными системами. Для организации диалога с пользователем разработан непроцедурный язык постановки и решения задачи управления производственными системами. Непроцедурный синтаксис языка описывает постановку задачи, а также необходимые и достаточные условия для ее решения. Реализация алгоритмического подхода при проектировании и управлении производственными системами осуществляется с помощью алгоритмов анализа и синтеза абстрактных управляющих систем. В алгоритмической системе программное обеспечение предлагается строить с помощью шести банков: банк признаков, банк моделей, банк алгоритмов, банк пакетов, операционный банк, банк данных.

**Ключевые слова:** иерархии признаков, восстановление системы, базы данных, инициализация системы, выбор признаков, выбор моделей задач.

## DESCRIPTION OF ARCHITECTURE OF ALGORITHMIC SYSTEM ATLAS

KABULOV A.V.<sup>1</sup>, KALANDAROV I. I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National University of Uzbekistan named after Mirza Ulugbek

<sup>2</sup>Navoi State Mining Institute

**Abstract.** The automated algorithmic technological aggregate system (ATLAS) is offered at designing and management of industrial systems. For the organization of dialogue with the user not procedural language of statement and the decision of a problem of management is developed by industrial systems. Not procedural syntax of language describes statement of a problem, and also necessary and sufficient conditions for its decision. Implementation of the algorithmic approach in the design and management of manufacturing systems is performed using the algorithms of analysis and synthesis of abstract control systems. In algorithmic and system software are invited to build with the help of six banks: bank signs, bank models, bank of algorithms, packages bank, the operating bank, data bank.

**Keywords:** hierarchies of attributes, restoration of system, a database, initialization of system, a choice of attributes, a choice of models of problems.

В алгоритмической схеме формализации процесса управления производственными системами, предложенной в [1], банком называется отдельный самостоятельный функционирующий компонент алгоритмической системы, состоящей из двух частей; информационной и операционной. В информационной части хранятся численные или символические данные на фиксированных языках, которые вносятся заранее (постоянная информация). Операционная часть банка содержит пакеты программ, перерабатывающие информационные массивы этого банка. В алгоритмической системе программное обеспечение предлагается строить с помощью шести банков. Применяя правило подстановки, можно детализировать банки системы и представить в следующем виде:

- банк признаков имеет только информационную часть, представленную в виде иерархии признаков;
- банк моделей состоит из информационной части, представляющей собой

отношение группы признаков задачи к модели, и операционной, выполняющей операции выбора модели, синтеза концептуальной модели и построения новых моделей на основе композиции базовых моделей в виде ТФ;

- банк алгоритмов состоит из информационной части, представляющей собой отношение группы признаков эффективной вычислимости к алгоритму и операционной части, выполняющей операции выбора алгоритма, построения вычислительной схемы, оптимизации и построения новых алгоритмов в виде ТФ;

- банк пакетов прикладных программ состоит из информационной части, представляющей собой отношения алгоритм/модуль и операционной части, выполняющей операции настройки видео грамм, генерации программного обеспечения (ПО), тестирования ПО, верификации ПО и документирования ПО;

- операционный банк состоит из информационной части, представляющей собой иерархический набор программных модулей, и операционной части, выполняющей операции диалога с пользователем, управление операционными частями остальных банков, инициализацию системы и восстановление системы после сбоев;

- банк данных состоит из информационной части, представляющей собой базы данных сетевой структуры и операционной части, являющейся системой управления базами данных, выполняющей стандартные операции над данными.

Использование идей и методов алгоритмизации непосредственно при управлении объектом является одной из сторон функционирования этой системы. Система управления программно-управляемым оборудованием (ПУО) находится в этой системе в банке ППП; следовательно, во время ее функционирования используются операционный банк, банк ППП и банк данных. Предложенная в [2] алгоритмическая схема формализации процесса управления ДС включает вопросы, как проектирования, так и управления.

Целью данной работы является решение вопросов управления, поэтому предлагаемая алгоритмическая схема использует только четыре банка: банк признаков, банк ППП, банк данных и операционный банк.

Схема функционирования алгоритмической системы представлена на рис. 1.

Операционная часть каждого компонента (банка) определяет операции и правила выполнения их над информационной частью банка. Информационная часть банка в таком случае имеет сложную логическую структуру, и соответствующие средства доступа к ней из операционной части банка.

*Описание банков операций и признаков.* Банк операций в алгоритмической системе является ядром системы. Основными функциями его являются: ведение диалога с пользователем, управление операционными частями банков алгоритмической системы, инициализация системы (подготовка к работе) и восстановление системы после сбоев. Работа банка состоит из пяти этапов: инициализация системы, выбор признаков, выбор моделей задач, настройка программного обеспечения и счет.

В процессе работы системы в операционном банке определяется необходимая последовательность выполнения инструкций и осуществляется управление операционными частями банков системы. В операционном банке имеется монитор, который и управляет работой всей системы, процессор входного языка, осуществляющий диалог с пользователем, и банк признаков. Монитор, в свою очередь, состоит из ядра (резидента), мониторов операционных частей банков, планировщика и вычислителя. Процессор входного языка состоит из синтаксического и лексического анализатора входного языка, монитора диалога и генератора выходных инструкций. Структура операционной части банка представлена на рис. 2.

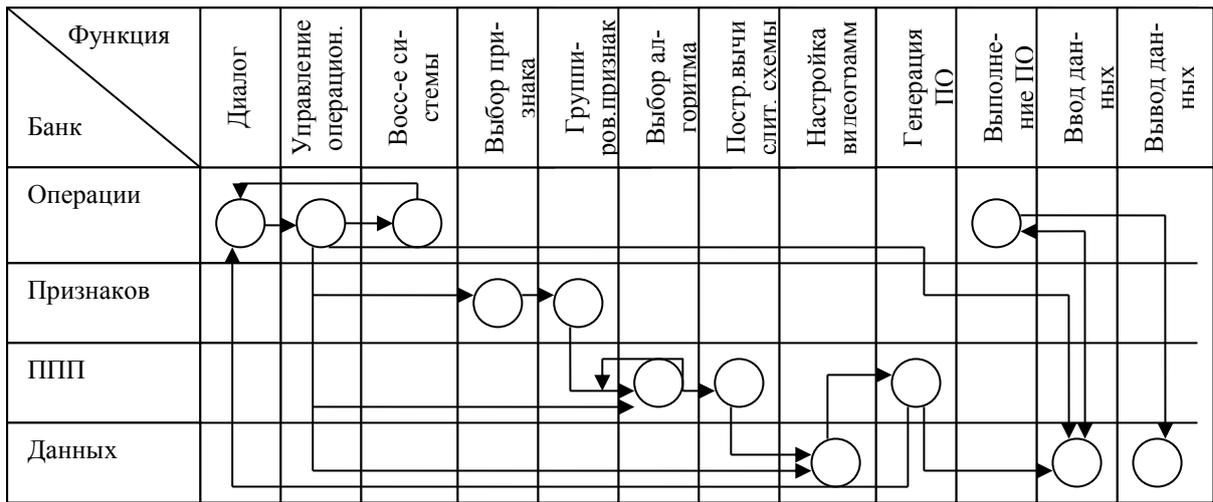


Рис. 1. Схема функционирования алгоритмической системы

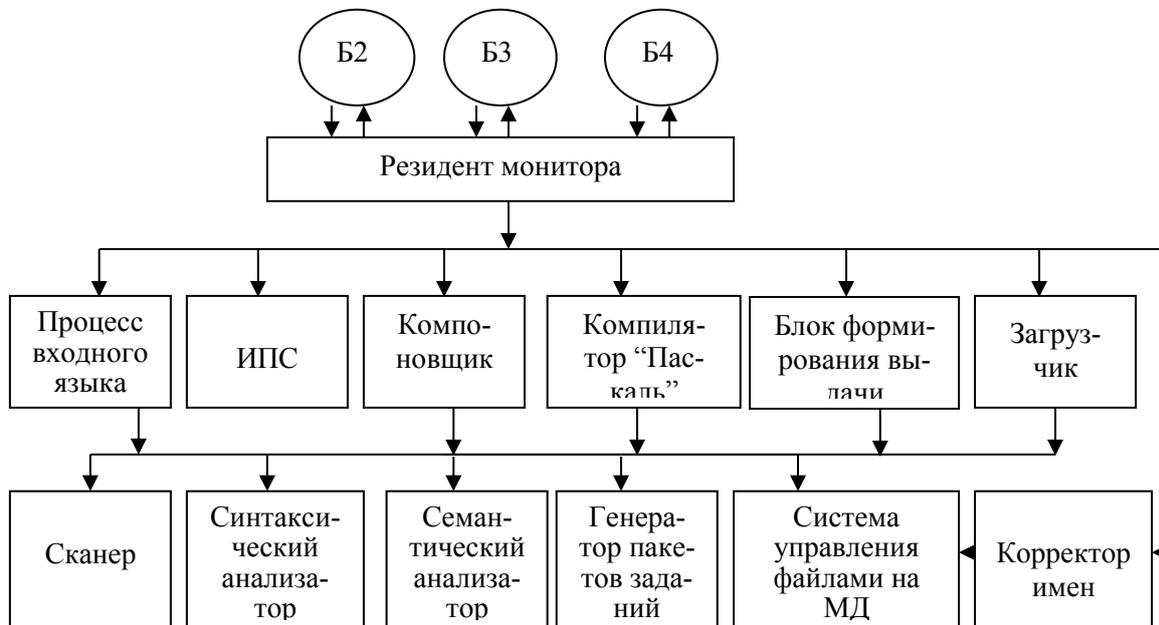


Рис. 2. Структура операционной части банка

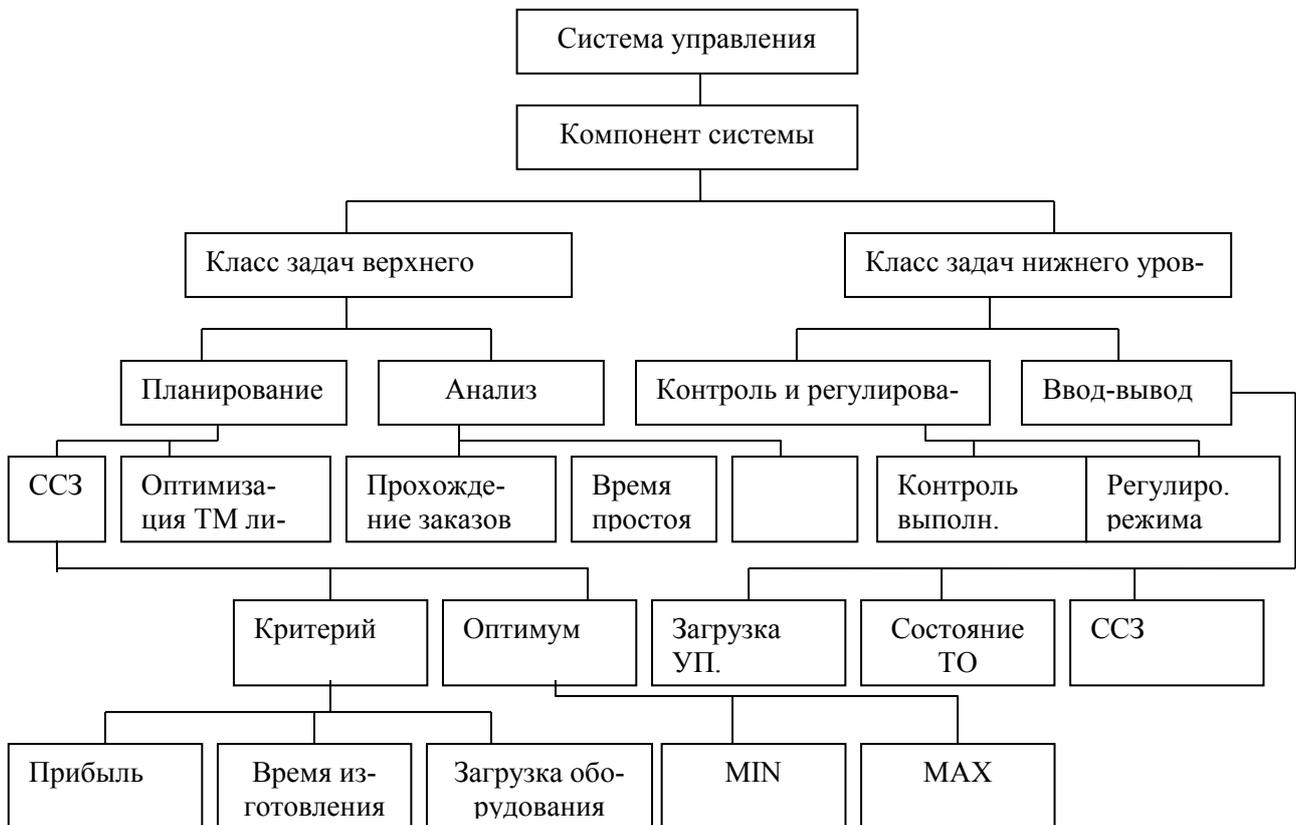
В банке признаков размещены признаки задач, позволяющие на основании доступной для данной системы группы признаков определить необходимые модели и алгоритмы задачи и провести выбор соответствующих им программ. Структурно-информационная часть банка признаков представляет собой иерархическую систему, состоящую из пяти уровней (рис. 3).

- На первом уровне признаки определяют разрабатываемую систему, которая характеризуется типом производства, видом и компонентами системы.

- На втором уровне компоненты системы разбиваются по уровням на классы задач. К классам задач верхнего уровня относятся планирование, анализ и ввод-вывод информации из системы. К классам задач нижнего уровня на существующий момент времени относится класс задач контроля и регулирования.

- На третьем иерархическом уровне классы задач разбиваются на отдельные задачи. К классу задач "планирование" относится составление сменно-суточного

задания и оптимизация технологических маршрутов автоматической линии. К классу задач "анализ [3] относятся анализ прохождения заказа, времени простоя и работы агрегата. К классу задач "ввода-вывода" относятся ввод и вывод информации по состоянию технологического оборудования и сменно-суточного задания (ССЗ). К классу задач нижнего уровня "контроль и регулирование" относятся загрузка УП, контроль выполнения технологических операций и регулирования ритма работы.



**Рис. 3. Структурно-информационная часть банка признаков**

- На четвертом уровне задачи планирования детализируются (дополняются) вспомогательными признаками, определяющими критерии оптимизации.

- На пятом уровне находятся детализированные значения для оптимизации min, max и критерии планирования: время изготовления, загрузка оборудования и прибыль.

Работа системы начинается с инициализации системы и идентификации конфигурации технических средств. Для этих целей используется ядро управляющего монитора, которое загружает необходимые компоненты операционного банка и в первую очередь планировщик и монитор диалога. Далее в режиме диалога осуществляется идентификация пользователя и его права доступа в системе. Далее управление передается монитору диалога, который взаимодействует с пользователем, определяет характер выполняемой работы в системе и передает управление планировщику вычислительного процесса. Сценарий диалога между пользователем и системой в режиме эксплуатации (счет) оформлен в виде "Выбор меню".

Для организации диалога с пользователем разработан непроцедурный язык постановки и решения задачи управления ПС. Синтаксис входного языка разработан авторами [4], а настройка на предметную область управления осуществлена группой авторов алгоритмической системы.

Непроцедурный синтаксис языка описывает постановку задачи, а также необходимые и достаточные условия для ее решения. В языках подобного типа пользователь должен сформулировать задачу из некоторой фиксированной проблемной области, а ЭВМ с помощью вложенных в нее средств сама строит алгоритм.

<Постановка задачи>::=<побудительное предложение >;<Побудительное предложение >::=<действие><список целей >< объект действия >I< действие >|< список целей >, <побудительное предложение ><Действие >::=<ключевое слово, указывающее на действие >< Список целей >::=< список определителей >|< цель ><список целей >, <цель><Цель>::=<ключевое слово, имеющее неизвестное >-< переменная >< Объект действия >::=< список определителей >\_<система ><уточняющие определители ><список обстоятельств >, <уточняющие определители >|<список обстоятельств>< список определителей ><система ><уточняющие определители >. < Система >::=<раздел >I< список определителей >< объект >|< список определителей >-< объект ><Раздел>::=<ключевое слово, именуемое разделы принадлежности объекта >< Объект >::=< ключевое слово, именуемое класс, к которому относится неизвестное >< выражение >< Список форм >::=< форма >|<форма>, <список форм ><Список определителей >::=< определитель>|< список определителей >|< определитель >|<пусто><Определитель >::=< ключевое слово, именуемое определитель раздела или объекта >< Уточняющие определители>::=<служебное слово ><Вспомогательное-информационные объекты>::=< ключевое слово, уточняющее объект или обстоятельство >< Причастие>::=< ЗАДАНО >|< ДАНО >|< ИЗВЕСТНО ><Служебное слово>::=< ЕСЛИ >|< ГДЕ>|<ДЛЯ>|<ПРИ>|<и>|< или><Список обстоятельств>::=<обстоятельство>|< список обстоятельств>, < обстоятельство >< Обстоятельство >::=< предлог >|<ключевое слово, именуемое координаты области нахождения объекта >|<предлог>|< выражение >|< пусто >< Предлог >::=<V>I<НА>|<ИЗ> | < НАД >|<пусто >< Пусто>::=<>.

Семантика. Постановка задачи - это совместная формулировка, выраженная побудительными предложениями русского языка. В такой формулировке сказуемое, выраженное глагольной формой повелительного наклонения, помещается после знака начала предложения. Знак <> означает конец предложения. Действие определяет конкретный указатель, от которого зависит или нахождение, или вычисление, или достижение цели. После действия в предложении указывается список целей. Цель - это неизвестное, которое требуется найти. Главные члены предложения - действие и список целей - помещаются в начале предложения. Остальные части предложения входят в конструкцию "объект действия".

Объект действия - так мы условно назвали информацию, необходимые и достаточные условия, с которыми связан поиск неизвестного. Основным элементом действия является сам объект. В постановке задачи он обязательно должен быть указан. Остальные элементы объекта дополняют или ограничивают его, их можно не указывать в предложении. Ключевые слова синтаксических правил задаются пользователем из предметной области. Для каждой конкретной предметной области по смыслу задача ставится по - разному, но по структуре должна удовлетворять синтаксическим требованиям данной формулировки. Формулировка задачи должна удовлетворять грамматике русского языка. Приведем варианты записи задач из некоторых предметных областей.

< Ключевое слово, именуемое неизвестное>::=<МОДЕЛЬ >|< АЛГОРИТМ >|<ПРОГРАММА><ключевое слово, именуемое раздел принадлежности объекта >::=< СИСТЕМАУПРАВЛЕНИЯ >|<СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ><ключевое слово, именуемое класс, к которому относится объект >::=<ПЛАНИРОВАНИЕ>|<УЧЕТ И КОНТРОЛЬ>|< АНАЛИЗ И РЕГУЛИРОВАНИЕ>|<УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИЕЙПРОИЗВОДСТВА>|<РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ >|<ОТЧЕТНОСТЬ><ключевое

слово, именуемое определитель>:=<НЕДЕЛЬНОЕ >< ССЗ><РАСЧЕТ><УЧЕТ><СРАВНЕНИЕ><КОРРЕКТИРОВКА><ФОРМИРОВАНИЕ ><УПРАВЛЕНИЕ ОРГ. СТРУКТУРОЙ >< ОРГАНИЗАЦИЯ РМ><ВИДЕОГРАММА><МАШИНОГРАММА><СГУ ОМ><СГУ А ТМ ><СГУ А СМ><ключевое слово, именуемое обстоятельство >:=< ПОЗАКАЗНОЕ>< ПОДЕТАЛЬНОЕ >| <СБОРОЧНОЕ >|<КРУПНОСЕРИЙНОЕ>|<СУММА>|< РАЗНОСТЬ >|<ДЕЛЕНИЕ >|<ОТМЕТКА >|<УДАЛЕНИЕ >|<ПРОИЗВЕДЕНИЕ ВЕЛИЧИН>|<РЕКВИЗИТ>|<ЗАПИСЬ>|<МИКРОПРОЦЕССОРЫ>|<ПЛМ>|<ЦИКЛОГРАММА >.

Тогда постановка задачи ВЫБРАТЬ МОДЕЛЬ ПОЗАКАЗНОГО НЕДЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ является правильно построенным предложением языка, так как ВЫБРАТЬ -это действие, МОДЕЛЬ - список целей, состоящий из одного элемента, ШЗАКАЗНОГО НЕДЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ - объект действия, ПОЗАКАЗНОГО НЕДЕЛЬНОГО - список определителей, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ - система. Преобразовав такое предложение, процессор заканчивает свою работу и передает управление ядру монитора операционной части банков.

По окончании работы операционной части банков управление возвращается ядру монитора, который снова вызывает процессор входного языка.

Процессор входного языка представляет собой диалоговое средство распознавания задания; он состоит из сканера, лексического и синтаксического анализаторов. Механизм просмотра (сканнер) из последовательности литер создает последовательности многозначных символов (имеются в виду зарезервированные слова, имена, значения и т.д.). Сканер отбрасывает неподходящие семантические структуры, значительно сокращая число элементов, передаваемых анализатору. Хотя сканер и не переупорядочивает символы, но исключает определенную их часть (примечания и пробелы). Полученный в результате преобразования входной текст обрабатывается синтаксическим анализатором. Считая определенную выше грамматику однозначной (данная грамматика относится к 1Л(1)грамматикам), можно говорить об однозначном каноническом разборе[5].

### Список литературы

1. Кабулов В.К. Алгоритмизация в механике сплошных сред.-Ташкент: "Фан" УзССР, 1979.
2. Кабулов В.К. Вопросы формализации в исследовании систем.-Вопросы кибернетики, вып.126, Ташкент:НПО"Кибернетика" АН УзССР, 1984, с.3-15.
3. Кабулов В.К. Вопросы стандартного описания систем и агрегатные системы Н.П.Бусленко.- Вопросы кибернетики, вып.130, Ташкент: НПО "Кибернетика" АН УзССР, 1985,с.3-20.
4. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Problems of algorithmization of management of difficult systems on the basis of algebra over functioning tables (FT) / Science and Education Materials Of the ix international Research and practice conference October 1st – 2nd, 2015 Munich, Germany 2015. с.148-151.
5. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. «Алгоритмическая модель управления на основе алгебры над таблицами функционирования», ISSN 2181-8460 «Проблемы вычислительной и прикладной математики». Центр разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов (Ташкент) № 2 (4). 2016. с.19-24.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПРИ ОПИСАНИИ ГРАНИЦ ГОРНОГО ОТВОДА

АКУЛОВА Е. А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет»

**Аннотация.** При оформлении границы горного отвода в соответствии с законодательством Российской Федерации необходимо выполнить описание границ координатами. Данный пункт требует уточнения систем координат. В частности необходимо определить геодезическую систему координат и плоскую прямоугольную систему для однозначного представления данных о границе горного отвода.

**Ключевые слова:** горный отвод, координаты, системы координат, датумы.

## THE DEFINITION OF COORDINATES IN THE DESCRIPTION OF THE BOUNDARIES OF THE MINING ALLOTMENT

AKULOVA E. A.

Ural State Mining University

**Abstract.** When making the boundaries of the mining allotment in accordance with the legislation of the Russian Federation it is necessary to carry out the description of the boundary coordinates. This point requires specification of coordinate systems. In particular, it is necessary to define a geodesic coordinate system and a planar rectangular system for a unique representation of data on the boundary of the mining allotment.

**Keywords:** mountain branch, coordinates, coordinate systems, datums.

Недра в соответствии с Федеральным законом "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1 предоставляются в пользование на основании лицензий. Лицензия является документом, удостоверяющим право ее владельца на пользование участком недр в определенных границах в соответствии с указанной целью в течение установленного срока при соблюдении им заранее оговоренных требований и условий<sup>4</sup>. Предоставление лицензий на право пользования недрами осуществляется путем проведения конкурсов или аукционов. Освоение перспективного участка недр сопряжено с оформлением разрешительной документации. Виды таких разрешительных документов можно разделить на две группы, первая группа связана с процедурой получения документов, разрешающих пользование недрами, а вторая - с использованием земельным участком, находящимся над недрами (рис. 1).

В соответствии с лицензией недра передаются в пользование в виде участков, представляющих собой геометризованные блоки недр, при их определении учитываются границы уже разрабатываемого месторождения. В лицензии определяются пространственные границы предоставляемого участка недр, в пределах которого разрешается осуществление работ, указанных в лицензии. Границы должны иметь подробное описание и координаты. Участки недр должны быть максимально компактными и по возможности ограничены прямыми линиями. Они предоставляются в пользование в виде горного или геологического отвода.

---

<sup>4</sup> Постановление Верховного Совета Российской Федерации "Положение о порядке лицензирования пользования недрами" от 15.07.1992 N 3314-1 (ред. от 05.04.2016).

|  |   |
|--|---|
| на<br>пользование<br>недрами               | оформление геологического отвода (лицензия для геологического изучения без существенного нарушения целостности недр)              |
|  | оформление горного отвода (лицензия на пользование недрами для добычи полезных ископаемых)  |
|  | составление и согласование технического проекта и иной проектной документации на выполнение работ по освоению полезных ископаемых |
| на<br>пользование<br>земельным<br>участком | право проведения работ на земельном участке (получить участок в собственность, заключить договор аренды или оформить сервитут)    |
|  | экологическая экспертиза (проект рекультивации земель)  |

**Рис. 1. Виды разрешительных документов на право пользования участком недр и земельным участком**

Участок недр в виде горного отвода предоставляется при выдаче лицензий на право добычи полезных ископаемых, строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, организацию особо охраняемых участков недр. Участок недр в виде горного отвода также предоставляется для проведения геологического изучения недр с одновременной или непосредственно следующей за ним добычей полезных ископаемых, эти работы предполагают нарушение верхнего слоя земли и использование недр. В этом случае, первоначально границы горного отвода определяются при предоставлении лицензии недропользователю, однако после составления и утверждения плана технических работ, его границы уточняются и включаются в лицензию в качестве обязательного пункта<sup>5</sup>.

Проект границ горного отвода составляется на основе пакета геологической информации по интересующему участку недр с учетом пространственных контуров месторождений полезных ископаемых, положения участка строительства и эксплуатации подземных сооружений, границ безопасного ведения горных, взрывных работ, зоны охраны от негативного влияния проводимых горных разработок, движения горных пород и иных факторов, влияющих на состояние недр и поверхности Земли в связи с их использованием (ч. 2 ст. 7 Закона РФ «О недрах»)<sup>6</sup>. Выявить и определить все указанные обстоятельства на стадии выделения горного отвода для работы объективно невозможно, поэтому при выдаче лицензии на недропользование определяются предварительные границы горного отвода, которые в дальнейшем подлежат уточнению.

В соответствии с требованиями к содержанию проекта границ горного отвода<sup>7</sup> горноотводная документация должна включать горноотводный акт и графические приложения к горноотводному акту. Проект горного отвода должен состоять из пояснительной записки и графических материалов, обосновывающих уточненные границы горного отвода. В соответствии с пунктом 10 Требований графические материалы проекта горного отвода должны включать план (схему) границ горного отвода с обозначением угловых точек горного отвода в *географической системе координат*. В соответствии с п.5 графические приложения к горноотводному акту составляются в соответствии с условными обозначениями для горной и (или) маркшейдерской графической

<sup>5</sup> Постановление Верховного Совета Российской Федерации "Положение о порядке лицензирования пользования недрами" от 15.07.1992 N 3314-1 (ред. от 05.04.2016).

<sup>6</sup> Федеральный закон "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1 (ред. от 30.09.2017).

<sup>7</sup> Приказ Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 1 ноября 2017 года N 461 «Об утверждении Требований к содержанию проекта горного отвода, форме горноотводного акта, графических приложений, плана горного отвода и ведению реестра документов, удостоверяющих уточненные границы горного отвода».

документации в *системе прямоугольных координат*, обеспечивающих возможность перехода к государственной системе координат с использованием параметров перехода (ключей). Ведомость прямоугольных координат угловых точек границ горного отвода согласно п. 12.1 к Требованиям<sup>8</sup>, определяемых аналитически и (или) графически помещается в свободной части плана горного отвода.

Исходя из положений указанного выше документа, граница горного отвода описывается в двух системах координат, связь между которыми устанавливается набором параметров, обеспечивающих однозначный пересчет из одной системы в другую. В связи с этим возникает ряд вопросов, ответы на которые позволят решить поставленную задачу однозначно.

В первую очередь необходимо точно определить параметры координатных систем, описывающих местоположение горного отвода.

С точки зрения геодезических определений, координаты – величины, определяющие положение точки на определенной поверхности или в пространстве. В геодезии положение точки принято описывать тремя величинами относительно поверхности, принятой для решения конкретных задач за исходную. Одна из величин определяет высоту точки над поверхностью. Такую поверхность принято называть поверхностью относимости. В качестве поверхности относимости может быть выбрана горизонтальная плоскость (на небольших участках обобщающая поверхность геоида), плоскость в картографической проекции (плоскость в проекции Гаусса), поверхность земного эллипсоида (эллипсоид, который характеризует фигуру и размеры Земли) или референцный эллипсоид (земной эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и установления системы геодезических координат), поверхность геоида.

На плоскости положение точки описывается, как правило, прямоугольными координатами  $X$  и  $Y$ , тогда как в остальных случаях могут быть использованы астрономические ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ), геодезические (эллипсоидальные  $B$ ,  $L$ ,  $H$ ) и геоцентрические (пространственные прямоугольные общеземные и референчные —  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) системы координат.

В системе астрономических координат положение точки определяется на ровной поверхности (поверхности геоида) значениями астрономических широты  $\varphi$  и долготы  $\lambda$ , получаемых по наблюдениям небесных светил. Высота точки над поверхностью геоида называется ортометрической высотой. В практике геодезических определений используется понятие нормальной высоты, отсчитываемое от поверхности квазигеоида (начальной ровной поверхности).

Под геодезическими координатами понимаются три величины, две из которых характеризуют направление нормали к поверхности земного эллипсоида в данной точке пространства относительно плоскостей его экватора и начального меридиана, а третья является высотой точки над поверхностью земного эллипсоида.

Астрономические и геодезические координаты токи разливаются и зависят от выбранного эллипсоида и несовпадения отвесной линии с нормалью к эллипсоиду. Угол между отвесной линией и нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке называется уклонением отвесной линии и его значение может достигать нескольких секунд.

При выполнении инженерно-геодезических работ, как правило, нет необходимости различать геодезические и астрономические координаты и используется понятие географических координат, как обобщенного понятия об астрономических и геодези-

---

<sup>8</sup> Приказ Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 1 ноября 2017 года N 461 «Об утверждении Требований к содержанию проекта горного отвода, форме горноотводного акта, графических приложений, плана горного отвода и ведению реестра документов, удостоверяющих уточнённые границы горного отвода».

ческих координатах, когда отклонения отвесных линий не учитывают<sup>9</sup>. Таким образом, систему географических координат можно считать единой и обобщенной для всех точек земной поверхности, в которой уровенная поверхность принимается за поверхность шара, а за начало отсчета координат - начальный (Гринвичский) меридиан и плоскость экватора. Применять географические координаты можно в качестве общего описания их положения в системе других объектов, тогда как для решения задач, связанных с учетом объектов в системах кадастров или определения численных характеристик объектов, таких как площадь и др. удобнее использовать прямоугольные координаты на плоскости. В этом случае для взаимного согласования двух координатных систем понятие «географические координаты» не может быть использовано. Установить параметры перехода можно только в случае геодезических координат и прямоугольных координат на плоскости в проекции Гаусса.

В практике геодезических определений используются следующие геоцентрические геодезические системы координат: мировые - WGS-84 и ПЗ90 и референсные – СК-42, СК-95.

Координатная система World Geodetic System (WGS), что в переводе соответствует понятию глобальная опорная система, принята на момент 1984 года с целью геодезического обеспечения ориентирования в мировом пространстве: космической, воздушной, морской и наземной навигации. Мировая система WGS-84 была принята в 1987 году и является разработкой Министерства обороны Соединенных Штатов Америки для целей, как военного ведомства так и решения навигационных спутниковых задач. Одновременно с началом действия WGS84 в 1987 году были заложены основы новой мировой геодезической системы в рамках международной службы вращения Земли (IERS). Кроме других функциональных задач по оценке параметров Земли этой службой были применены международная земная система отсчета (ITRS) и отсчетная основа (ITRF). Отсчетная основа (ITRF) представляет собой систему опорных станций с фактическими их координатами, через которые реализуется практически глобальная геодезическая система.

ПЗ-90 считается геоцентрической системой отсчета в нашей стране. Основной целью ее создания являлось высокоточное обеспечение навигации, орбитальных полетов, и кроме этого решения практических вопросов по основным геодезическим, картографическим, прикладным работам. В 2000 году ПЗ-90 получает статус государственной системы координат с полным наименованием «Параметры Земли».

Для координатных систем WGS 84 и ПЗ-90 устанавливаются определенные параметры, к которым относят: геоцентрическую прямоугольную систему координат с началом в точке геометрического центра масс Земли, математическую основу, за которую принята форма эллипсоида вращения с конкретными геометрическими и физическими величинами и гравитационная модель Земли, с определенными на конкретную дату величинами и их значениями.

Эталонной считается "Международная земная система отсчета" (ITRF). Ее положение в теле Земли круглосуточно контролируется спутниковыми измерениями координат нескольких сотен пунктов по всему земному шару. Параметры этой системы публикуются ежегодно, а координаты пунктов в этой системе даются с обязательным указанием эпохи (года) когда эти координаты были измерены. Так, WGS84 привязана к системе ITRF эпохи 1984, а ПЗ-90 соответственно к ITRF 1990.

Системы координат WGS84 и ПЗ-90 подлежат модернизации и постоянно уточняются. В настоящее время используется версия WGS84 G1150. Последняя версия геоцентрической системы координат «Параметры Земли» с аббревиатурой ПЗ-90.11 и все

---

<sup>9</sup> ГОСТ 22268-76 Геодезия. Термины и определения.

ее данные ведены для практического применения с января 2017 года. В соответствии со статьей 7 Федерального закона "О геодезии, картографии и пространственных данных", в качестве государственных систем координат устанавливаются система координат 2011 года (ГСК-2011) для использования при осуществлении геодезических и картографических работ и геоцентрическая система координат "Параметры Земли 1990 года" (ПЗ-90.11) для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов, решения навигационных задач и выполнения геодезических и картографических работ в интересах обороны<sup>10</sup>.

Для обеспечения связи между координатными геоцентрическими системами необходимо знать параметры эллипсоидов и коэффициенты, характеризующие его положение в теле Земли. Совокупность этих данных называется датумами. Различия между эллипсоидами и связанными с ними датумами таковы, что точка с одними и теми же координатами, но в разных датумах могут отличаться на местности на величину от нескольких метров, до нескольких километров.

Чтобы пересчитать координаты из одного датума в другой максимально точно, нужно выполнить следующие действия: пересчитать градусные координаты в декартову систему пространственных координат  $X, Y, Z$ , повернуть и сдвинуть систему координат в соответствии с новым датумом, вычислить новые координаты, на новом эллипсоиде определить новые координаты в градусах.

Пересчет координат в сдвинутую и повернутую систему производится по формулам преобразования Гелмерта (*Friedrich Robert Helmert*)<sup>11</sup>. Для расчетов потребуется три параметра для смещения, три для углов поворота и один масштабный коэффициент. Пересчет в градусы потребует еще два параметра эллипсоида – диаметр или длину большой полуоси и степень полярного сжатия. Коэффициенты преобразования рассчитываются для каждой страны и утверждаются соответствующим нормативным документом. Для России это ГОСТ 32453 - 2017.

Следует заметить, что помимо общеземных геоцентрических систем координат положение конкретных точек может быть описано референцными системами, к которым относят государственные системы геодезических координат 1942 года (СК-42) и 1995 года (СК-95), которые также имеют свои датумы, определяющими ориентирование референцного эллипсоида Красовского в теле геоида.

Система геодезических координат 1995 года (СК-95), установленная постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 г. N 568 "Об установлении единых государственных систем координат" в качестве единой государственной системы координат, и единая система геодезических координат 1942 года (СК-42), введенная постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. N 760 "О введении единой системы геодезических координат и высот на территории СССР", применяются до 1 января 2021 г. при выполнении геодезических и картографических работ в отношении материалов (документов), созданных с их использованием.

До 1 января 2021 г. при выполнении геодезических и картографических работ в интересах обороны, организуемых Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии, могут использоваться геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011), а также иные государственные системы координат, установленные до дня вступления в силу постановления<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Федеральный закон от 30 декабря 2015 г. N 431-ФЗ "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации"

<sup>11</sup> ГОСТ 32453- 2017 «Глобальная навигационная спутниковая система Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – Москва. Стандартинформ 2017.

<sup>12</sup> Постановление Правительства РФ от 24.11.2016 N 1240 "Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы".

Плоские прямоугольные координаты  $X, Y$  в проекции Гаусса зависят от координатной сетки, которая задается долготой осевого меридиана зоны, координатами условного начала, шириной координатной зоны и масштабом на осевом меридиане. Такие координаты называют зональными референсными координатами и задают государственную прямоугольную систему координат в проекции Гаусса (СК-42 и СК-95). В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 г. №568 вводятся местные системы координат в системе координат 1942 года. К местным системам координат относят местные системы координат городов, систему координат 1963 года (СК-63), каждый блок которой является самостоятельной местной системой плоских прямоугольных координат, другие местные системы координат (несколько тысяч на территории Российской Федерации). На основе системы координат СК-63 были разработаны местные системы координат субъектов РФ (региональные местные системы координат). Местные системы координат субъектов РФ относятся к государственной системе координат СК-42. Другими словами, плоские прямоугольные координаты  $X, Y$  однозначно соответствуют геодезическим координатам  $B, L$  в государственной системе координат СК-42. Соответствие устанавливается с помощью параметров преобразования (ключей) [1].

Возвращаясь к вопросу описания горного отвода, процесс преобразования географических координат в плоские прямоугольные требует в первую очередь определиться с системой геодезических координат, в которой определены координаты границы. Если предварительные координаты исходя из требований могут быть определены картометрическим методом, что подразумевает использование топографической карты в проекции Гаусса и исходной системой является геодезическая система СК-42, что вполне логично, если учесть, что карт в системе WGS-84 и ПЗ-90 нет. Если в качестве картографической основы использованы материалы дистанционного зондирования Земли (космические снимки), то координаты могут быть определены как в системе WGS-84 так и системе ПЗ-90. Для определения координат также могут быть использованы электронные карты, сетки которых «привязывают» к определенной геодезической системе координат.

Дальнейший ход процесса преобразования координат зависит от ответа на первый вопрос. В случае исходных координат в геодезической системе СК-42 процесс преобразования включает пересчет координат в систему плоских прямоугольных координат  $X, Y$  используя математический аппарат картографической проекции Гаусса. Дальнейшие вычисления сводятся к преобразованию в региональную систему координат по системе ключей. Если исходными координатами были определены WGS-84 или ПЗ-90, то вычисления подразумевают преобразование координат в геодезическую систему СК-42, а затем использовать алгоритм, упомянутый выше.

Математические расчеты, связанные с преобразованием координат требуют определенных навыков и достаточно трудоемки, поэтому для реализации поставленной задачи следует использовать сертифицированные программные продукты.

Одним из таких программных продуктов является разработка компании КРЕДО-ДИАЛОГ. Программа ТРАНСКОР поддерживает следующие типы представления систем координат: геоцентрические (пространственные прямоугольные общеземные и референсные —  $X, Y, Z$ ); геодезические (эллипсоидальные  $B, L, H$ ); плоские в поперечно-цилиндрической проекции Меркатора с разными параметрами и в равноугольной конической проекции Ламберта с разными параметрами, национальные и местные ( $x, y, H_y$ ) в «чистом» или транспонированном представлении; локальные – произвольно образованные прямоугольные системы координат (например, строительные) и др.

Окно проекта программы ТРАНСКОР разделено на две панели. Левая панель предназначена для ввода исходных данных (они могут быть импортированы или введе-

ны вручную). В правой панели, в зависимости от выполняемых задач, могут содержаться либо результаты вычислений при пересчете по заданным параметрам, либо исходные данные при установлении параметров связи между двумя наборами (системами) координат (рис. 2) [2].

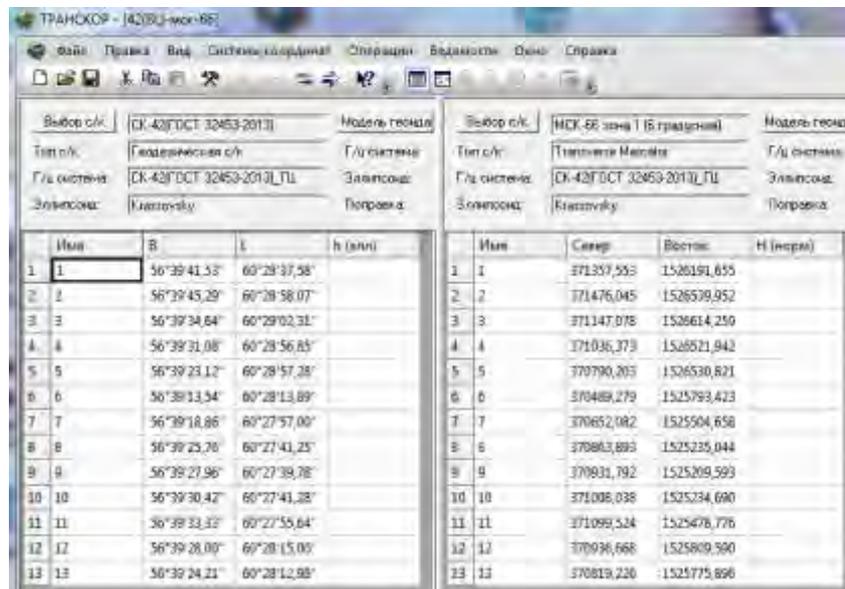


Рис. 2. Интерфейс программного продукта TRANSCOR

В программном продукте введены даты геоцентрических и референционных систем координат и заданы параметры государственных плоских прямоугольных систем и систем субъектов РФ (рис. 3).

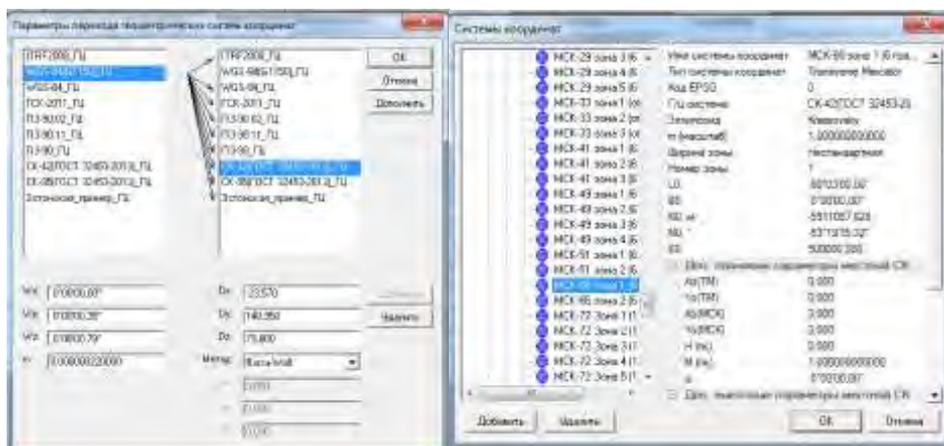


Рис. 3. Параметры для преобразования систем координат

Выполненные в программном продукте преобразования координат из геодезических систем в систему прямоугольных координат мск-66 показали, что в зависимости от выбранной исходной системы расхождения в координатах составили порядка +45,5 м по координате X, и -84,6 м по координате Y для геоцентрических систем координат по сравнению с референционной (рис. 4).

**Ведомость преобразования из системы в систему по известным параметрам**

Параметры системы координат: Исходная С/И  
 Названия систем координат: МСК-46, зона I (Белоруссия)  
 Тип системы координат: Геодезия Метрикс  
 Названия С/И системы координат: СМ-42(ГОСТ 32433-2013), Р/И  
 Эпипланет: Южнорусск

| № п/п | Исходные координаты |              | Исходная С/И |            |           |            |           |           | Исходная С/И |           |           |           |           |           | Исходная С/И |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-------|---------------------|--------------|--------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|       | WGS-84              |              | WGS-84       |            | WGS-84    |            | WGS-84    |           | WGS-84       |           | WGS-84    |           | WGS-84    |           | WGS-84       |           | WGS-84    |           | WGS-84    |           | WGS-84    |           |           |           |
|       | Север               | Восток       | Север        | Восток     | Север     | Восток     | Север     | Восток    | Север        | Восток    | Север     | Восток    | Север     | Восток    | Север        | Восток    | Север     | Восток    | Север     | Восток    | Север     | Восток    |           |           |
| 1     | 56°38'41.53"        | 80°28'37.38" | 371857.55    | 1526191.66 | 371811    | 1526276.28 | 371811.99 | 1526276.1 | 371811.99    | 1526276.1 | 371811.99 | 1526276.1 | 371811.99 | 1526276.1 | 371811.99    | 1526276.1 | 371811.99 | 1526276.1 | 371811.99 | 1526276.1 | 371811.99 | 1526276.1 | 371811.99 | 1526276.1 |
| 2     | 56°39'45.25"        | 80°28'58.07" | 371476.15    | 1526959.59 | 371430.69 | 1526924.57 | 371430.48 | 1526924.4 | 371430.48    | 1526924.4 | 371430.48 | 1526924.4 | 371430.48 | 1526924.4 | 371430.48    | 1526924.4 | 371430.48 | 1526924.4 | 371430.48 | 1526924.4 | 371430.48 | 1526924.4 | 371430.48 | 1526924.4 |
| 3     | 56°39'34.84"        | 80°29'00.31" | 371167.08    | 1526614.26 | 371101.53 | 1526698.88 | 371101.52 | 1526698.7 | 371101.52    | 1526698.7 | 371101.52 | 1526698.7 | 371101.52 | 1526698.7 | 371101.52    | 1526698.7 | 371101.52 | 1526698.7 | 371101.52 | 1526698.7 | 371101.52 | 1526698.7 | 371101.52 | 1526698.7 |
| 4     | 56°39'31.08"        | 80°28'56.89" | 371016.37    | 1526521.94 | 370890.85 | 1526606.56 | 370890.82 | 1526606.4 | 370890.82    | 1526606.4 | 370890.82 | 1526606.4 | 370890.82 | 1526606.4 | 370890.82    | 1526606.4 | 370890.82 | 1526606.4 | 370890.82 | 1526606.4 | 370890.82 | 1526606.4 | 370890.82 | 1526606.4 |
| 5     | 56°38'23.12"        | 80°28'57.38" | 370790.2     | 1526530.82 | 370744.66 | 1526615.44 | 370744.63 | 1526615.2 | 370744.63    | 1526615.2 | 370744.63 | 1526615.2 | 370744.63 | 1526615.2 | 370744.63    | 1526615.2 | 370744.63 | 1526615.2 | 370744.63 | 1526615.2 | 370744.63 | 1526615.2 | 370744.63 | 1526615.2 |
| 6     | 56°39'18.54"        | 80°28'16.89" | 370485.28    | 1525779.42 | 370443.79 | 1525878.08 | 370443.73 | 1525877.9 | 370443.73    | 1525877.9 | 370443.73 | 1525877.9 | 370443.73 | 1525877.9 | 370443.73    | 1525877.9 | 370443.73 | 1525877.9 | 370443.73 | 1525877.9 | 370443.73 | 1525877.9 | 370443.73 | 1525877.9 |
| 7     | 56°39'18.88"        | 80°27'57.90" | 370652.08    | 1525504.66 | 370606.55 | 1525589.2  | 370606.53 | 1525589.1 | 370606.53    | 1525589.1 | 370606.53 | 1525589.1 | 370606.53 | 1525589.1 | 370606.53    | 1525589.1 | 370606.53 | 1525589.1 | 370606.53 | 1525589.1 | 370606.53 | 1525589.1 | 370606.53 | 1525589.1 |
| 8     | 56°39'25.76"        | 80°27'41.25" | 370863.89    | 1525235.04 | 370818.36 | 1525319.69 | 370818.34 | 1525319.5 | 370818.34    | 1525319.5 | 370818.34 | 1525319.5 | 370818.34 | 1525319.5 | 370818.34    | 1525319.5 | 370818.34 | 1525319.5 | 370818.34 | 1525319.5 | 370818.34 | 1525319.5 | 370818.34 | 1525319.5 |
| 9     | 56°39'27.96"        | 80°27'38.78" | 370831.79    | 1525209.59 | 370886.25 | 1525294.24 | 370886.24 | 1525294.1 | 370886.24    | 1525294.1 | 370886.24 | 1525294.1 | 370886.24 | 1525294.1 | 370886.24    | 1525294.1 | 370886.24 | 1525294.1 | 370886.24 | 1525294.1 | 370886.24 | 1525294.1 | 370886.24 | 1525294.1 |
| 10    | 56°39'30.42"        | 80°27'41.28" | 371004.04    | 1525234.09 | 370962.5  | 1525319.34 | 370962.49 | 1525319.2 | 370962.49    | 1525319.2 | 370962.49 | 1525319.2 | 370962.49 | 1525319.2 | 370962.49    | 1525319.2 | 370962.49 | 1525319.2 | 370962.49 | 1525319.2 | 370962.49 | 1525319.2 | 370962.49 | 1525319.2 |
| 11    | 56°39'33.33"        | 80°27'54.84" | 371099.52    | 1525478.78 | 371053.98 | 1525563.42 | 371053.97 | 1525563.2 | 371053.97    | 1525563.2 | 371053.97 | 1525563.2 | 371053.97 | 1525563.2 | 371053.97    | 1525563.2 | 371053.97 | 1525563.2 | 371053.97 | 1525563.2 | 371053.97 | 1525563.2 | 371053.97 | 1525563.2 |
| 12    | 56°39'28.00"        | 80°28'16.00" | 370934.67    | 1525809.59 | 370891.15 | 1525894.22 | 370891.12 | 1525894   | 370891.12    | 1525894   | 370891.12 | 1525894   | 370891.12 | 1525894   | 370891.12    | 1525894   | 370891.12 | 1525894   | 370891.12 | 1525894   | 370891.12 | 1525894   | 370891.12 | 1525894   |
| 13    | 56°38'24.21"        | 80°28'12.88" | 370619.23    | 1525773.9  | 370773.69 | 1525860.53 | 370773.67 | 1525860.3 | 370773.67    | 1525860.3 | 370773.67 | 1525860.3 | 370773.67 | 1525860.3 | 370773.67    | 1525860.3 | 370773.67 | 1525860.3 | 370773.67 | 1525860.3 | 370773.67 | 1525860.3 | 370773.67 | 1525860.3 |

**Рис. 4. Результаты вычислений в программе ТРАНСКОР**

Отдельным вопросом является установление требуемой точности представления координат в соответствии с требованиями для подготовки документации при проектировании горного отвода в зависимости от точности исходной информации (исходных координат).

В заключение следует заметить, что обеспечение требований Приказа<sup>13</sup> связано с необходимостью разъяснений в вопросах установления конкретных систем координат и требуемой точности представления для однозначности и достоверности представления информации.

### Список литературы

1. Герасимов А.П., Назаров В.Г. Местные системы координат/А.П. Герасимов, В.Г. Назаров – М: ООО «Издательство «Прспект», 2010. -64 с.
2. Транскор 2.1 (Трансформация геоцентрических, геодезических и прямоугольных координат и определение параметров связи систем координат): Руководство пользователя/ CREDO Программный комплекс обработки изысканий, цифрового моделирования местности, проектирования генпланов и автомобильных дорог – Минск, 2011. – 95 с.

<sup>13</sup> Приказ Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 1 ноября 2017 года N 461 «Об утверждении Требований к содержанию проекта горного отвода, форме горноотводного акта, графических приложений, плана горного отвода и ведению реестра документов, удостоверяющих уточнённые границы горного отвода».

УДК 622

## АБСОРБЦИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ КОНТРОЛЕ СОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕТОДАМИ ФОТОКОЛОРИМЕТРИИ И СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

ЛАТИПОВ Ш. Б., ХАШИМОВА Ф. С.

Навоийский государственный горный институт

**Аннотация.** Явление поглощения широко используется в абсорбционном спектральном анализе смеси газов, основанном на измерениях спектров частот и интенсивностей линий поглощения. Структура спектров поглощения определяется составом и строением молекул, поэтому изучение спектров поглощения является одним из основных методов количественного и качественного исследования веществ.

**Ключевые слова:** фотоколориметрические измерения, фотоэлектроколориметр, спектрофотометр, фотоэлемент, светофильтры, спектр, коллиматор, линза.

## ABSORPTION SPECTRAL ANALYSIS IN CONTROL OF SORPTION TECHNOLOGY BY METHODS OF PHOTOCOLOMETRY AND SPECTROPHO- TOMETRY

LATIPOV Sh. B., KHASHIMOVA F. S.

Navoi State Mining Institute

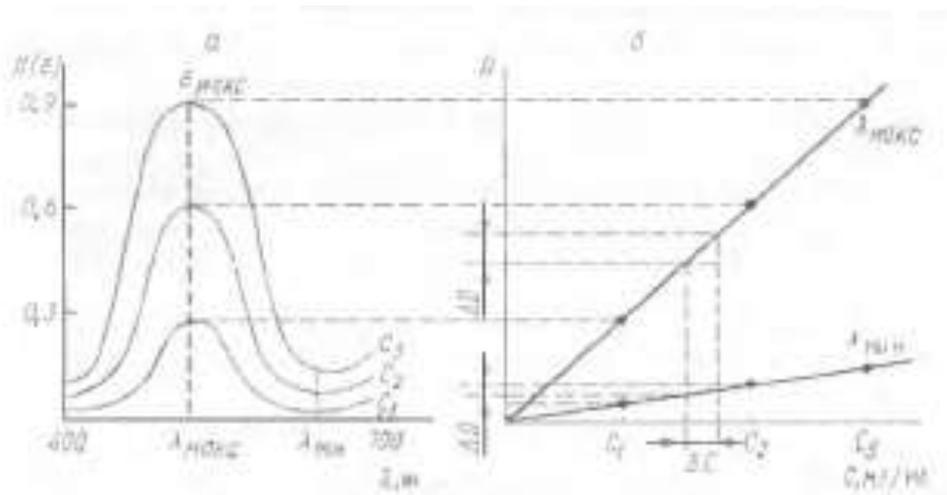
**Abstract.** The absorption phenomenon is widely used in the absorption spectroscopic analysis of a gas mixture based on measurements of the frequency spectra and intensities of absorption lines. The structure of the absorption spectra is determined by the composition and structure of the molecules, so the study of absorption spectra is one of the main methods of quantitative and qualitative research of substances.

**Keywords:** photocolorimetric measurements, photoelectrocolorimeter, spectrophotometer, photocell, light filters, spectrum, collimator, lens.

Поглощение веществами излучений ультрафиолетовой (длины волн от 185 до 400 нм) и видимой (400-760 нм) областей спектра связано с электронными переходами в молекулах и ионах. Поглощение в инфракрасной области (0,76-1000 мкм) определяется колебательными и вращательными переходами.

В фотоколориметрическом анализе исследуются монохроматические излучения. Фотоколориметрические измерения выполняются при помощи сравнительно несложной аппаратуры; точность этих измерений составляет 1-2%.

Спектрофотометрия основана на использовании довольно сложных по устройству приборов-спектрофотометров, позволяющих разделять исследуемое излучение на составляющие компоненты (монохроматические лучи) и измерять их с точностью 0,1-0,5%. При определении концентраций обычно измеряют оптическую плотность при длине волны, отвечающей максимальному поглощению. Значению  $\lambda_{\text{макс}}$  отвечает наибольшая чувствительность определения (рис. 1).



**Рис. 1. Сравнение точности фотометрического определения при различных длинах волн поглощаемого света: а - спектры поглощения растворов; б - зависимость  $D$  от  $C$  при  $\lambda_{max}$  и  $\lambda_{min}$**

При  $\lambda_{max}$  угол наклона прямой (первая производная оптической плотности по концентрации) и, следовательно, чувствительность определения значительно выше, чем при  $\lambda_{min}$ . Чувствительность фотометрического определения концентрации характеризуется непосредственно величиной молярного коэффициента поглощения. Это вытекает из математического выражения основного закона светопоглощения:

$$D = kCl.$$

Продифференцировав это выражение, получим:

$$\frac{dD}{dC} = k \frac{\Delta D}{\Delta C} = k.$$

Следовательно, коэффициент молярного поглощения численно равен тангенсу угла наклона калибровочной прямой. Чем больше значение  $k$ , тем выше чувствительность определения. Поэтому при  $k_{max}$  чувствительность фотометрического анализа наибольшая. Увеличение чувствительности и точности фотометрического определения достигается применением светофильтров, пропускающих излучение лишь в определенном интервале длин волн. Светофильтры позволяют выделить из всего спектра только те лучи, которые отвечают максимуму поглощения исследуемого вещества. Точность фотометрического определения тем выше, чем более узкую полосу спектра удастся выделить светофильтром. В связи с этим применение спектрофотометров, позволяющих измерять интенсивность монохроматических лучей, даст наиболее точные результаты. Степень монохроматизации излучений относится к числу важнейших характеристик приборов, применяемых для измерения оптической плотности. Различаются приборы также по характеру источника излучения, качеству оптики и приемников излучений (фотоэлементов). Источниками излучений могут служить вольфрамовые лампы накаливания (350-3500нм), ртутно-кварцевые (315-630нм), водородные лампы (220-350нм) и другие. Оптические детали приборов, применяемых для измерений в видимой и ближней инфракрасной области, обычно сделаны из стекла. Для измерений в ультрафиолетовой области применяют кварцевую оптику. В качестве приемников нашли применение два типа фотоэлементов: элементы с запирающим слоем (например, селе-

новый фотоэлемент) и элементы с внешним фотоэффектом (вакуумные и газонаполненные баллоны).

Первые нашли применение при измерениях в видимой и ультрафиолетовой областях спектра, вторые в инфракрасной области. Светофильтры обычно представляют собой стеклянные пластинки (в некоторых случаях желатиновые пластинки или окрашенные жидкости), пропускающие излучение в сравнительно узком интервале длин волн. Отдельные стекла, как правило, имеют сравнительно широкую полосу пропускания. Например, зеленое стекло пропускает полосу до 100 нм. Фильтры, составленные из двух или нескольких окрашенных стекол, пропускают более узкую полосу. Применяемые в некоторых современных приборах интерференционные фильтры имеют пропускание в интервале менее 20 нм.

В спектрофотометрах излучение разлагается на компоненты при помощи дифракционных призм или решеток. Полученный спектр направляется на щель, которая пропускает лишь узкий пучок света. Путем поворота призмы или перемещением щели достигается последовательное пропускание монохроматических лучей по всей ширине спектра. На рис. 2 приведена принципиальная оптическая схема наиболее распространенных фотоэлектроколориметров (ФЭК-М, ФЭК-Н-57, ФЭК-56).

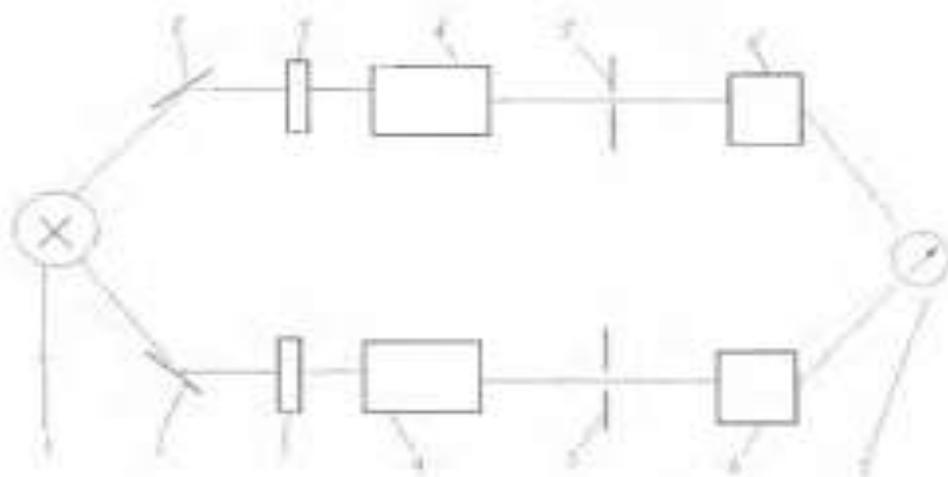
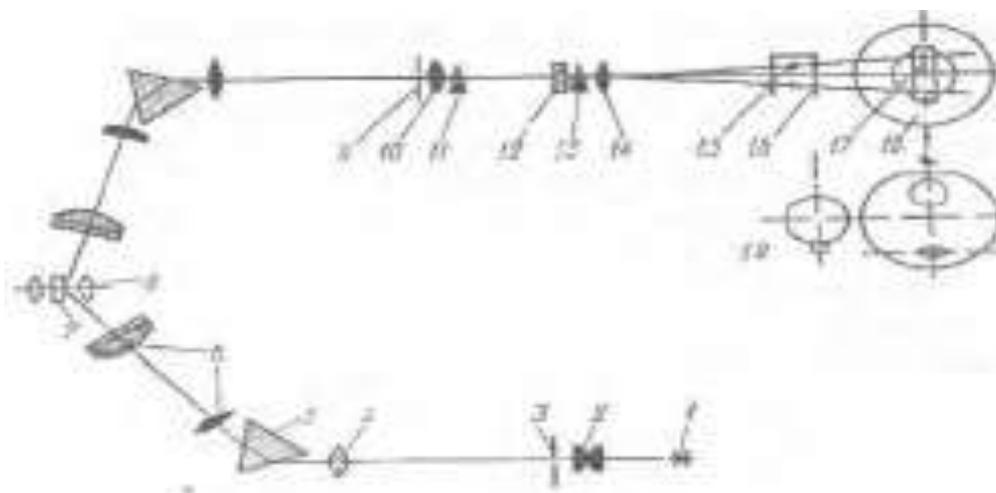


Рис. 2. Оптическая схема фотоэлектроколориметров (ФЭК- М, ФЭК-Н- 57, ФЭК-56):  
1 - источник света; 2, 2'- зеркала; 3, 3'-светофильтры; 4, 4'-кюветы; 5, 5' - диафрагмы или клинья; 6, 6' - фотоэлементы; 7- прибор - индикатор.

Потоки излучения, идущие от одного и того же источника (1), отражаясь от зеркал (2 и 2'), проходят через светофильтры (3 и 3'), кюветы (4 и 4'), диафрагмы (5 и 5') и попадают на фотоэлементы (6 и 6'). Диафрагмы соединены с барабанами, которые калиброваны в значениях оптической плотности или пропускания. Поворотом барабанов можно сужать или расширять щели диафрагм. Фотоэлементы соединены с прибором-индикатором и между собой по дифференциальной схеме, которая обеспечивает нулевое положение прибора-индикатора при равенстве интенсивности фотопотоков. Одна из диафрагм служит для установки нулевого отсчета ( $D=0$ , или 100% пропускания), другая для отсчета оптической плотности или пропускания исследуемого раствора. Сначала в оба потока кюветы с нулевыми (например, неокрашенными) растворами и, меняя ширину щели диафрагмы нулевого отсчета, устанавливают нулевое показание прибора-индикатора. Затем вводят в поток лучей, проходящих через измерительную диафрагму, кювету с исследуемым раствором и с

помощью этой диафрагмы снова выводят прибор-индикатор на нулевое показание. Отсчет по барабану измерительной диафрагмы показывает оптическую плотность (или процент пропускания) исследуемого раствора. Оптическая система спектрофотометра (рис.3) включает осветитель, монохроматор и фотометр поляризационного типа.



**Рис. 3. Оптическая схема спектрофотометра СФ-14:** 1-источник света; 2-конденсатор; 3-входная щель; 4-объектив коллиматора; 5- диспергирующая призма; 6-объектив первого монохроматора; 7- зеркало; 8-нож; 9-выходная щель; 10-линза; 11-преломляющая призма Рошона; 12-диафрагма; 13-призма Волластона; 14-линза; 15-полулинзы; 16-барабан прерывателя; 17-лрзма, отклоняющая оба пучка на 90°: 18-интегрирующий шар; 19-фотоэлемент.

Приемноусилительная часть новейших видов спектрофотометров снабжена записывающим механизмом. Для измерения оптической плотности (или пропускания) жидких растворов имеется набор парных кювет (с толщиной слоя 5,10,20, и 50 мм), которые помещаются в специальной кюветной камере, размещенной по ходу лучей между барабаном прерывателя (16) и призмой (17). Твердые прозрачные образцы также помещаются в кюветной камере в специальных держателях. Порошки, исследуемые на отражение излучения, помещают в кювету, расположенную в нижней части интегрирующего шара. Результаты измерений записываются автоматически на специальном бланке в виде кривой зависимости оптической плотности (или пропускания) от длины волны. Измерение, таким образом, дает полную спектральную характеристику исследуемого образца в данной области спектра. Спектрофотометры типа СФ-10 и СФ -14 позволяют измерять спектральные характеристики в диапазоне длин волн 400-750нм. Спектрофотометр СФ-8 имеет диапазон длин волн 210-2500 нм, т.е. дает возможность проводить измерения как в видимой, так и в ультрафиолетовой и ближней инфракрасной областях спектра. С помощью спектрофотометра типа СФ- 9 могут быть записаны спектры жидких и твердых веществ при комнатной температуре в интервале длин волн 186-2500 нм. Прибор позволяет также излучать спектры в указанном интервале длин волн при температуре жидкого гелия.

В лабораторной практике для определения концентраций окрашенных соединений (поглощение в видимой области спектра) наряду с приборами совершенных конструкций, спектрофотометрами и фотоэлектроколориметрами нередко применяются более простые по устройству приборы, называемые колориметрами. Измерения с помощью этих приборов основаны на сравнении интенсивности окраски стандартного раствора определяемого соединения с интенсивностью окраски исследуемого раствора. Кроме того, определение

концентраций с точностью порядка 10% возможно методом визуального сравнения окраски исследуемого раствора со шкалой стандартных растворов переменной концентрации. Фотометрические методы анализа могут применяться для непосредственного определения концентраций ионов или молекул, окрашенных в видимой, ультрафиолетовой или инфракрасной областях спектра. Но в большинстве случаев фотометрическому определению предшествует перевод определяемого компонента в окрашенное соединение с помощью соответствующих химических реакций. Как правило, высокой интенсивностью и избирательностью поглощения света обладают комплексные соединения. В особенности это относится к соединениям неорганических ионов с органическими реагентами.

Поскольку образование комплексных соединений в растворах представляет собой равновесный процесс типа  $M + nL \rightarrow ML_n$ , точность определения элемента  $M$  зависит как от точности измерения концентрации окрашенного соединения  $ML_n$ , так и от полноты связывания определяемого элемента в окрашенное соединение. Чтобы связывание было достаточно полным, выбирают реагенты и условия реакций с таким расчетом, чтобы равновесие было смещено вправо до практически полного связывания определяемого элемента. Если устойчивость соединения  $ML_n$  не достаточно высокая, полнота связывания может быть достигнута применением избытка реагента. На степень связывания металла в окрашенный комплекс сильное влияние могут оказывать посторонние вещества, присутствующие в анализируемом растворе. Если эти вещества изменяют степень окисления иона металла или связывают его в комплексное соединение, их действие может привести к полному разрушению окрашенного продукта металла с реагентом, выбранным для фотометрического определения. Так, при определении  $Fe^{3+}$  в виде окрашенного роданидного комплекса, имеющего сравнительно невысокую устойчивость ( $K_{Fe(CNS)_2} \approx 9 \cdot 10^{-4}$ ), мешающее действие могут оказывать фторид-ионы или фосфат-ионы, связывающие железо (III) в более прочный комплекс. Этому определению мешает также наличие в растворе сильных восстановителей, способных изменять степень окисления железа от 3+ до 2+ (ионы  $S$ ,  $SO$  и т.д.).

Таким образом избежать влияния примесей на фотометрические определения во многих случаях удастся сочетанием процесса комплексного образования с экстракцией полученного окрашенного комплекса органическими растворителями. Поскольку соединения металлов с органическими лигандами обычно хорошо растворимы в органических жидкостях, несмешивающихся с водой, эти комплексы сравнительно легко и, как правило, количественно переходят в органическую фазу. Ионы неорганической природы при этом остаются в водном растворе, и действие их значительно уменьшается. Кроме того, экстрагирование окрашенного комплекса дает возможность сконцентрировать его в небольшом объеме органического растворителя из как угодно разбавленного водного раствора. Это в большой мере повышает чувствительность и точность фотометрических определений.

### Список литературы

1. Пономарёв А.И. Методы химического анализа минералов и горных пород. М.: Издательство Академии Наук, 1955, т. 1.
2. Барченков В.В. Основы сорбционной технологии извлечения золота и серебра из руд. М.: Металлургия, 1982.

## О КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

ФАЙЗУЛЛИН Р. М., КАРЯКИН А. Л.  
Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** Авторы статьи рассматривают систему автоматизированного восстановления сети на основе технологического базиса SMART GRID и описывают схему распределительной сети посредством программируемой логики и автоматики управления (поврежденный участок может быть автоматически исключен из электрической схемы с сохранением работоспособности неповрежденной части).

**Ключевые слова:** интеллектуальная энергосистема, функция автоматизированного восстановления электрической сети, изоляция поврежденного участка, электрическая схема.

## THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF THE ELEMENTS OF THE SMART GRID

FAYZULLIN R. M., KARYAKIN A. L.  
Ural State Mining University

**Abstract.** The authors of the paper consider the system of automated network recovery on the basis of the technological basis of SMART GRID and describe the scheme of the distribution network by means of programmable logic and automation control.

**Keywords:** SMART GRID, the automated restore function of electrical system, isolation of the damaged area, the electrical circuit.

В последнее десятилетие в передовых странах мира развивается технология Smart Grid (интеллектуальная сеть). Существуют уже десятки пилотных проектов, где применение «умных счетчиков», «умных лифтов», «умных домов», использование солнечной и ветровой энергии в сочетании с «умными домами» дает существенный выигрыш потребителю в оплате услуг энергетических организаций. Электроснабжающие организации, в свою очередь, получают положительный эффект благодаря сглаживанию графика пиковой нагрузки и уменьшению потерь электроэнергии.

При разработке данной концепции основное внимание было уделено развитию элементов интеллектуальной энергосистемы на высоком и сверхвысоком напряжении, хотя эффекты от ее внедрения рассмотрены в комплексе по всей энергосистеме.

Базовой схемой в реализации интеллектуальных сетей является выпрямитель, современной реализацией которого может служить преобразователь с коррекцией коэффициента мощности. Они используются, для питания различных потребителей и образуют два класса, называемых активным выпрямителем напряжения (АВН) и активным выпрямителем тока (АВТ.). Оба класса схем состоят из моста, собранного на IGBT транзисторах с обратными диодами и фильтров на стороне переменного и постоянного токов. Эти схемы имеют ряд достоинств:

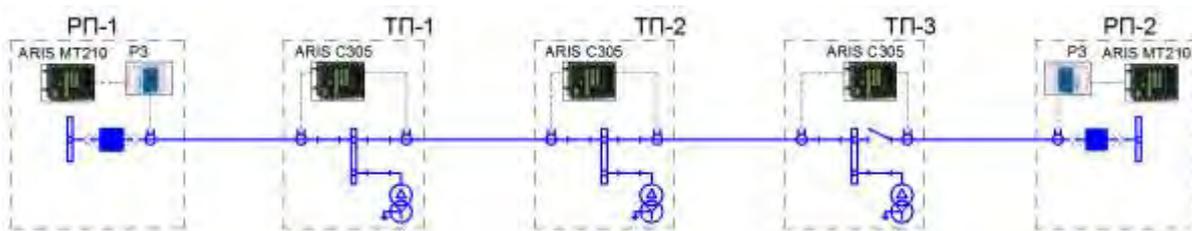
- двусторонний обмен энергией с сетью;
- близкий к синусоидальному входной ток;
- возможность получения близкого к единице коэффициента мощности;
- регулирование и стабилизация напряжения (тока) на выходе.

Однако, несмотря на большой спрос, в промышленных масштабах эти преобразователи выпускаются в очень малых объемах. Одной из причин этого является сложность алгоритмов управления этими преобразователями. В рамках данной статьи мы бы

хотели рассмотреть систему автоматизированного восстановления сети (системы секционирования сети) технологического базиса SMART GRID [2].

В общем случае функция автоматизированного восстановления электрической сети на базе системы секционирования заключается в том, что распределительная сеть посредством программируемой логики и автоматики управления состоянием коммутационных аппаратов может быть сконфигурирована таким образом, что при повреждении участка сети, поврежденный участок может быть автоматически и/или с применением дистанционных средств управления исключен из электрической схемы с сохранением работоспособности неповрежденной части и обеспечением электроснабжением максимального числа потребителей данной схемы.

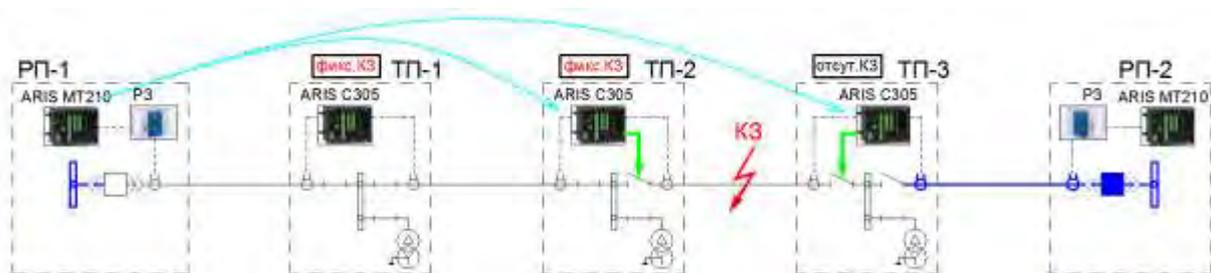
Таким образом, организуются два луча с односторонним питанием – от РП-1 до ТП-3 и от РП-2 до ТП-3. Схема сети указана на рис. 1.



**Рис. 1. Схема распределительной сети: ARISMT210, ARISC305 – многофункциональные контроллеры производства ООО «Прософт-Системы», г. Екатеринбург**

При возникновении короткого замыкания на одном из лучей ток протекает от РП-1 через ТП-1 и ТП-2 к точке КЗ. На каждой ТП устанавливается контроллер, фиксирующий короткие замыкания в сети. В приведенном примере КЗ фиксируется на ТП-1 и ТП-2 на вводной и отходящей линиях. Релейная защита (РЗ), установленная на РП-1, при срабатывании запускает алгоритм определения КЗ на головном контроллере, расположенном на РП-1. Головной контроллер при запуске алгоритма собирает информацию о фиксации КЗ и положении выключателей с каждой ТП вплоть до РП-2. Также алгоритм проверяет, какой выключатель нагрузки отключен, начиная от РП-1 вплоть до РП-2. Указанный выключатель ограничивает использование данных в алгоритме о фиксации КЗ от последующих выключателей.

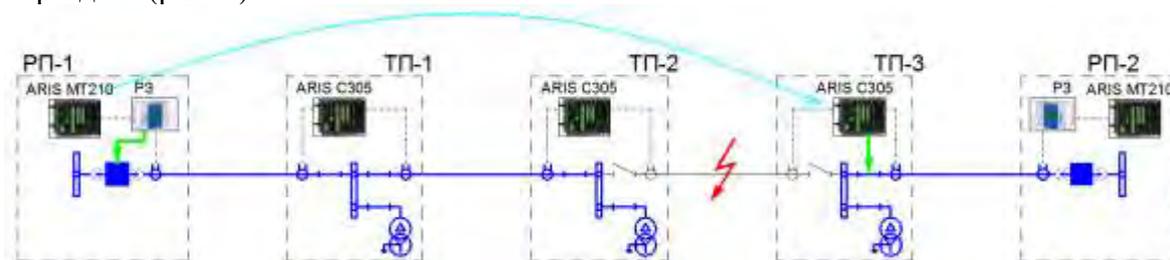
Сравнивая данные о фиксации КЗ от контроллеров на ТП последовательно, начиная от РП вниз по лучу, алгоритм определяет поврежденный участок. Учитывая текущую схему, алгоритм принимает решение об отключении выключателей нагрузки на ТП-2 и ТП-3 для изоляции КЗ (рис. 2).



**Рис. 2. Изоляция поврежденного участка**

После получения информации от локальных контроллеров об отключенном положении выключателей нагрузки на ТП-2 и ТП-3 головной контроллер подает команды

на включение головного выключателя, который был отключен РЗ, и выключателя потококораздела (рис. 3).



**Рис. 3. Включение головного выключателя и выключателя потококораздела**

Выключатель потококораздела – это выключатель, который делит луч, имеющий питание с двух концов, на два луча с односторонним питанием. Этот выключатель отключен и с обеих сторон от него присутствует напряжение. Информация, какой выключатель является указанным, определяется каждым локальным контроллером на ТП независимо и хранится до момента изменения конфигурации сети. В аварийном режиме состояние выключателя потококораздела запоминания на время большее, чем задержка централизованного алгоритма на выдачу управляющих воздействий.

При фиксации включения головного выключателя головной контроллер квитировывает срабатывание РЗ на головном выключателе, после чего алгоритм готов к новому пуску.

Таким образом, питание всех потребителей полностью восстанавливается.

Учитывая, что выключатель потококораздела определяется локальными контроллерами, после локализации аварийного участка выключатель потококораздела перестанет существовать (ни один локальный контроллер не определит свой выключатель таковым). Восстановленные лучи станут тупиковым (последний отключенный выключатель не будет, является выключателем потококораздела) и дальнейшие КЗ будут приводить к отключению поврежденного участка и включению головного выключателя.

Аналогичный алгоритм функционирует на головном контроллере, расположенном на РП-2. Системой предусмотрен обмен данными между головными контроллерами одного луча с целью исключения перекрещивания защищаемых участков луча с двух сторон, которые могут возникнуть при не поступлении информации о положении выключателей после переконфигурации сети [2,3,4]. Таким образом, ведущая роль при модернизации электроэнергетики на новых принципах отводится электрической сети как структуре, обеспечивающей надежные связи генерации и потребителя. Новейшие технологии, применяемые в сетях, обеспечивающие адаптацию характеристик оборудования к режимной ситуации, активное взаимодействие с генерацией и потребителями, позволяют создать эффективно функционирующую систему, в которую встраиваются современные информационно-диагностические системы, системы автоматизации управления всеми элементами, включенными в процессы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

### Список литературы

1. ГОСТ 34.603-92 Виды испытаний автоматизированных систем.
2. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.
3. Положение о единой концепции создания «умных сетей» в распределительных сетях 10(6) кВ ОАО «Сетевая компания» Казань 2016г.
4. Радиоэлектроника, электроника и энергетика. Д.Е Кондратьев Двенадцатая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: МЭИ, 2006.

# ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

---

УДК 514

## ТРУДНОСТИ ОБУЧЕНИЯ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ, И В ЧАСТНОСТИ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

САВИНА Т. Е.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

*Аннотация.* Освоение начертательной геометрии всегда было для большей части студентов достаточно сложным, что связано с объективными причинами. На сегодняшний день, во время всеобщей компьютеризации, когда статус начертательной геометрии легкомысленно принижают, возникают новые трудности в обучении НГ. В статье рассматриваются некоторые принципы и пути, способствующие повышению эффективности обучения геометро-графическим дисциплинам, в частности начертательной геометрии.

*Ключевые слова:* геометро-графическое обучение, начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика, САПР, видеолекции.

## DIFFICULTIES OF TRAINING TO GEOMETRIC GRAPHIC DISCIPLINES AND IN PARTICULAR DESCRIPTIVE GEOMETRY

SAVINA T.E.

Ural State Mining University

*Abstract.* Mastering of descriptive geometry was always difficult for the most part of students. Today in training of descriptive geometry there are new difficulties. These difficulties are connected with thoughtless understating of the status of descriptive geometry during a total computerization. In article some principles and ways promoting increase in efficiency to training of the geosubway – to graphic disciplines, in particular descriptive geometry are considered.

*Keywords:* geosubway-graphic training, descriptive geometry, engineering and computer graphics, CAD system, video lectures.

Начертательная геометрия представляет собой раздел геометрии, в котором пространственные формы предметов окружающего мира и соответствующие геометрические закономерности изучаются при их изображении на плоскости. В последнее время плоскость чертежа рассматривают не только как классический чертеж, но и как экран компьютера. Изучение геометро-графических дисциплин в ВУЗах кроме общеобразовательных преследует и специфические цели: формирование и развитие пространственного мышления обучаемых, которые крайне актуальны для современного инженера. Так в современных условиях, когда развитие информационных технологий во всех сферах общественной деятельности позволяет быстро и точно визуализировать воспринимаемую информацию, возрастают требования к визуально-образным навыкам, базой для развития которых и является начертательная геометрия.

Процесс освоение начертательной геометрии дается студентам достаточно сложно. Трудности связаны с тем, что начертательная геометрия, не имеющая аналогов по ее изучению с другими дисциплинами, приходится на первый семестр и совпадает с периодом адаптации студентов. Студенты еще не овладели методикой обучения в ВУЗе, не научились слушать и конспектировать лекции, планировать и организовывать

свою самостоятельную работу, свое рабочее место и т. д. Пропустив лекцию и не проработав материал самостоятельно, студент, как правило, уже не понимает материал следующей лекции, отстает и теряет интерес к предмету.

Очень низкая базовая школьная подготовка первокурсников. Курс черчения был исключен из общей школьной программы несколько лет назад. Только в немногих школах преподают этот предмет в качестве факультатива или вместо нескольких часов технологии в старших классах. Школьный курс информатики не формирует навыки работы с графическими пакетами.

Недостаток аудиторных часов для изучения дисциплины, требующей большого внимания и сосредоточенности, абстрактного мышления. Также следует отметить отсутствие у вчерашних школьников умения самостоятельной работы с научной литературой. Общеизвестно, что особую трудность для большинства студентов представляет мысленное оперирование пространственными фигурами. Это связано с тем, что только 30% населения земного шара наделено от рождения пространственным представлением, а 70% вынуждены его развивать.

Всеобщая компьютеризация проектирования практически не оставляет места для документов выполненных вручную, что на первый взгляд принижает статус начертательной геометрии. Современные САПР имеют возможности создания, представления, обработки и хранения 3D объектов в виртуальном пространстве, однако успешное освоение и грамотная работа в САПР не возможна без знания теоретических основ начертательной геометрии.

Для успешного обучения геометро-графическим дисциплинам необходимо:

- изложение материала в строгой логической последовательности от простого к сложному, добиваясь планируемого усвоения системы знаний, умений и навыков. При представлении учебного материала следует уделить внимание тому, что умение правильно (корректно) формулировать условие задачи должно формироваться на всех стадиях обучения, поскольку правильно сформулированная задача позволяет определить количество параметров искомого объекта, что облегчает решение задачи. Обязательным логическим этапом обучения, особенно на начальной стадии, является определение последовательности действий при решении задачи – алгоритма. При самостоятельном решении задач студент будет опираться на представленную последовательность действий. Что обеспечивает принцип доступности, который предполагает формирование у студентов основных понятий курса в процессе решения геометро-графических задач;

- использовать принцип наглядности. Этот принцип требует на определенных этапах разного вида наглядности – конкретной (натуральной, образной) и абстрактной (символической, графической – модели, карты, схемы, знаковые системы). Особенностью лекций по начертательной геометрии является необходимость воспроизведения изображений на доске, при выполнении чертежей должны выдерживаться относительная толщина линий, шрифт и другие требования стандартов ЕСКД, для повышения наглядности используются цветные мелки. В связи с тем, что некоторые темы особенно трудно используются для обучения, при их изучении следует применять предметные модели. Так, например, при решении задачи на определение натуральной величины треугольника способом вращения вокруг линии уровня, процесс вращения можно продемонстрировать на чертежном инструменте – треугольнике. А при решении задач, на пересечение поверхностей, большей наглядности можно добиться при использовании динамической 3D модели виртуального пространства САПР, не исключая при этом изучения методов и навыков построения вручную;

- использование для проработки и закрепления материала курса видеoverсий лекций по начертательной геометрии, подготовленного преподавателями кафедры Инженерной графики УГГУ или других ВУЗов;
- при недостатке часов геометро-графических дисциплин для некоторых направлений подготовки, например 21.05.03 «Технология геологической разведки.», предлагается изучать САПР параллельно в рамках курса «Информатика»;
- обращать внимание на связь теории с практикой. При решении учебных заданий необходимо подводить студентов к пониманию значения теории и практики в жизни и профессиональной деятельности. Теория дает познание мира, практика учит эффективно на него воздействовать.

### Список литературы

1. Шангина Е. И. Методологические основы формирования структуры и содержания геометро-графического образования в техническом ВУЗе в условиях интеграции с общеинженерными и специальными дисциплинами: дис. ... д-ра пед. наук. МГИУ. 2010.
2. Кайгородцева Н. В. История и современное состояние геометро-графического образования // Высшее образование в России. 2013. № 4. С. 112-116.
3. Полежаев Ю. О., Тельной В.И. Методика изучения дисциплины «Начертательная геометрия» // Вестник МГСУ. 2007. № 1. С. 82.

УДК 371.015.151.8

## СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ШАНГИНА Е. И.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Формирования современной профессиональной компетентности становится одной из основных функций всего процесса подготовки будущих инженеров. Все это обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования содержания образования и повышения качества учебного процесса в системе высшего инженерного образования за счет интеграции образования, науки и производства. В статье рассмотрены проблемы и тенденции развития современного высшего образования, требования, предъявляемые к будущим инженерам. Раскрыты процессы возникновения вопросов, связанных с необходимостью преобразования начертательной геометрии в теорию геометрического моделирования. Рассмотрен принцип построения геометро-графических дисциплин в современных условиях.

**Ключевые слова:** инженерное образование, геометро-графические дисциплины, начертательная геометрия, теория геометрического моделирования, интеграция.

### MODERN METHODOLOGY OF GEOMETRIC-GRAPHIC EDUCATION

SHANGINA E. I.

Ural State Mining University

**Abstract.** Formation of modern professional competence becomes one of the main functions of the whole process of training of future engineers. All this makes it necessary to further improve the content of education and improve the quality of the educational process in higher engineering education through the integration of education, science and production. Examined in the article are problems and trends of development of the modern higher education, requirements presented to future engi-

neers. Processes of arising questions associated with necessity convert of descriptive geometry to theory of geometry modeling are revealed. The principle of structuring geometry-graphics disciplines in modern conditions is examined.

**Keywords:** engineering education, geometric-graphic disciplines, descriptive geometry, theory of geometric modeling, integration.

Современные потребности повышения качества российского высшего инженерного образования ставят перед педагогической наукой задачу определить источники и направления реформирования высшего инженерного образования. Ускоренно развивающиеся процессы информатизации и интеграции различных сфер деятельности, рост информационных потоков и инноваций в области производства и образования обуславливают необходимость постоянного обновления знаний выпускников и повышения качества их подготовки.

Проблема интеграции имеет принципиальное значение как для развития научных основ педагогики, так и для практической деятельности преподавателей; она связана с проблемой отбора и структурирования содержания образования, узловыми вопросами которой являются выделение структурных элементов содержания образования и определение системообразующих связей между ними, что подтверждается сквозным значением этих вопросов в истории развития педагогических теорий, в процессе становления высшей инженерной школы, а также тенденциями научных исследований в педагогике на современном этапе.

Одним из концептуальных положений обновления содержания высшего инженерного образования в XXI веке становится компетентностный подход, применение которого ведет к новому видению самого содержания образования, его методов и технологий. Одной из основных единиц обновления содержания образования выступает понятие компетентности (интегративное свойство личности, обусловленное совокупностью качеств личности студента – знаний, умений, навыков, опыта, способностей, ценностно-смысловых ориентаций, которые обеспечивают и усиливают его готовность к работе по специальности), характеристика ее видов и состава.

Интеграция наук имеет принципиальное значение как для процесса формирования профессиональной компетентности будущих инженеров, так и для последующей профессиональной деятельности. Большинство студентов инженерных вузов пока не осознают необходимости изучения общепрофессиональных дисциплин, в число которых входят геометро-графические дисциплины, и, прежде всего, начертательная геометрия и инженерная графика, являющиеся базой для геометро-графической подготовки специалистов в техническом вузе. Геометро-графические дисциплины предназначены, по самой своей сути, обеспечивать преподавание целого ряда курсов в техническом вузе, поскольку интеллектуальная деятельность инженера обуславливает оперирование геометро-графическими визуальными образами. Следует отметить, что начертательная геометрия и инженерная графика служат базой для компьютерной графики.

Существующие формы и методы преподавания геометро-графических дисциплин обособлены от общеинженерных и специальных дисциплин и ориентируют на решение проблем, связанных с проектно-чертежной деятельностью, не придавая значения развитию у студентов способности к геометро-графическому моделированию. В результате изолированного изучения начертательной геометрии и инженерной графики от общеинженерных и специальных дисциплин у студентов слабо формируются компетентности, позволяющие им правильно ориентироваться в практических заданиях, применять знания для решения прикладных задач, связанных с будущей специальностью. Студенты не умеют переносить знания, полученные при изучении этой комплексной дисциплины (начертательной геометрии и инженерной графики), для объяснения процессов и явлений, изучаемых в других дисциплинах. Все это отрицательно

сказывается на эффективности процесса обучения в целом, и геометро-графическим дисциплинам в частности. Осознание же студентами значимости изучаемых дисциплин в их взаимосвязи и взаимодействии, что необходимо для глубокого научного познания и теоретического осмысления различных явлений и процессов, определяется междисциплинарными компетентностями. Именно формирование междисциплинарных компетентностей – способности к синтезу научных знаний, комплексному рассмотрению всех объектов и явлений в их взаимодействии и развитии, обеспечивает последующую эффективную профессиональную деятельность инженеров с учетом быстрого изменения содержания труда и обновления прикладных задач. В таких условиях учебные планы должны базироваться на интеграции образования, науки и производства.

В современных условиях роль геометро-графической подготовки существенно расширяется. Инвариантной относительно предметного содержания функцией интеллектуальной деятельности технического специалиста является оперирование геометрическими визуальными образами (графиками, схемами и геометро-графическими моделями объектов), что ставит изучение цикла геометро-графических дисциплин на особое место. Бурное развитие информационных технологий во всех сферах общественной деятельности, позволяющие быстро и точно визуализировать воспринимаемую информацию, предъявляет возросшие требования к визуально-образным навыкам. Это связано с тем, что визуальная информация (в том числе, получаемая посредством информационных технологий) повышает информационную емкость восприятия современного выпускника, обеспечивает его интерактивное взаимодействие с моделью, ориентирует его на преобразование абстрактно-логической информации в визуально-образную, позволяя упростить процесс решения инженерных задач, тем самым, обеспечивая интеграцию общеинженерных и специальных дисциплин. Преимущество получают те специалисты, мышление которых способно к синтезу образного и рационального. Развитию способности к такому синтезу в значительной мере способствует овладение методами геометрического моделирования объектов и процессов. Более того, глубокое овладение специалистом методами и приемами геометро-графического моделирования, проявляющееся в умении строить полную цепочку использования компьютера (реальная ситуация, алгоритм, визуализация геометро-графической модели, анализ результатов), отражает суть междисциплинарного содержания образования, обеспечивающего естественную интеграцию дисциплин. Подчеркнем, что модели, основанные на геометро-графических методах (с возможностью визуализации модели) нередко оказываются на практике более эффективными, нежели чисто аналитические модели. Поэтому освоение теории геометрического моделирования (с компьютерной визуализацией) нужно рассматривать не в узком смысле геометро-графической подготовки, а как самоценный компонент геометро-графического образования.

На протяжении всей истории развития научной мысли геометрический (визуально-образный) метод решения задач являлся ее важнейшей неотъемлемой частью. Геометрия в настоящее время все больше выступает как метод познания и образ мышления. Геометрический язык (визуально-образный) используется в науке, технике, искусстве, повседневной жизни. На практике геометро-графические модели, отражающие структуру оригинала, находят широкое применение в связи с проектированием сложных объектов. Эти модели позволяют решать задачи, связанные с компоновкой объектов, трассировкой, дизайном, строительством, архитектурой, решением оптимизационных задач, основу которых составляют линейные и нелинейные формы. Академик А.Д. Александров писал о том, что вся техника пронизана геометрией и начинается с геометрии, ибо всюду, где нужна малейшая точность размеров и форм, где нужна структурность взаимного расположения частей – там вступает в силу геометрия. Главную

особенность геометрии он видел в сочетании строгой логики с наглядными представлениями.

Современная наука убедительно говорит о том, что изображение объектов существенно облегчает восприятие связанной с ними информации. Это объясняется тем, что при чтении словесного текста глаз и мозг работают в сукцессивном режиме (медленный прием детальной информации с помощью центрального зрения), а при восприятии изображений доминирует симультанный режим (быстрый панорамный прием обзорной информации с помощью периферийного зрения).

При симультанном (simultaneous) восприятии система «глаз – мозг» обладает способностью быстро, практически мгновенно воспринимать огромные объемы зрительной информации. При сукцессивном (successive) восприятии производится тщательный последовательный анализ важной информации, первичное выделение которой произошло в ходе симультанного восприятия. Таким образом, можно сказать, что замена текста эквивалентным ему изображением (визуальным образом) обеспечивает увеличение скорости работы мозга при переходе от медленного сукцессивного восприятия текста к быстрому симультанному восприятию визуального образа. Даже если не используется изображение, а только текст, то он выполняет визуальные функции, т. е. воспринимается человеком не только в смысловом значении, но и в изобразительном, поскольку оценивается его размер, композиция, включающая симметрию и пропорциональность, начертание шрифта, форма и др. Говорят, что одно изображение стоит тысячи слов, и это действительно так при условии, что изображение хорошее. Последнее условие является существенным, т. к. неумелое использование рисунков, чертежей, графиков, схем и т. п. (т. е. изображений) может принести только вред.

В познавательной деятельности то, что получает вербализованную реализацию, – это только видимая часть процесса познания (вторая сигнальная система по И.П. Павлову). Между тем, путь к основательным знаниям лежит через усиление первосигнальных компонентов знания, ближайших проводников окружающей действительности. Это подсознательные механизмы симультанного мышления, ускоренной переработки информации, которую человеческий мозг унаследовал от нервных систем предшественников на эволюционной лестнице развития. Психофизиологические исследования показали, что у лиц с преобладанием первой сигнальной системы (по И.П. Павлову) фокусы взаимодействия локализовались преимущественно в правом полушарии головного мозга, а у лиц с преобладанием второй, речевой системы – в левом.

Нейропсихологические экспериментальные исследования асимметрии полушарий головного мозга человека, полученные Р. Сперри (1978), за что он получил Нобелевскую премию, показывают, что «немое» правое полушарие способно осуществлять сложную когнитивную деятельность, производя анализ каждой отдельной порции информации. В правом полушарии головного мозга человека представлено, в основном, невербальное образное мышление. Оно работает по нелинейному принципу образования ассоциаций, симультанно «схватывает» окружающую среду как целое по восприятию какой-либо отдельной ее части, т.е. одномоментное обрабатывание большого числа информационных элементов. Левое полушарие головного мозга можно назвать аналитическим, а правое – носителем подсознательного творческого потенциала (З. Фрейд). С правым полушарием связано восприятие процесса творчества и ориентация в пространстве. Развитое визуально-образное мышление – это важный элемент не только образования, но и важный компонент общей культуры человека.

Обучение, не учитывающее функциональную асимметрию полушарий головного мозга, а, наоборот, склонное развивать только аналитический тип мышления, подавляет развитие творческого (визуально-образного) мышления.

Следует отметить группу проблем, порожденных постоянным расширением спектра направлений профессиональной деятельности инженера, связанных с современным уровнем развития науки. В них ярко выражена интеграция общественных, естественнонаучных и технических знаний, специфика которых уже не позволяет в процессе обучения использовать имеющиеся методические наработки в готовом виде. В частности, учебник, по-прежнему выступающий как основной инструмент методического обеспечения и источник знаний, должен иметь не только обучающий, но и развивающий характер, тем самым, помогая студенту, на основе ранее усвоенных знаний, формировать новые знания, которые в дальнейшем войдут в интеллектуальный аппарат личности и применимы в процессе самостоятельных поисков и открытий.

Отмеченные проблемы объективно порождены процессами, происходящими на современном этапе развития общества. Необходимо отметить заметную в последние десятилетия тенденцию сокращения объема аудиторных часов вообще и в частности, отводимых на изучение курса начертательной геометрии и инженерной графики, и увеличения удельного веса самостоятельной работы студентов, в целом. Эта тенденция имеет как объективные, так и субъективные причины, основными из которых являются:

- мнение о начертательной геометрии как обеспечивающей дисциплины лишь курса черчения нередко дает основание считать ее значение в области образования постепенно снижающимся в связи с широким внедрением компьютерной графики в учебный процесс и инженерную практику;

- представление, что геометро-графические методы решения задач, изучаемые в традиционном курсе начертательной геометрии, служат лишь развитию пространственного мышления студентов;

- начертательная геометрия могла быть обеспечивающей дисциплиной при изучении ряда спецкурсов или разделов по математическому моделированию объектов и процессов, но искусственный отрыв начертательной геометрии от смежных математических дисциплин и отнесение ее к общеинженерным дисциплинам лишает ее этой возможности;

- техническая замена инструментов черчения и чрезмерное увлечение информационно-технологической составляющей начертательной геометрии – компьютерной графикой, не способствуют формированию творческой мысли современного инженера, что, в свою очередь, отрицательно влияет на интеллектуальное развитие будущих выпускников.

Эти современные суждения не соответствуют существующей сегодня практике обучения геометро-графическим дисциплинам, в массе своей ориентированной на узкоспециализированную подготовку специалистов. Для преодоления этого несоответствия требуется разработка новых подходов к организации учебно-познавательной деятельности студентов, способной создать условия для повышения качества обучения, развития профессиональных качеств личности, ее творческих способностей, самостоятельности и активности.

Одним из таких подходов является междисциплинарный подход, базирующийся на интеграции дисциплин, обеспечивающий систематизацию, обобщение и уплотнение знаний на основе междисциплинарных связей, что способствует повышению научного уровня знаний будущего инженера, развитию у него теоретического мышления и умения использовать знания из различных научных областей при решении инженерных задач. Интеграция дисциплин является в настоящее время определяющим фактором, способным оказывать влияние на обновление содержания образования и выступает в двух ипостасях: как цель обучения – создание у студентов целостного представления об окружающем мире; как средство обучения – нахождение общей платформы сближения дисциплинарных знаний.

Анализ и оценка приведенных фактов обуславливают то, что необходим пересмотр принципов формирования системы представлений о начертательной геометрии, (составляющей ядро геометро-графического образования и обеспечивающей освоение теоретических основ инженерной и компьютерной графики), реорганизовав эту дисциплину из сугубо прикладной, обеспечивающей чертежно-проектную деятельность, в дисциплину, развивающую у студентов способности к геометрическому моделированию, формируя междисциплинарные компетентности. При этом, начертательная геометрия в соответствии с общепринятой системой представлений должна определяться как раздел математики, являющейся базовой частью теории геометрического моделирования пространственных форм различной размерности и различной структуры. Основная идея повышения качества геометро-графического образования определила постановку задачи по разработке концепции формирования структуры и содержания геометро-графического образования в техническом вузе в условиях интеграции с общеинженерными и специальными дисциплинами. Её сущность заключается в совершенствовании процесса обучения геометро-графическим дисциплинам во втузе как целостной системы обучения на основе междисциплинарного подхода и соответствующего ему принципа интеграции дисциплин, обеспечивающего эффективное профессиональное становление будущего специалиста. Системообразующим фактором интеграции выступает геометро-графическая модель, обеспечивающая формирование междисциплинарных компетентностей у выпускников и акцентирование развития у них визуально-образного мышления.

В связи с этим на первый план выдвигаются проблемы совершенствования системы образования в аспекте интеграции дисциплин с целью повышения качества подготовки специалистов и приближения их подготовки к международным требованиям.

Основой осуществления интеграции в образовательном процессе являются общие структурные элементы учебных дисциплин. Как известно, процесс интеграции обусловлен системообразующими его факторами. В самом общем смысле системообразующий фактор представляет собой все явления, силы, процессы и т.д., которые приводят к образованию системы. В настоящее время в научных исследованиях выделяют внешние и внутренние системообразующие факторы. Содержание внешних факторов определяется запросами и требованиями практики, внутренних факторов – потребностями самих учебных дисциплин. В реализации интеграции на роль внутренних системообразующих факторов выдвигаются, прежде всего, методы геометро-графического моделирования, а на роль внешних факторов – использование в обучении прикладных методов геометро-графического моделирования, для решения инженерно-геометрических задач, обуславливая формирование междисциплинарных компетентностей.

Методологической основой интеграции является принцип всеобщей связи явлений, перенос знаний в диалогах дисциплин и возникновение междисциплинарных научных языков. В основе процесса познания лежит процесс моделирования как оптимальный и экономичный способ фиксации научного знания. Это связано с тем, что модель любого объекта (процесса, явления и т.п.) можно представить как некий другой объект, исследование которого служит средством для получения знания об объекте-оригинале. Формирование моделей, основанных на едином взгляде на окружающий человека мир, на понятии «мир как целое», дает возможность подвести под единую основу разрозненные сведения, получаемые из изучаемых предметов и явлений, а также позволяет сформировать систему знаний, высшей формой организации которой является именно теория. Теория возникает на основе наблюдений, экспериментов, описания, классификации и обобщения фактов. Она предполагает не только констатацию фактов и их описание, но и объяснение, осмысление их во всей системе данной науки. Следо-

вательно, каждая, отдельно взятая теория, представляет фрагмент общей модели (образа) картины мира.

Интеграция геометро-графических и общеинженерных дисциплин проявляется, прежде всего, в умении строить полную цепочку использования компьютера: реальная ситуация, геометрическая модель, включающая проверку корректности условия построения модели (параметризация геометрических множеств, их размерность), алгоритм, анализ результатов. Поэтому основными целями геометро-графической подготовки специалистов являются: обучение умению ставить геометрические задачи (иными словами обучать переводу реальной ситуации задачи на геометрический язык – визуально-образный); строить геометрические модели, выбирать подходящий математический (геометрический) метод и алгоритм решения задачи, на основе проведенного анализа выработать практические выводы. Обучение построению полной цепочки использования компьютера наиболее глубоко отражает суть междисциплинарного обучения моделированию на основе теории геометрического моделирования, обеспечивающего естественные связи математики, информатики, и других дисциплин.

Модель и моделирование в обучении играет огромную роль, поскольку связано с решением следующих двух проблем.

Первая проблема. Моделирование как одна из наиболее часто встречающаяся проблем в педагогике и психологии включает в себя два аспекта. Во-первых, как одно из основных учебных действий, являющихся составной частью учебной деятельности. Этот аспект предполагает исследование места и форм применения моделирования как высшей и особой формы наглядности для выявления и регистрации в обозримом виде существенных особенностей и отношений исследуемых явлений, а также в формировании у учащихся умений применять моделирование для построения и фиксации общих схем действий и операций, которые они проделывают в ходе изучения сложных абстрактных понятий. Во-вторых, как содержание, усвоенное учащимися в процессе обучения, как способ познания, которым они должны владеть. Данный аспект означает психологическое обоснование возможности включения в систему образования понятий модели и моделирования. Эта необходимость предусматривает формирование у учащихся научно-теоретического типа мышления, с помощью которого можно воспринимать действительность посредством особых специфических объектов, сконцентрированных в историческом процессе образования науки, - моделей реальных явлений и процессов. В настоящее время, когда конструирование и исследование моделей реальных объектов является главным методом научного познания, доказано, что задача формирования научно-теоретического мышления успешно может быть решена тогда, когда научные модели изучаемых явлений найдут в системе обучения достойное для них место и будут исследоваться с применением соответствующей терминологии, с объяснением обучающимся сущности понятий модели и моделирования, с целью осознания и овладения ими моделирования как метода познания.

Вторая проблема. Психологическое действие, направленное на отработку операций, как правило, в научно-технической сфере. Данная психологическая проблема включает в себя два основных аспекта. Во-первых, каждому обучающемуся необходимо освоить моделирование как способ образования. Из этого следует необходимость внесения в образовательный процесс таких понятий, как «модели» и «моделирование». Это формирует у учащихся научно-теоретический вид мышления, что способствует осознанию моделей реальных процессов и явлений. Осознание реальных процессов является основным научно-познавательным методом. Во-вторых, моделирование является одним из элементов учебной деятельности. Второй аспект направлен на изучение места и методов использования моделирования как наивысшей формы наглядности

изучаемого процесса. Учащиеся должны уметь применять моделирование в построении общих схем действий и, как следствие, при изучении сложных понятий.

Моделирование есть особая деятельность по построению или выбору моделей для указанных выше целей. И как всякая деятельность, она имеет практическое содержание и внутреннюю психическую сущность. Следовательно, моделирование как психическая деятельность может включаться в качестве компонента в такие психические процессы, как восприятие, память, мышление, воображение. В свою очередь, эти психические процессы используются в деятельности моделирования. Моделирование основывается на принципах аналогии и подобия и связан с такими категориями, как абстракция, гипотеза и др.

Деятельностная сторона геометро-графических дисциплин может быть охарактеризована схематическим образом. Предположим, что имеется какой-то объект или какое-то явление его нужно геометрически исследовать. Процесс исследования состоит из следующих этапов:

- явление (объект, процесс) изучается непосредственно (эмпирически) и, базируясь на результатах такого изучения, выделяются существенные особенности, характеризующие это явление, называемые параметрами. Эти параметры составляют модель-описание этого объекта;
- модель-описание переводится на геометро-графический (визуально-образный) язык и тем самым строится геометро-графическая модель (визуально-образная);
- построенная геометро-графическая модель изучается с помощью геометрических методов или, если этого недостаточно, привлекается (разрабатывается) другой аппарат для изучения этой модели;
- полученное решение переводится на «язык» исходного явления и проверяется, насколько полученное решение соответствует реальным условиям.

Отметим, что междисциплинарные компетентности, кроме знаний, умений и навыков, включают следующие качества личности: понимание связей между различными дисциплинами и готовность применять знания из одних дисциплин при изучении других; опыт комплексного применения знаний по соответствующим дисциплинам при изучении других; уровень осознанного применения знаний в профессиональной деятельности, опирающихся на знания различных дисциплин; уверенность студента в своих возможностях решать задачи профессиональной деятельности, комплексно применяя знания по различным дисциплинам; готовность при изучении дисциплины получать новые знания из других дисциплин и видов деятельности; свободная ориентация в среде информационных технологий.

Использование компьютерных технологий оказывает влияние на процесс обучения геометро-графическим дисциплинам и, в частности, начертательной геометрии, являющейся теоретической основой для графического решения различных задач. Поэтому на современном этапе развития для студента необходимы углубление и расширение знаний по специальным разделам начертательной геометрии для раскрытия возможностей применения определённых алгоритмов и взаимодействия их с различными пакетами прикладных программ.

Быстрый рост компьютеризации во всех областях промышленности требует соответствующего подхода к подготовке специалистов. На сегодняшний день нет ни одной сферы производства и предпринимательства, где не применялись бы компьютеры. Количество прикладных программных систем, функционирующих на персональных компьютерах и решающих различные задачи в сфере промышленности, на сегодняшний день достаточно велико, направленность и решаемые ими задачи различны.

Многообразие систем информационных технологий требует от специалиста умения применять свои знания при решении конкретной задачи, компонентами которых являются:

- умение осознать, формулировать и творчески решать задачи;

- умение ориентироваться в многообразии программных продуктов, существующих на сегодняшний день;
- чётко представлять возможности и характеристики того или иного пакета прикладных программ;
- умение выбрать наиболее оптимальный метод или прием из предложенных для решения конкретной задачи;
- умение быстро перестраиваться при смене программного обеспечения.

Что касается студентов инженерных и архитектурно-строительных специальностей, то здесь одной из наиболее важных составляющих при использовании компьютерной графики является формирование у студентов представления и знания законов построения геометрической модели проектируемого объекта. Эта модель важна тем, что она обеспечивает более лёгкое вхождение обучающегося в работу с современными интегрированными системами автоматизированного проектирования (САПР), имеющих средства формирования модели, подготовки чертежей и управление всем проектом в целом.

Как показывает анализ действий специалистов на предприятиях различного профиля, можно быть прекрасным программистом, владеющим средствами вычислительной техники и совершенно не представляющим, как формируется модель изделия. И наоборот, можно быть специалистом в своей предметной области и не учитывать специфических особенностей использования вычислительной техники и программных средств.

Приходится констатировать, что в настоящее время отечественное геометрографическое образование студентов переживает кризис. Традиционно сложившаяся система преподавания геометро-графических дисциплин в целом (и начертательной геометрии в частности) не учитывает современного уровня развития общества, характеризующегося интенсивной разработкой новых направлений, подходов, идей во всех сферах человеческой деятельности, и не перерастает в полноценное геометро-графическое образование. Таким образом, имеется настоятельная необходимость разработки современного подхода к формированию структуры и содержания геометро-графического образования.

Таким образом, сплав знаний по традиционным и новым информационным технологиям проектирования и их внедрение в различные сферы деятельности (т.е. их практического применения при решении различных задач) может дать качественно новый уровень развития специалиста. Это подтверждается современными требованиями основной образовательной задачи – максимального развития способностей каждого и формирования гибкого, восприимчивого к новым знаниям мышления. На основании этого изменяется подход к изучению геометро-графических дисциплин.

### Список литературы

1. Шангина Е.И. Методологические основы формирования структуры и содержания геометро-графического образования в техническом вузе в условиях интеграции с общеинженерными и специальными дисциплинами. [Текст]: дисс. ... док. пед. наук: 13.00.08 / Елена Игоревна, Шангина – М, 2010. – 365 с.
2. Солсо Р. Л. Когнитивная психология. // Пер. с англ. под ред. В. П. Зинченко. – М.: Тривола, 1996. – 600с.
3. Шангин Г. А., Шангина Е. И. Новые технологии в современном образовании // Материалы международной научно-практической конференции «Уральская горная школа регионам». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 758 с. – С. 24–26.
4. Шангина Е.И., Якунин В.И., Шангин Г.А. Формирование содержания геометро-графического образования в аспекте информационно-когнитивного подхода// Информатика и образование. – М., 2011. - №11. – С. 74-77.

УДК 371.015.151.8

## ТЕХНОЛОГИЯ РЕАЛИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

ШАНГИНА Е. И.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** В статье рассматривается информационно-технологическая поддержка при обучении решения задач. Автором представлена модель и методика разработки структуры и содержания учебного материала для электронного учебника по решению задач в техническом университете.

**Ключевые слова:** высшее техническое образование, задачи, учебный материал, гипертекст, электронный учебник.

## TECHNOLOGY OF ORGANIZATION OF INDEPENDENT WORK IN SOLVING PROBLEMS

SHANGINA E. I.

Ural State Mining University

**Abstract.** This article discusses Information-technology support in the process of solving tasks. The authors present the model and methodical for development the structure and content of the learning material for the electronic textbook to solve tasks at a technical University.

**Keywords:** higher technical education, tasks, training material, hypertext, electronic textbook.

**Актуальность.** Информатизация общества, базирующаяся на стремительном развитии информационных технологий, оказывает влияние на все сферы человеческого общества, включая и образование. Информационно-технологическая поддержка в обучении становится обязательной частью обучающей системы в любой предметной области. Через информационно-технологическую поддержку вузовского предметного курса актуализируются функции самоконтроля, которые расширяют возможности студентов, позволяют индивидуализировать процесс обучения и управлять самостоятельной когнитивной деятельностью обучаемого. Инвариантной относительно предметного содержания функцией интеллектуальной деятельности человека является деятельность по решению различных задач – социальных, профессиональных, производственных, учебных, бытовых и многих других. Проблемы задач, их решения и обучения решению являются предметом исследований, начиная с 70-х гг. прошлого столетия. Тем не менее, с сожалением следует признать, что в последнее время научный интерес к проблеме методики решения задач и методике обучения решению задач значительно снизился. Между тем, развитие умственного и творческого потенциала человека, создания новых технологий, новой техники тесно связано с умением самостоятельно решать задачи различных типов, необходимых для получения инженерного и технического образования. Такие качества, которые развивает в обучающемся самостоятельная работа по решению задач, востребованы во многих сферах современного общества. Активизация самостоятельной работы студентов в процессе изучения различных дисциплин учебного плана вуза - актуальная проблема, решение которой возможно при введении в учебный процесс новых форм самостоятельной работы студентов, применяемых при изучении конкретных дисциплин.

В связи с этим **целью** статьи является разработка стратегии обучения решению задач в электронной среде. При разработке стратегии обучения решению задач в элек-

тронной среде необходимо на первый план выдвинуть решение педагогической проблемы по методике разработки структуры и содержания учебного материала для электронного учебника по решению задач, что является *задачей* данной статьи.

Как правило, под термином «учебный материал» понимается научная информация, представленная в формах, ориентированных на обучение. Это могут быть в различных сочетаниях текст, рисунки, графики, диаграммы, таблицы, модели, образцы и др. Все эти формы представления научной (технической или иной) информации группируются на основе содержания научного знания, вокруг образований называемых дидактическими единицами. Множество всех дидактических единиц, сформированное на основе рабочей программы учебного курса, составляет его содержание. Практикуемая в настоящее время технология составления и использования рабочей программы определяет содержание курса в виде перечня дидактических единиц, отражающих, как правило, предполагаемую последовательность проработки учебного материала на занятиях. Структурирование учебного материала на основе рабочей программы в распространенной практике, как правило, направлено лишь на детализацию содержания путем декомпозиции дидактических единиц на составляющие и на группирование их в виде «блоков», «модулей». В результате получается линейная структура, отражающая технологию преподавания в виде последовательности изучения дидактических единиц. Между тем в практической инженерной и научной деятельности специалист пользуется целостным образом профессиональных знаний. Архитектурная основа этих знаний имеет древовидную структуру, которая сформировалась у специалиста на подсознательном уровне в результате продолжительной работы в этой сфере знаний. Факт, не учитывающий эту древовидную структуру в преподавании, способствует направлению познавательной (когнитивной) деятельности будущего специалиста по тому же долгому пути, который проходил опытный специалист в процессе своей деятельности. Поэтому разработка информационной модели учебного материала, имеющей древовидную (иерархическую) структуру, является важным технологическим этапом для формирования содержания образования, включающего отбор и структурирование содержания [4].

Кроме этого, следует отметить еще одно обстоятельство, связанное с разработкой информационной модели содержания учебного материала учебника по решению задач. Все более заметное влияние на традиционные формы представления и анализа информации оказывает научно-технический прогресс. Появление новых информационных технологий постепенно, но все более явно меняет привычные когнитивные навыки. В некоторых сферах заметна явная когнитивная деградация (распространение калькуляторов привело к тому, что учащиеся плохо владеют навыками устного счета). Все реже человеку требуется хорошая память, ее скоро заменит умение пользоваться компьютерными базами данных. Тем не менее, необходимо развитие когнитивных способностей человека, особенно мышления и тех ментальных процессов, которые с ним связаны. В сфере визуализации имеются неограниченные возможности развития когнитивных способностей человека, опирающиеся на прогресс информационных технологий в области обработки и хранения текстовой и графической информации. Чисто вербальная форма далеко не всегда позволяет с достаточной полнотой отразить интуитивное понимание проблемы. Здесь главная роль принадлежит визуально-образному мышлению. В этой связи представляется значимым использовать визуально-образные формы представления учебной информации, причем чтобы сама эта информация имела древовидную структуру.

В последние годы теоретические поиски в области умственного развития испытывают все более усиливающееся влияние со стороны когнитивной психологии [1]. Психика трактуется как система, предназначенная для переработки информации. Основным методом выступает анализ микроструктуры того или иного психического про-

цесса: восприятие, внимание, память, мышление и др. Эффективность переработки информации зависит от организации соответствующих структур. Информационные единицы, не объединяемые в группы и не имеющие какого-либо значащего контекста, трудно кодировать (количество накопленной информации, используемой для понимания явлений, событий понятий и т.п.), будь то буквы, геометрические элементы, ноты и т.п. Однако если их объединить в значимые структуры, например, в рассказ, архитектурное сооружение, мелодию, то они обретают значение, поскольку их теперь легко абстрагировать на языке грамматики [2].

При анализе строения когнитивных структур, исходят из понятия семантической памяти. В семантической памяти любое понятие выступает как «узел», который связан с другими «узлами» какими-то отношениями, образуя семантическую сеть, называемые моделями семантической организации информации. В арсенале когнитивной психологии имеются кластерные модели, групповые модели, модели сравнительных семантических признаков, сетевые модели, пропозициональные сети и др.

Таким образом, исходя из когнитивных моделей долговременной памяти, структуру знаний можно представить как иерархическую организацию отдельных «узлов» знаний, функционирование которых базируется на структурных связях между этими «узлами». Такой подход позволяет исследовать сложность изучаемых категорий. В связи с вышесказанным предлагается вариант ассоциативной техники исследования процесса решения геометро-графических задач на основе семантической организации структур знания в виде сложной сети узлов и линий. *Узлы означают понятия, а линии – смысловые связи* [3].

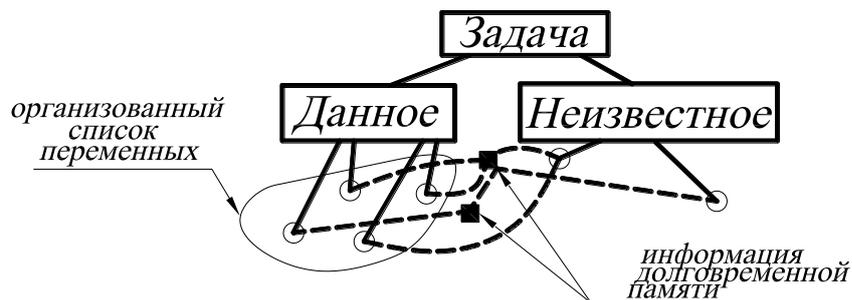
При решении задач рассматриваются два подхода: *алгоритмический* и *эвристический*. Они отличаются друг от друга наличием или отсутствием гарантии получения правильного результата. *Алгоритм* – это совокупность правил, которая, если ей следовать, автоматически порождает верное решение. Например, правила умножения представляют алгоритм; пользуясь ими надлежащим образом, получают правильный ответ. Эвристические приемы выдвижения гипотез (логически осознанных и интуитивных) больше напоминают эмпирические правила; это процедуры или стратегии, которыми относительно легко пользоваться и ценность которых оправдывается предшествующим опытом решения задач. Под алгоритмом обычно понимают точное описание последовательности действий, приводящей к требуемому результату. Напротив, эвристика – это совокупность приемов или правил, позволяющих уменьшить перебор вариантов при нахождении пути решения задачи. В отличие от алгоритмов, эвристики не гарантируют получение правильного результата. В частности, эвристические приемы выдвижения гипотез (логически осознанных и интуитивных) больше напоминают эмпирические правила; это процедуры или стратегии, которыми относительно легко пользоваться и ценность которых оправдывается предшествующим опытом решения задач. Наиболее часто используемым эвристическим приемом является нахождение аналогий между данной задачей и задачами, решение которых известно. Владея запасом необходимых знаний по решению конкретной задачи и встречая другую, человек сознательно отбирает нужную информацию. Это объективно существующее явление творческого переноса знаний, сложный многогранный процесс синтеза знаний через анализ. Кроме этого, количество накопленной информации при решении алгоритмических задач, составляющее контекст решения задач, позволяет этот контекст использовать при восприятии и решении эвристических задач, а также самостоятельно корректно формулировать новые задачи [3].

Дж. Грино предположил, что между структурой памяти и решением задач существует непосредственная связь [1]. Согласно позиции Дж. Грино, который изучал эту связь, в процессе решения задач к делу привлекается информация, методы и идеи, ко-

торые мы знаем и помним из предшествующего опыта (рис. 1). Этот предшествующий опыт составляет содержание памяти. Решение задач в модели Дж. Грино включает два основных этапа: построение семантической сети условия задачи (вычисление элементов, взаимосвязанных между собой), и затем построение набора отношений, соединяющих сеть условия с семантической сетью решения (рис. 1). Первая из этих операций происходит в рабочей памяти (т. е. построение сети условия задачи). В этом случае структура, образованная в рабочей памяти, содержит организованный список данных элементов (например, когда заданы две прямые или плоскость и поверхность, или три поверхности и т. д.).

Следующей операцией является построение сети связей между имеющимися данными (закодированными теперь в структуре рабочей памяти) и желаемыми свойствами, составляющими решение этой задачи. Этот последний процесс осуществляется с целью модификации структуры, удерживаемой в рабочей памяти, и в нем участвует информация из семантической (долговременной) памяти. Здесь воспроизводится информация двух типов: информация о правилах или алгоритмах и информация о связях. Например, если в задаче требуется найти длину гипотенузы треугольника, один из углов которого равен  $90^0$  (исходный список переменных), можно воспроизвести из долговременной памяти теорему Пифагора (информация о правилах) [4].

Если модель Дж. Грино интерпретировать к случаю решения стандартных (алгоритмических), в частности, геометрических задач, то можно сказать, что в качестве сети исходных данных служат геометрические многообразия, заданные в условии задачи, а вместо сети решения имеется конкретный алгоритм (рис. 2).

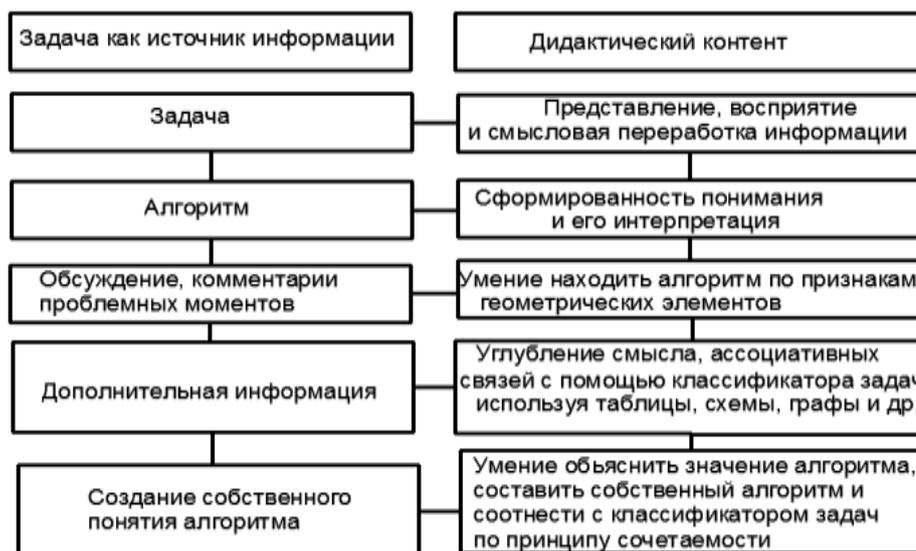


**Рис. 1. Модель решения задач по Дж. Грино: два этапа решения задач – когнитивная сеть (сплошные линии) и связующие отношения (штриховые линии)**

В случае если задача представляется эвристической (нестандартной), то модель видоизменяется. А именно, также как и в модели Дж. Грино, необходимо построить семантическую сеть условия задачи, которую нужно связать с семантической сетью решения задачи. В качестве семантической сети решения задачи выступает семантическая сеть известных алгоритмов и методов решения эвристических задач конкретной предметной области (аналогия, анализ, обобщение, конкретизация, абстрагирование, моделирование и др.) [3].

Решение задач в процессе обучения выполняет разные функции. Укажем главные функции решения задач в обучении.

1. Решение задач используется для формирования у студентов нужной мотивации их учебной деятельности, интереса и склонности к этой деятельности.
2. Решение задач используется для иллюстрации и конкретизации изучаемого материала.
3. Одной из важнейших задач обучения является выработка у учащихся определенных умений и навыков (визуальное и образное мышление, логическое и др.).



**Рис. 3. Модули самостоятельной работы при решении геометро-графических задач**

4. Решение задач используется как наиболее адекватное и удобное средство для контроля и оценки учебной работы студентов.

5. Решение задач довольно часто используется для приобретения учащимися новых знаний.

В компьютерной технологии гипертекст – это ассоциативное соединение информационных частей через серверы или ссылки, которые дают возможность доступа к пункту соединения с текстами. Гиперссылки (*ключевые слова*) – это активизированные ссылки в гипертексте на другие источники информации в сети Интернет или на какие-то конкретные файлы (*сноска*) [3].

В зависимости от характера информации, изложенной в информационных узлах, файлы в пределах одного гипертекста могут быть весьма различны по своим компонентам. Если рассматривать стилистическое варьирование отдельных файлов в пределах гипертекста, можно отметить определённую соотнесённость с традиционными способами информационной структурированности. На основании степени детализации информации и особенностей её текстовой организации можно выделить следующие типы информационных блоков в пределах гипертекста учебной направленности:

1. Стартовая страница, сочетающая в себе признаки введения (постановку задачи, ее цели и методы или алгоритмы, а также ее адресация) и оглавление, перечень наиболее общих и существенных характеристик данных геометрических объектов, целью которого является обеспечение доступа к указанной информации. В отличие от традиционного оглавления, стартовая страница является общим описанием объекта.

2. Основной текст, предоставляет нам примеры прообраза гипертекстовой структурированности – выделение курсивом тех понятий, толкование которых присутствует в данной задаче.

3. Различного рода иллюстрации и примеры, использующие разные виды зрительной наглядности (текст, рисунки, видеозапись).

4. Библиография, отсылающая к традиционным источникам информации.

Самостоятельную работу студентов по работе с задачами в гипертекстовой среде, можно представить следующими модулями (рис. 3).

Любая задача служит источником информации. При первичном представлении заданной задачи студент видит условие или постановку задачи. Далее, используя стартовую страницу, студент начинает поиск алгоритма необходимого для решения задачи, где он пытается понять, что есть, например «взаимная перпендикулярность плоско-

стей». Благодаря наличию контекста, студент получает информацию, что позволяет ему более осмысленно интерпретировать смысл необходимого алгоритма. Понимание исходного условия задачи и его визуально-образная интерпретация, а также соотнесение с другими задачами приводит к переосмыслению в новом контексте. Этапы движения и понимания условия задачи – это исходная точка данной задачи, движение назад – прошлые задачи с их алгоритмами, движение вперёд – начало будущего результата решения задачи и построение нового алгоритма. При этом возрастает умение студента самостоятельно классифицировать конкретные задачи и создавать свой классификатор по принципу сочетаемости алгоритмов. Понимание задачи носит активно-диалогический характер и является соотнесением данной задачи с другими задачами в совокупности их алгоритмов, и их переосмысление в едином контексте будущего решения.

При работе с задачей в гипертекстовой среде каждый студент получает возможность пройти свой путь познания, в зависимости от уровня своей подготовки, скорости усвоения материала, своих интересов. Процесс понимания и осознания студентом заданной задачи представляется в виде конкретного маршрута. Контекст в гипертексте способствует направленности мысли, расширению синтеза восприятия и понимания.

Таким образом, что касается понимания у студента значения заданного алгоритма, встаёт вопрос о требованиях, которым должны соответствовать ключевые слова в гипертексте:

- ключевые слова должны быть достаточно информативными, т.е. обладать преимущественно терминологическим значением в пределах данной задачи;
- занимать определённое значение в условии задачи;
- быть логически связанными только с одним информационным блоком в пределах данного гипертекста.

Читая текст, студент воспринимает содержание условия задачи, опираясь на их грамматическое оформление. Первичными сигналами грамматических явлений, встречающихся в тексте условия, выступает их внешняя форма, которая вычленяется студентом в виде слов и предложений и соотносится с определённым алгоритмом. Однако следует учитывать и тот факт, что в гипертексте не все из описываемых геометрических признаков и свойства имеют одинаковое значение для понимания условия задачи. Чтобы воспринять и переработать информацию, студент должен:

- уметь узнавать информационные геометрические знаки;
- различать совпадающие по форме геометрические явления;
- уметь соотносить задачу с его алгоритмом.

Геометрические конструкции подчиняются правилам независимо от употребления конкретных терминов. Однако даже знание и умение решать отдельные задачи не обеспечивает проникновения в искомый смысл, если у студента не выработана системная техника понимания в решении задач, которая даётся не сразу. Как известно, каждая задача характеризуется структурной оформленностью, информационной завершённостью, логической взаимообусловленностью всех его компонентов. Преподаватель должен ориентировать студентов на приобретение умения охватывать условие, решение, результат задачи целиком, понимать алгоритм и его суммарную композиционную и содержательную сущность. Гипертекстовая технология решения задач в достаточной мере обладает возможностью реализовывать вышеуказанные задачи.

Отдельно следует остановиться на модуле работы студента с дополнительной информацией по заданной преподавателем теме. Работа с дополнительной информацией связана с углублением смысла понятия задачи и ее алгоритма. Для этого в гипертекстовой среде используются различного рода примеры и иллюстрации, рисунки, графики, таблицы, комментарии, дополнительная информация. Не редко преподавателем используются инженерно-геометрические задачи. *Инженерно-геометрическая задача* –

задача, условие и требование которой определяют собой модель некоторой ситуации, возникающей в профессиональной деятельности инженера, а исследование этой ситуации осуществляется методом геометро-графического или визуально-образного моделирования. При решении таких задач развивается междисциплинарная компетентность студента. Отметим, что *междисциплинарные компетентности*, кроме знаний, умений и навыков, включают следующие качества личности: понимание связей между различными дисциплинами и готовность применять знания из одних дисциплин при изучении других; опыт комплексного применения знаний по соответствующим дисциплинам при изучении других; уровень осознанного применения знаний в профессиональной деятельности, опирающихся на знания различных дисциплин; уверенность студента в своих возможностях решать задачи профессиональной деятельности, комплексно применяя знания по различным дисциплинам; готовность при изучении дисциплины получать новые знания из других дисциплин и видов деятельности; свободная ориентация в среде информационных технологий [3].

Дополнительная информация может быть использована преподавателем со студентами продвинутого уровня развитости интеллектуальных структур, которые могут работать с материалом, доступным их пониманию на основе эвристики, геометрической догадки. Преподавателю необходимо заранее прогнозировать возможные затруднения, с которыми может столкнуться студент, а также предусмотреть необходимую помощь и подсказку. Всё это даёт возможность каждому студенту работать в соответствии с его индивидуальным уровнем знаний.

Гипертекстовый принцип структурирования и представление информации есть не что иное, как система помощи и подсказок, помогающих направить внимание и мысль студента на поиск правильного ответа. По способу предъявления, помощь может быть словесной, письменной и графической. По характеру оказываемой помощи существуют прямая подсказка и косвенная. Прямая подсказка содержит конкретную информацию, необходимую для правильного ответа. Она необходима при ответе на вопрос, который требует репродуктивного запоминания. Прямая подсказка несёт конкретную информацию, но требует от студента активной мыслительной деятельности для того, чтобы сформулировать ответ.

Таким образом, когда студент подходит к последнему модулю (создание собственного понимания задачи), он уже имеет достаточно знаний о конкретном алгоритме решения задачи и может сам дать объяснение заданной задачи, а также самостоятельно составить собственную классификацию задач по принципу сочетаемости их по типам алгоритмов, по количеству решений, по единству однотипных алгоритмов.

**Выводы.** Гипертекстовый принцип структурирования информации при решении задач предоставляет следующие возможности для самостоятельной работы студента:

- более широкая возможность презентации учебного материала;
- гибкая форма подачи информации;
- учёт индивидуальных потребностей студента;
- установление логической связи с информационными блоками.

Самостоятельная деятельность студента, в какой бы форме она ни выступала, всегда имеет единое основание в процессе обучения – индивидуальное познание. Для успешного выполнения самостоятельной работы при поддержке гипертекстовой технологии как средства поддержки в обучении можно выделить следующие критерии:

- постановка преподавателем конкретной дидактической задачи;
- необходимый объём и уровень знаний, навыков и умений у студента;
- выработка психологической установки у студента на самостоятельное и систематическое пополнение знаний.

Таким образом, самостоятельная работа студента с профессиональной терминологией в гипертекстовом контексте является одной из интересных и качественно новых технологий обучения решению задач.

### Список литературы

1. Солсо Р. Л. Когнитивная психология / пер. с англ. под ред. В. П. Зинченко. – М.: Тривола, 1996. – 600с.
2. Шангин Г. А., Шангина Е. И. Новые технологии в современном образовании / Материалы международной научно-практической конференции «Уральская горная школа регионам». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 758 с. – С. 24–26.
3. Шангина Е. И. Методологические основы формирования структуры и содержания геометро-графического образования в техническом вузе в условиях интеграции с общеинженерными и специальными дисциплинами: автореф. ... дисс. д-ра. пед. наук. – Москва, 2010. – 46 с.
4. Шангина Е.И., Якунин В.И., Шангин Г.А. Формирование содержания геометро-графического образования в аспекте информационно-когнитивного подхода// Информатика и образование. – М., 2011. - №11. – С. 74-77.

УДК 536.3

## ОРГАНИЗАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ НАУЧНОЙ РАБОТЫ МАГИСТРАНТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТИПОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ДЕНИСОВ М. А.

Уральский Федеральный университет

**Аннотация.** Работа представляет один из возможных способов совершенствования методик расчета энергетического оборудования. Для этого занятия в группах магистрантов по освоению программных пакетов численного инженерного анализа ведутся в форме коллективной научной работы с общей целью исследований. Приведены примеры выполненных работ.

**Ключевые слова:** моделирование, ANSYS, методы расчета, модели агрегатов, печи, котлы, рекуператоры, инжекторы, термостабилизаторы грунта, кипящий слой, охлаждение трансформаторов, научная работа магистрантов.

## ORGANIZATION OF COLLECTIVE SCIENTIFIC WORK OF GRADUATE STUDENTS FOR DEVELOPMENT OF MODERN METHODS OF CALCULATION OF TYPICAL ENERGY EQUIPMENT

DENISOV M. A.

Ural Federal University

**Abstract.** The work presents one of the possible ways to improve the methods of calculating power equipment. To do this, classes in graduate students's groups to master the software packages of numerical engineering analysis are conducted in the form of collective scientific work with the overall goal of research. Examples of work performed are given.

**Keywords:** modeling, ANSYS, calculation methods, aggregate models, furnaces, boilers, recuperators, injectors, soil thermal stabilizers, fluidized bed, transformer cooling, scientific work of graduate students

Одним из ориентиров реформы системы образования считается переход к индивидуальным траекториям обучения студентов [1]. Люди, которые еще ничего не знают о будущей профессии, должны будут правильно определить совокупность знаний (изучаемых дисциплин), которые от них понадобятся будущим работодателям в близкой, и отдаленной перспективе. Университеты за правильность выбора студентов отвечать не будут, т. к. они всего лишь предоставляют образовательные услуги. Возможно, услуги сначала будут аудиторными, затем дистанционными. Нет гарантии, что процесс получения образования не сведется к приобретению студентами комплекта видеофильмов, которые нужно просмотреть... и университеты станут не нужны.

Это проблемы завтрашние, но уже сейчас университетам приходится думать, как избежать вероятной мозаичности образования при переходе к индивидуальным траекториям обучения. Сейчас системное представление о мире, науке, производстве и его проблемах инженеру дает обязательный набор взаимодополняющих базовых предметов. Отказ от лекций, специализаций и кафедр [1], погружение студентов в «предпринимательскую среду», в которой предметы для изучения выбирают люди без необходимого кругозора, может привести к катастрофам и технологическим, и личностным.

Большие возможности для своевременной систематизации представлений о мире техники и науки дает процесс развития компьютерных технологий инженерного анализа. Используемые при этом программные пакеты базируются на общем для всех наук представлении технологических процессов системами уравнений. Для многих инженеров на практике решение задач может сводиться к выбору нужного алгоритма с использованием самых общих представлений об этих уравнениях и методах их решения. В коммерческих пакетах инженерного анализа, таких как ANSYS, SolidWorks и др., процесс решения задач облегчается интуитивно понятным интерфейсом и удобной структурой программ. При этом физически разные задачи могут решаться выполнением внешне одинаковых последовательностей действий. В результате учащиеся первого года магистратуры успевают освоить не только решение типовых задач своей специальности, но и выполняют курсовой проект с постановкой и решением задач по теме магистерской диссертации.

Данная работа представляет опыт преподавания в магистратуре кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» Энергетического института (ЭНИИ) УрФУ по предмету «Научные и инженерные расчеты в современных компьютерных программах». Аналогичные курсы других кафедр могут иметь названия САПР, «компьютерные технологии науки и производства» и др. На занятиях, после выполнения обязательных заданий курса, магистранты приступают к решению творческих задач, объекты для которых они выбирают самостоятельно, или вместе с руководителем по магистратуре. Успешным завершением обучения считаются публикации результатов работ в сборниках трудов конференций или технических журналах.

Известно, что даже студенческая работа заслуживает публикации, только если содержит результаты, представляющие интерес для других специалистов. Требовалось найти некие универсальные структуру и состав работы, которые автоматически сделают интересными все студенческие работы. Поэтому занятия по предмету рассматривались как коллективная научная работа магистрантов, имеющая общую цель – разработку комплекса современных методов расчета типового энергетического оборудования. Здесь под современными методами подразумеваются методы, использующие вычислительные пакеты инженерного анализа, такие как ANSYS, SolidWorks, OPEN Foam и др. Новизну результатов работ обеспечивает обязательное сравнение результатов расчета с расчетами по другим программам инженерного анализа. Точность расчетов оценивается сравнением с расчетами по традиционным полуэмпирическим проектным методикам расчета технологических процессов, сравнением с данными экспериментов (если такие

данные есть). Следовательно, результатом студенческого исследования становится и разработанная методика расчета, и результаты ее верификации [2 - 9].

Примеры решенных задач показаны на рис. 1. Скриншоты представляют процесс решения с определением распределений величин температуры среды или скорости в объемах камер: зоны нагрева металла промышленной печи (рис. 1,*а*); сверхзвукового эжектора (рис. 1,*б*); рекуператора (рис. 1,*в*). Решения этих задач с использованием пошаговых инструкций включены в число обязательных в курсе. После защиты обязательных общих задач магистранты приступают к решению индивидуальных творческих задач. Примеры выполненных «творческих» работ показаны на рис. 2. Здесь исследование по разработке и тестированию модели расчета огневых камер котельного агрегата представлено геометрической моделью (рис. 2,*а*). Рис. 2,*б* показывает, как создавалась модель расчета промышленного печного рекуператора. Рисунок 2, *в* показывает вид экрана в процессе моделирования теплообмена в надземной части термостабилизатора грунта. В задаче поток холодного зимнего воздуха отнимает тепло у орбрения термостабилизатора. Рис. 2, *г* получен после создания расчетной сетки у модели экспериментальной установки, моделирующей процессы в кипящем слое [6].

Представленные материалы дополняет ряд исследований на рис. 3. Рис. 3, *а* показывает наглядность визуализации результатов расчета теплообмена и газодинамики в расчетном исследовании промышленных котельных агрегатов, рис. 3,*б* – то же, для расчетов процессов в рекуператорах. Рис. 3, *в* и *г* позволяют сопоставить реальный технический объект (трёхфазный трансформатор УЭТМ) и его расчетную модель, на которой исследовались режимы воздушного охлаждения обмоток [9].

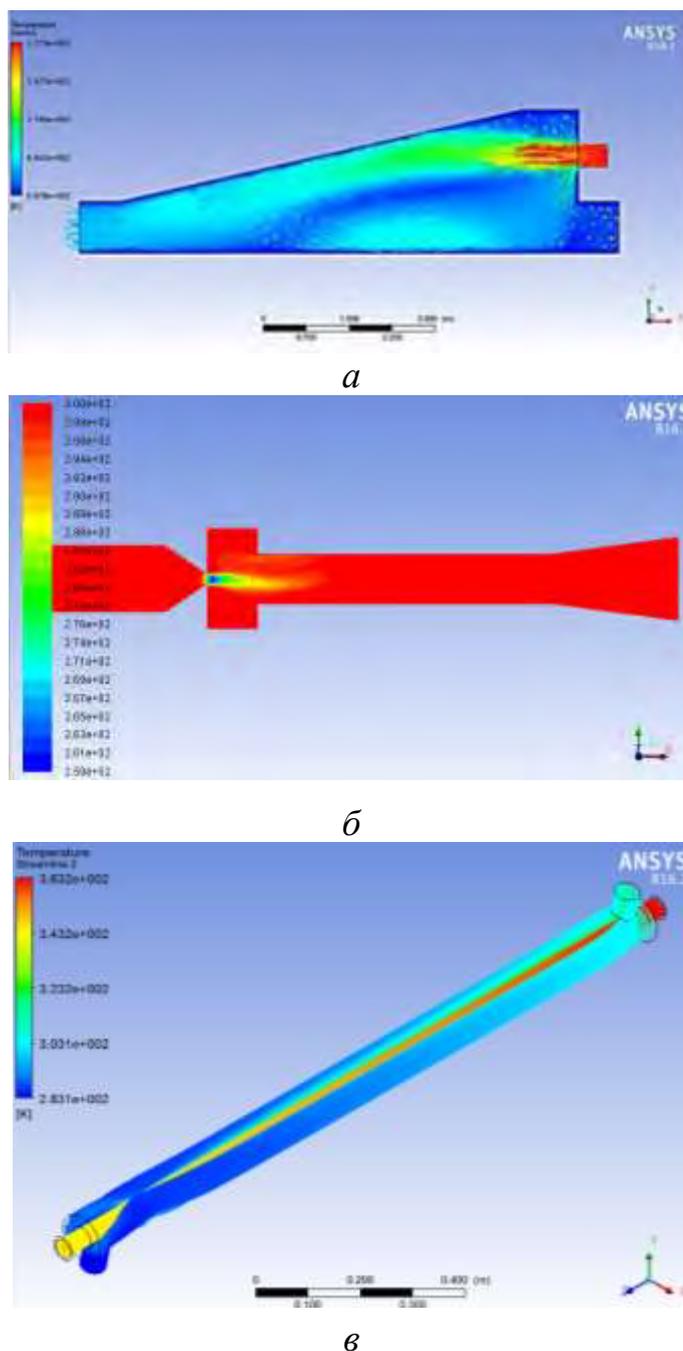
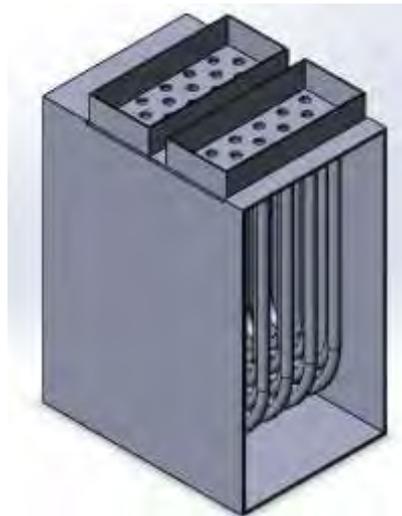


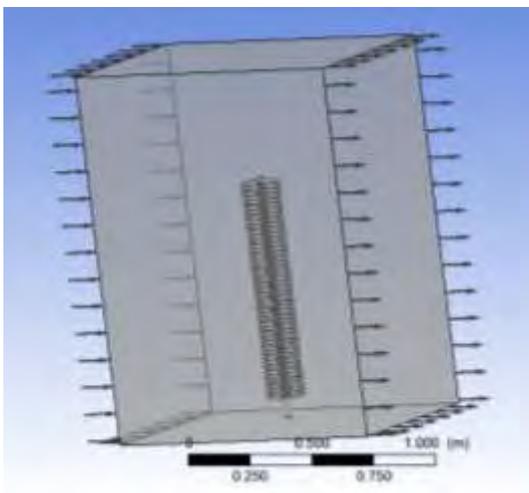
Рис. 1. Примеры решенных задач



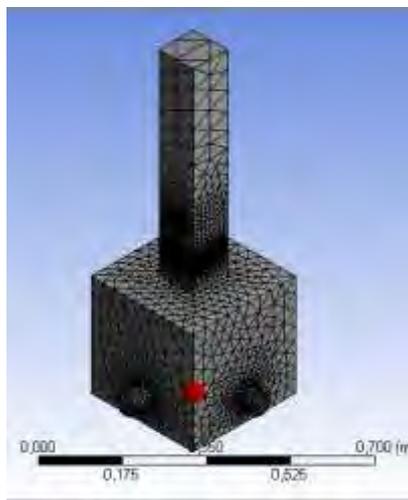
*а*



*б*

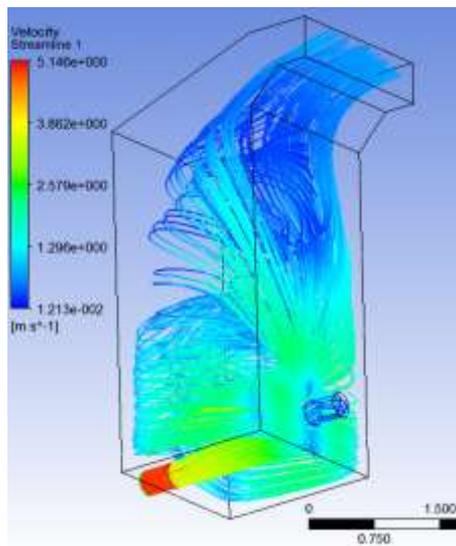


*в*

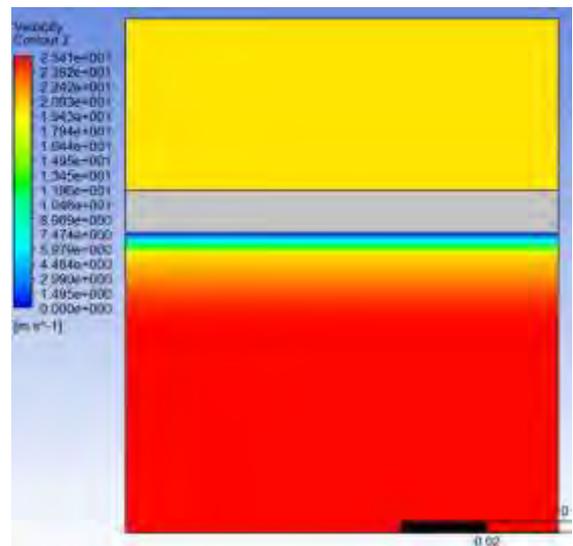


*г*

**Рис. 2. Примеры выполненных творческих работ**



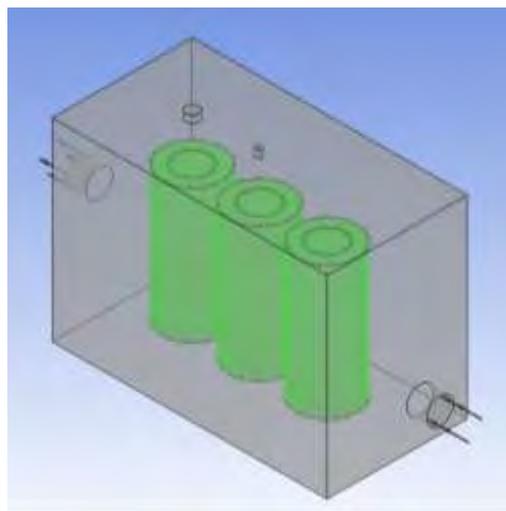
*а*



*б*



6



2

**Рис. 3. Дополнительные исследования**

В настоящее время на кафедре «Теплоэнергетика и теплотехника» ЭНИН УрФУ продолжает накапливаться опыт организации коллективных научных исследований магистрантов. Первые итоги позволяют ожидать позитивного эффекта от учебных новаций и появления разработанного студентами вместе с преподавателями востребованного инженерной практикой учебно-справочного комплекса верифицированных решений проектных задач теплоэнергетики.

#### **Список литературы**

1. Как изменятся университеты в течение следующих 20 лет // Конспект лекции профессора Йоханна Виссемы.- 2017. [Электронный ресурс].- Режим доступа : <http://www.tsu.ru/podrobnosti/kak-izmenyatsya-universitety-v-techenie-sleduyushchikh-20-let>
2. Черных В. Н., Денисов М. А. Метод расчета теплообмена в системах с фазовыми превращениями и подвижными границами зон // Физика. Технологии. Инновации : Тезисы докладов IV международной молодежной научной конференции (Секция 1) / УрФУ, Екатеринбург, май 2017 г. С. 69-71.
3. Илюхин П. А., Черных В. Н., Денисов М. А. Оценка точности инженерных методик расчета теплообменников сравнением с расчетами в ANSYS Fluent // Физика. Технологии. Инновации : Тезисы докладов IV международной молодежной научной конференции (Секция 1) / УрФУ, Екатеринбург, май 2017 г. С. 71-72.
4. Ершов М. И., Мунц В. А., Денисов М. А. Моделирование работы струйного компрессора в ANSYS Fluent с контролем адекватности расчетов // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ'2017) : Материалы VI Всероссийской научно-практ. конф. / УрФУ, Екатеринбург, май 2017 г. С. 210-214.
5. Черных В. Н., Илюхин П. А., Шагабутдинов Т. Ф., Денисов М. А. Сравнительное моделирование и тестирование адекватности расчетов рекуператора в пакетах инженерного моделирования // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ'2017) : Материалы VI Всероссийской научно-практ. конф. / УрФУ, Екатеринбург, май 2017 г. С. 272-276.
6. Василевский Н. С., Кувалдин А. Е., Королев В. Н., Денисов М. А. Моделирование процесса теплоотдачи при струйном обтекании тела с контролем адекватности расчетов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : Материалы Международной научно-практической

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / УрФУ, Екатеринбург, декабрь 2017 г. С. 123-126.

7. Жорнова О. Н., Василевский Н. С., Денисов М. А. Проверочный расчет теплообменного аппарата в ANSYS FLUENT с контролем адекватности расчетов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / УрФУ, Екатеринбург, декабрь 2017 г. С. 175-178.

8. Черных В. Н., Денисов М. А. Отработка итерационного метода локальной детализации расчетов на примере анализа группового факела горелок // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / УрФУ, Екатеринбург, декабрь 2017 г. С. 410-413.

9. Кувалдин А. Е., Василевский Н. С., Полетаева Е. А., Денисов М. А. Моделирование процесса охлаждения сухого трансформатора в ANSYS CFX // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / УрФУ, Екатеринбург, декабрь 2017 г. С. 1002-1005.

УДК 536.3

## ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАГИСТРАТУРЕ УРФУ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН, БАЗИРУЮЩИХСЯ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

ДЕНИСОВ М. А., ЗВОНАРЕВ К. В., ЧЕРНЫХ В. Н.  
Уральский Федеральный университет

**Аннотация.** Широкое использование современных компьютерных технологий производства и науки требует корректировки программ обучения инженеров. Представленная работа показывает необходимость углубленного изучения геометро–графического моделирования на протяжении всего срока обучения в бакалавриате и в магистратуре. Обосновывается выбор для изучения студентами САПР КОМПАС–3D и SolidWorks.

**Ключевые слова:** моделирование, ANSYS, методы расчета, модели агрегатов, научная работа магистров.

## GEOMETRO-GRAPHIC MODELING IN URFU MAGISTRACY IN STUDYING DISCIPLINES BASED ON COMPUTER GRAPHICS

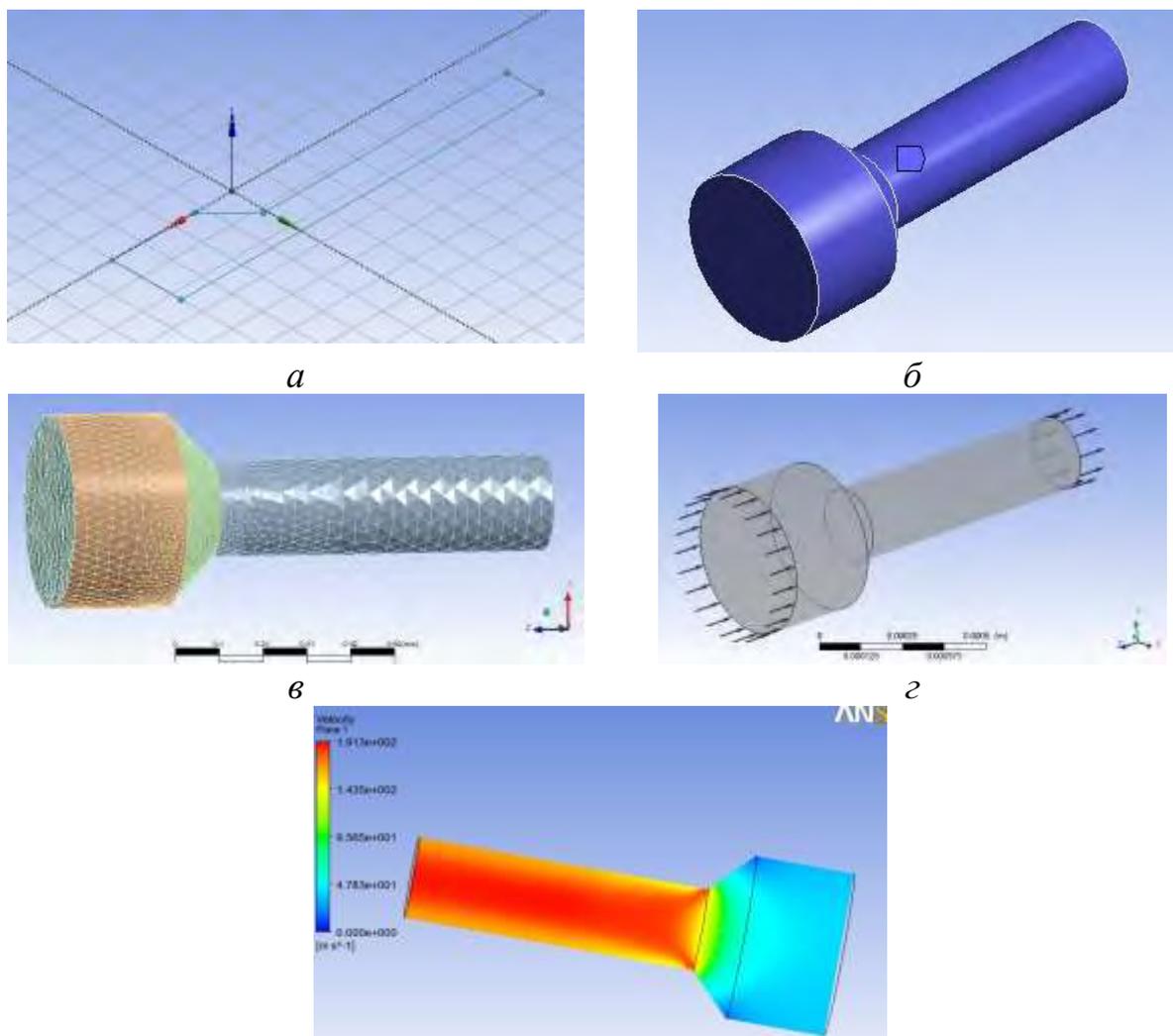
DENISOV M. A., ZVONAREV K. V., CHERNYKH V. N.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Abstract.** The wide use of modern computer technology production and science requires the correction of training programs for engineers. The presented work shows the need for an in-depth study of geometric-graphic modeling throughout the entire period of study in bachelor's and graduate students programs. The choice for studying by students of CAD KOMPAS-3D and SolidWorks is substantiated.

**Keywords:** modeling, ANSYS, calculation methods, aggregate models, scientific work of graduate students.

Обычно под геометро-графическим моделированием в системе образования подразумевается создание исполнительной конструкторской документации. Часто документация состоит из 2D – чертежей. Высокотехнологичные производства широко используют 3D-модели выполненные в какой-либо из CAD-систем: SolidWorks, SolidEdge, Inventor, T-FLEX CAD, КОМПАС–3D, AutoCAD, ADEM, Autodesk mechanical desktop и др. Самолеты, ракеты, транспорт проектируют с использованием вычислительных пакетов инженерного анализа: ANSYS, SolidWorks и др. Эти пакеты широко используют геометро–графическое моделирование, специфику которого инженеры должны изучать.

Проблему выбора CAD-систем обострило письмо, разосланное в 2014 г. компанией Autodesk своим российским партнерам, которое запретило продавать продукты и услуги отечественным компаниям, попавшим в обширный санкционный список Минфина США. Стала очевидной нежелательность использования в РФ программ AutoCAD, Inventor и Revit и их замещение программами Компас, T-Flex, nanoCAD и др. Настрой на импортозамещение подогрели подозрительные отказы в работе иностранного оборудования. Поэтому, например, Госсовет Китая запрещает государственным учреждениям закупать иностранное ПО. Подобные меры приняли и в Индии.



**Рис. 1. Графическое отображение этапов расчетного моделирования газодинамики звуковой трубы**

1. Особенности геометро–графического моделирования в процессе компьютерного проектирования технических объектов показаны на рис. 1. Изображения показывают этапы решения задачи расчетного моделирования газодинамики звуковой трубы в программном пакете ANSYS CFX. Сначала строится некий плоский контур (рис. 1, а), вращением которого получена геометрическая 3D – модель трубы (рис. 1, б).

Геометрическая модель используется для построения сеточной модели (рис. 1, в) для конечно-элементного решения задач гидродинамики и теплообмена. Визуальная информация о ходе решения задачи после задания граничных условий отражена рис. 1, г. Графика, отображающая результаты расчета, тоже имеет специфику (рис. 1, д). Из сказанного можно сделать вывод, что с переходом к современным технологиям проектирования роль геометрического моделирования растет. Особенно это заметно при проектировании сложных сборочных объектов. Здесь геометрические модели обеспечивают наглядность решений и контроль возможных ошибок. Следовательно, подготовка инженеров должна включать не только изучение ГОСТов ЕСКД, но и трехмерное геометрическое моделирование, и графические особенности технического моделирования. Последнее лучше делать в магистратуре.

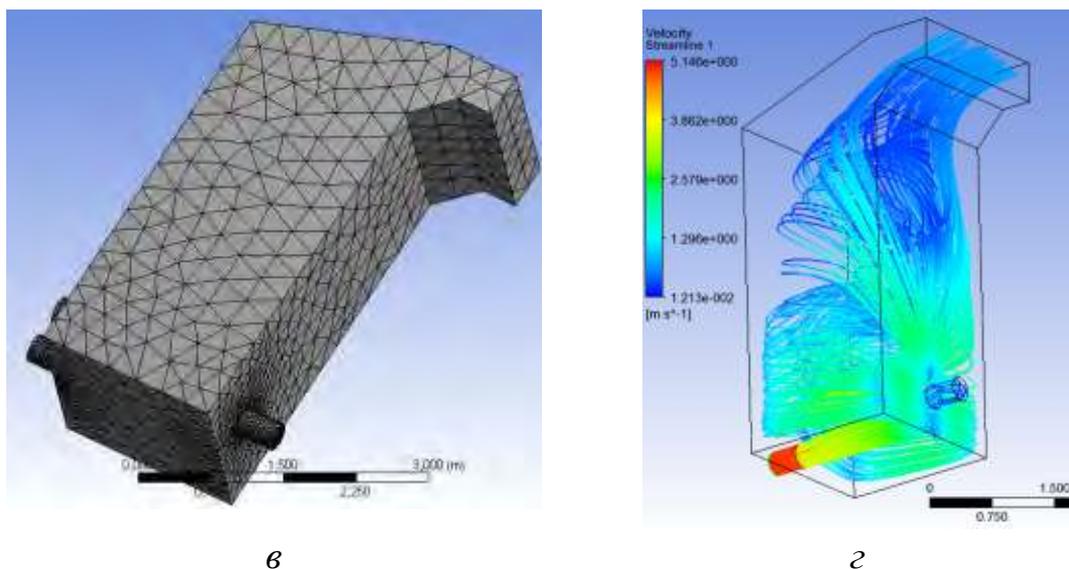
2. Для технического моделирования геометрии объектов разработаны сотни программ. Многие пакеты численного инженерного анализа имеют свои САД системы для построения изображений, которые отличаются друг от друга в деталях или интерфейсе. Изучать многообразие этих отличий в вузах не имеет смысла, поэтому в процессе проведения занятий в магистратуре кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» Энергетического института (ЭНИИ) УрФУ по предмету «Научные и инженерные расчеты в современных компьютерных программах» было решено создавать геометрические модели всех исследуемых объектов или в КОМПАС-3D, или в SolidWorks. Рис. 2 представляет результаты анализа возможных отличий в процессе и результатах решения задач с использованием этих пакетов.



а



б

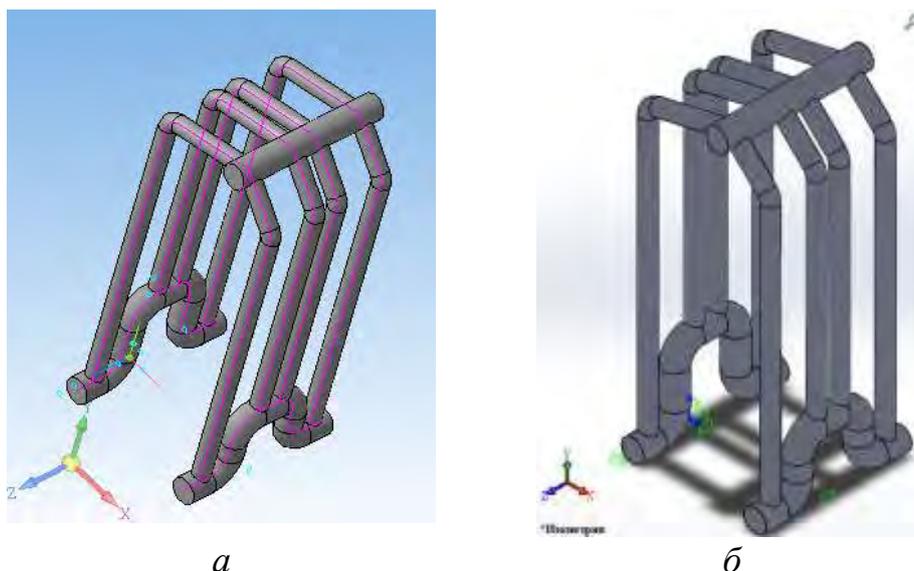


**Рис. 2. Сравнение результатов расчета по моделям, построенным в разных САПР.**

*a* - модель котла упрощенной конструкции построена в КОМПАС – 3D; *б* - модель построена в SolidWorks; *в* и *г* - сеточные разбиения и поля скорости среды, одинаковые в обоих случаях

Сравнение расчетов проводилось на многих технических объектах. На рис. 2, *a* показана упрощенная геометрическая модель промышленного котла, построенная в программе КОМПАС-3D, а на рис. 2, *б* та же модель, построенная в программе SolidWorks. Для обеих моделей были получены практически одинаковые модели сеточного разбиения (рис. 2, *в*) и почти одинаковые распределения расчетных параметров в объеме камеры (рис. 2, *г*). Незначительные расхождения численных значений определились неточным совпадением настроек сеточного генератора программы.

3. На форумах интернета конструкторы сравнивают обнаруженные ими достоинства и недостатки программ КОМПАС-3D и SolidWorks. У пакета КОМПАС отмечают удобства интерфейса, особенно при двумерном черчении, богатые библиотеки, учет ГОСТов ЕСКД. Достоинства SolidWorks определяются его международной известностью и особенно заметны при создании моделей сборок из многих сотен деталей. Поэтому были проведены сравнения расчетов в ANSYS гидродинамики и теплообмена для объектов сложной формы, геометрические модели которых были построены в этих пакетах (рис. 3).



**Рис. 3. Модель водяного экрана топки котла, построенная в КОМПАС – 3D (а) и в SolidWorks (б)**

Модель экрана на рис. 3, а была получена в КОМПАС-3D вырезанием с помощью кинематической операции объемов труб из общего объема огневой камеры котла. Модель на рис. 3, б создавали с предварительным построением в SolidWorks отдельной модели экрана и булевым вычитанием ее из модели объема огневой камеры. В итоге были получены близкие результаты моделирования теплообмена в обоих случаях.

УДК 004.92:371.3

## **ЭТАПЫ ПОВЫШЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ В ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАК ПРОДУКТА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ДЕНИСОВА М. В.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Необходимость применения компьютерных технологий при визуализации геометро-графических моделей, направления повышения компетенций и этапы интеграции инструментов компьютерной визуализации в обучающий процесс.

**Ключевые слова:** начертательная геометрия, инженерная графика, компьютерная графика, компьютерные технологии.

## **STAGES OF IMPROVING COMPETENCIES IN INTEGRATION IN THE PROCESS OF TRAINING VISUALIZATION AS A PRODUCT OF COMPUTER TECHNOLOGIES**

DENISOVA M. V.

Ural State Mining University

**Abstract.** The need for the use of computer technology in the visualization of geometric-graphic models, the direction of increasing competencies and the stages of integration of computer visualization tools into the learning process.

**Keywords:** descriptive geometry, engineering graphics, computer graphics, computer technologies.

## **Введение**

Развитие цифровой экономики и высокие темпы мирового научного и технического прогресса требуют применения компьютерных технологий в системе изучаемых дисциплин в технических вузах. Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика являются в системе высшего образования обеспечивающими интеграцию компьютерных технологий в процесс обучения дисциплинами. Изучение начертательной геометрии и инженерной графики своей целью преследует получение навыков реальных отображений и решения задач графическими методами.

В то же время компьютерная графика - это интерфейс взаимодействия между реальным миром и компьютером, постоянно расширяющий сферы своего применения. Компьютерная графика позволяет создать модель, воссоздать эксперимент в реальной ситуации или провести практическое исследование с применением сложных алгоритмов решения задач. Обоснованная необходимость максимального приближения процесса обучения к реальной профессиональной деятельности выражена в инструментах компьютерной визуализации.

Основными инструментами компьютерной визуализации являются рендеринг поверхностей трехмерных моделей с визуализацией пространственных поверхностей и применением систем виртуальной и дополненной реальности. Но применение современных компьютерных технологий неотрывно связано с развитием необходимых компетенций в предметных областях при организации образовательной деятельности.

Идеологической основой действующих образовательных стандартов высшего образования является компетентностный подход, методологические основы которого на сегодняшний день имеют обширные наработки. Компетентность - это интегральное качество индивидуума, выражающееся в способности осуществлять продуктивные действия при решении поставленной задачи. Профессиональная компетентность - это способность успешно действовать на основе практического опыта, умения и знаний при решении задач профессиональной сферы. При формировании компетенций (организация учебного процесса) следует опираться на использование активных и интерактивных форм обучения студентов. Наличие компетенции (оценка успешности обучения) выражается в интегральном стиле мышления, в способности совмещать теорию с практикой, интегрировать знания в практическую деятельность [4].

В этой связи очевидно, что проблемно-ориентированное и проектно-организованное обучение является одной из наиболее эффективных инновационных форм обновления учебного процесса [5].

Общеизвестная практика подтверждает необходимость применения интерактивных мультимедийных методов подачи учебного материала для инновационных форм обучения. В данной статье предлагается рассмотреть необходимость создания интерактивного курса с применением инструментов компьютерной визуализации.

### **Инструменты компьютерной визуализации**

В настоящее время цифровые технологии 3d-моделирования и 3d-визуализации становятся основой высокотехнологичного производства. Они позволяют сократить производственные затраты и сроки проектирования, обойти технологические ограничения и повысить качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Информационные технологии принципиально изменили проектно-конструкторскую деятельность, они внесли значительные коррективы в разработку проектно-конструкторской документации, включая ее создание и контроль [6].

В интересах совершенствования инженерного образования при преподавании геометро-графического моделирования особый интерес вызывает 3d-визуализация, как инструмент повышения «производительности» образовательного процесса и совершен-

ствования компетенций в области компьютерных технологий как преподавателя, так и студентов.

В продолжение используемой в образовании линейки продуктов Autodesk рассмотрим такие инструменты компьютерной визуализации как Autodesk Revit и Autodesk Live.

С помощью Autodesk Live инженеры и проектировщики могут:

- Подготовить модель Autodesk Revit для изучения в режиме реального времени, в том числе используя существующие чертежи Autocad;
- Интегрировать модель Revit в шаблон окружающей территории для того, чтобы быстрее масштабировать и добавлять контекст к любому существующему ландшафту;
- Конвертировать богатый фотореалистичный контент в 3D-модель в режиме реального времени.

#### **Этапы интеграции компьютерной визуализации в процесс обучения**

Традиционно вузовская базовая геометро-графическая подготовка была представлена в учебных планах технических специальностей дисциплинами (разделами) «Начертательная геометрия» (теории построения проекционного чертежа), «Инженерная графика» (основы разработки конструкторской документации) и «Компьютерная графика» (инструментальная подготовка для автоматизации выпуска конструкторской документации). Они закладывали основы проектной культуры будущих выпускников и изучались последовательно. С развитием компьютерных технологий, в том числе компьютерной графики, были запущены интеграционные процессы взаимопроникновения разделов графической подготовки, что особенно ускорилось с распространением технологий проектирования в формате 3d [7].

Для повышения эффективности адаптационных процессов новых инструментов с текущими базовыми учебными планами предлагаем дорожную карту интеграции компьютерной визуализации в процесс обучения:

1. Оценка стартового уровня подготовки по базовым компетенциям, таким как начертательная геометрия, инженерная графика и компьютерная графика.
2. Выбор платформы визуализации как электронной среды обучения.
3. Подготовка программы обучения инструментам компьютерной визуализации.
4. Создание интерактивного курса обучения на платформе виртуализации с учетом видов учебной деятельности (индивидуальная, коллективная, самостоятельная).
5. Интеграция курса в учебный процесс.

В результате, для успешной реализации инструментов компьютерной визуализации в образовательном процессе необходимо создать обобщенный интерактивный курс «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика». Для этого на базе существующих и разработанных программ обучения требуется сформировать техническое задание на разработку интерактивного курса в формате Autodesk Revit и разработать техническое решение на развертывание ИТ-инфраструктуры Autodesk Live.

#### **Направления развития компетенций**

При разработке инновационного курса графической подготовки особое внимание должно быть уделено освоению практических приемов использования компьютерной графики. В программу обучения должен быть введен лабораторный практикум, где рассматриваются вопросы не только автоматизированного выпуска конструкторской документации (синтез инженерной и компьютерной графики), но и решаются практико-ориентированные задачи геометрического моделирования, сочетающие теоретические основы начертательной геометрии и современного инструментария САПР. Практикум по геометрическому моделированию содержит задачи – современные аналоги метрических и позиционных задач – различного уровня сложности, развивающие простран-

ственное воображение обучаемых, демонстрирующие необходимость освоения основ начертательной геометрии и одновременно позволяющие совершенствовать навыки использования инструментария 3d моделирования. В процессе интеграции компьютерной визуализации необходимо обратить внимание на необходимость повышения требований к результатам обучения геометро-графического моделирования и унификации компетентностно-ориентированного подхода к разработке программ освоения предметной области [8].

Техническая графическая информация связана с представлением данных о пространственных объектах, важными ее характеристиками являются точность и наглядность. А одной из главных и в то же время сложных задач графического образования считается развитие пространственного мышления у обучаемых. Мультимедийная технология обучения с помощью программных и технических средств дает уникальную возможность имитировать образы реальных объектов, явлений и процессов. Это позволяет при обучении подходить к абстрактным понятиям, не только следуя логике разума, но также через чувства и ощущения, которые возникают при рассмотрении виртуальных моделей на экране компьютера. Такой подход способствует целостному восприятию материала, увеличению скорости и качества его усвоения [9].

Разработка комплексного методического сопровождения учебного процесса, охватывающего различные виды учебной деятельности. Важным фактором успешности применяемых образовательных технологий является методически проработанное сопровождение образовательного процесса, технологичность и ясность воспроизведения запланированных учебных заданий. Современный учебно-методический комплекс дисциплины (УМКД) создает эффективную среду обучения, оптимально организует учебные действия студентов, задает алгоритм для самостоятельного выполнения проектных заданий, обеспечивает формирование всей совокупности инженерно-графических компетенций на требуемом уровне и с учетом индивидуальных особенностей отдельных студентов [9, 10].

Электронная форма УМКД позволяет эффективно пользоваться учебным материалом. Так, например, разработанные мультимедийные лекции применяются в двух вариантах: как современное дидактическое средство на лекционных занятиях при разборе нового материала и как учебное пособие для самостоятельного изучения или повторения разделов дисциплины студентами всех форм обучения [6].

### **Заключение**

Для инновационного развития экономики России необходима подготовка кадров новой формации, способных осваивать передовые наукоемкие технологии, а также создавать и выпускать конкурентоспособную отечественную продукцию. Актуальной является задача формирования готовности выпускников к проектно-конструкторской деятельности, соответствующей запросам сегодняшнего дня [6].

Применение инструментов компьютерной визуализации при изучении дисциплин «Начертательная геометрия», «инженерная графика» и «компьютерная графика» вызовет необходимость повышения требований к результатам обучения, поэтому наряду с интеграцией компьютерных технологий в различные формы обучения, необходимо обращать серьезное внимание на развитие компетенций, основные направления которых рассмотрены в данной статье.

### **Список литературы**

1. Шитов С.Б. Подготовка креативных компетентных специалистов-исследователей в обществе знания // Высшее образование сегодня. 2015. № 8. С. 22-25.

2. Петрунева Р.М., Топоркова О.В., Васильева В.Д. Учебное инженерное проектирование в структуре подготовки студентов технического вуза // Высшее образование в России. 2015. №7. С. 30-36.
3. Гилязова С.Р., Старшинова Т.А. Интегративный подход в преподавании графических дисциплин // Высшее образование в России. 2013. № 1. С.99-104.
4. Матушкин Н.Н., Столбова И.Д. Роль междисциплинарного компонента образовательных программ, реализующих компетентностную парадигму //
5. Дульзон А.А. Опыт проблемно-ориентированного и проектно-организованного обучения // Высшее образование в России. 2010. № 10. С. 42—48.
6. Столбова И. Д., Шахова А. Б. Интегративная модель геометро-графической подготовки студентов / GraphiCon2017, Геометрическое моделирование. Компьютерная графика в образовании, 24–28 сентября, 2017, Пермь, Россия.
7. Тельной В.И. Новые подходы к изучению дисциплины «Инженерная графика» с использованием современных информационных технологий // Вестник МГСУ. 2013. №8. С.168-176.
8. Александрова Е.П., Носов К.Г., Столбова И.Д. Геометрическое моделирование как инструмент повышения качества графической подготовки студентов // Открытое образование. 2014. № 5 (106). С. 20-27.
9. Михелькевич В.Н., Москалева Т.С., Пузанкова А.Б. Инженерно-графическая подготовка студентов на базе электронного учебно-методического комплекса // Вектор науки ТГУ. 2014. №3. С. 314-317.
10. Столбова И.Д., Александрова Е.П., Крайнова М.Н., Кочурова Л.В. О создании учебно-методического комплекса для сопровождения графической подготовки студентов // Геометрия и графика. 2015. Т. 3. № 2. С. 29-37. DOI 10.12737/1216.

Научное издание

Уральская горнопромышленная декада, 9-18 апреля 2018 года, г. Екатеринбург

VII Международная научно-техническая конференция  
«ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ  
И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ»

10-11 апреля 2018 г.

Сборник докладов

Ответственный за выпуск  
доктор технических наук, профессор Н. Г. Валиев

Редактор изд-ва *Л. В. Устьянцева*  
Компьютерная верстка *Э. В. Шориной*

Подписано в печать  
Печать на ризографе. Бумага писчая. Формат 60 × 84/8.  
Усл. печ. л. 26,0. Уч.-изд. л. 19,25. Тираж 120. Заказ.

Издательство УГГУ  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
Уральский государственный горный университет

Отпечатано с оригинал-макета  
в лаборатории множительной техники УГГУ