

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



Кафедра горного дела



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

4–5 апреля 2024 г.  
Сборник докладов

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

Екатеринбург – 2024

М 44

**Председатель оргкомитета:**

**Валиев Н. Г.** – зав. кафедрой горного дела УГГУ, д-р техн. наук, профессор.

**Председатель Программного комитета:**

**Яковлев В. Л.** – член-корр. РАН, советник РАН, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ИГД УрО РАН.

**Сопредседатели:**

**Соколов И. В.** – директор ИГД УрО РАН, д-р техн. наук.

**Лель Ю. И.** – зав. каф. разработки месторождений открытым способом УГГУ, д-р техн. наук, профессор.

**Пропп В. Д.** – зам. зав. каф. горного дела УГГУ, канд. техн. наук, профессор.

**Волков М. Н.** – зав. каф. шахтного строительства УГГУ, канд. техн. наук, доцент, декан горно-технологического факультета.

**Оргкомитет:**

**Демин В. Ф.** – проф. каф. «Разработка МПИ» КарГТУ (Республ. Казахстан), д-р техн. наук.

**Заворницын В. В.** – нач. Управления развития и реализации инвест. проектов горно-рудных предприятий ОАО «УГМК».

**Набиуллин Ф. М.** – генеральный директор ООО «Березовский рудник».

**Жээналиев М. С.** – генеральный директор ООО «Куранды Девелопинг» (Киргизская Республика).

**Кутенев А. А.** – генеральный директор ООО «ПЕГМАТИТ», канд. техн. наук.

**Салахияев Р. Г.** – технический директор ПАО «Ураласбест».

**Здоровец И. Л.** – главный инженер артели старателей «Нейва».

**Арефьев С. А.** – доц. кафедры горного дела УГГУ, канд. техн. наук, доцент.

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 44

**ХIII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений»**, г. Екатеринбург, 4-5 апреля 2024 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 1-10 апреля 2024 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2024. – 280 с.

Доклады ХIII 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.

© Уральский государственный горный университет, 2024

© Авторы, постатейно, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ПОДЗЕМНАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

|  |    |
|--|----|
| Валиев Н. Г., Пропп В. Д., Шохов С. О. О результатах опытно-промышленных испытаний камерной системы разработки в условиях Корбалихинского рудника .....                          | 6  |
| Беркович В. Х., Пропп В. Д., Шохов С. О., Старцев В. А., Гусманов Ф. Ф. Профилактическое заиливание при разработке медно-колчеданных руд системами разработки с обрушением ..... | 12 |
| Валиев Н. Г., Петров В. П. Способ крепления горных выработок электродуговой сваркой .....  | 18 |
| Вандышев А. М., Потапов В. В. О характере изменения температуры в выработанном пространстве и целиках угля .....   | 23 |
| Гусманов Ф. Ф., Потапов В. В. Технология разработки полиметаллических руд со сложным минералогическим составом в подземных условиях .....  | 27 |
| Демин В. Ф., Захаров А. М., Демина Т. В. Технология упрочнения неустойчивых горных массивов синтетическими смолами в угольных шахтах .....                                       | 31 |
| Белоногова В. А. Влияние увеличенного расхода воды на прочность закладки .....   | 37 |
| Чебан А. Ю. Совершенствование технологии комбинированной выемки тонких рудных тел с ценным минеральным сырьем .....  | 44 |
| Исабек Т. К., Баизбаев М. М., Баизбаев М. Б. Анализ оставленных запасов в целиках угольных шахт Карагандинского угольного бассейна .....   | 49 |
| Камзинов Н. Ж. New technologies in the field of fixing and increasing the stability of rocks in mine workings .....  | 53 |

### ОТКРЫТАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

|  |    |
|--|----|
| Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к решению проблем проектирования и разработки комплексных месторождений твердых полезных ископаемых .....                            | 58 |
| Анистратов К. Ю., Шибанов Д. А., Донченко Т. В. Особенности рынка карьерных экскаваторов в России .....  | 65 |
| Дубских Ю. А., Лель Ю. И., Стихин А. А. Результаты испытания электронной системы инициирования зарядов в условиях ГУП «Монетный щебеночный завод» .....                                  | 80 |
| Реготунов А. С. Сравнительный анализ современной буровой техники для открытых горных работ .....   | 85 |
| Фролов С. Г., Сандригайло И. Н., Арефьев С. А., Овчинникова Т. В. Перспективы использования на горных предприятиях трехосных карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 30-90 тонн ..... | 90 |
| Чебан А. Ю. Способ разработки сложноструктурных рудных тел с применением усовершенствованного стрелового комбайна .....  | 98 |

|  |     |
|--|-----|
| Маманова А. А. Актуальные вопросы разработки карьеров нерудных строительных материалов.....  | 103 |
| <b>ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ</b>  |     |
| Афанасьев А. И., Бочков В. С., Потапов В. Я., Потапов В. В., Бочкова К.В. Влияние электрообработки на измельчение материала в шаровой мельнице .....                         | 107 |
| Потапов В. Я., Афанасьев А. И., Потапов В. В., Анохин П. М., Кузнецов А. М. Аппараты для разделения горных пород с использованием воздуха .....                              | 113 |
| Кологривко А. А., Кузьмич В. А. Влияние составов на физико-механические свойства складированных галитовых отходов .....  | 121 |
| <b>ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ</b>  |     |
| Угольников А. В., Потапов В. Я., Потапов В. В., Угольникова А. Е. Парамонова А.А. Математическая модель функционирования рудничных компрессорных установок ...               | 126 |
| Юсупов Т. И., Угольников А. В. Обеспечение бескавитационных режимов работы шахтных водоотливов .....   | 132 |
| Потапов В. Я., Афанасьев А. И., Потапов В. В., Гребенкин С. М. Парамонов К. А. Обзор конструкций аппаратов для разделения горных пород по трению и упругости.                | 134 |
| Угольников А. В., Потапов В. Я., Потапов В. В., Угольникова А. Е. Парамонова А. А. Минимизация потерь энергии при распределении сжатого воздуха в компрессорной станции..... | 141 |
| <b>ГЕОМЕХАНИКА</b>   |     |
| Вандышев А. М., Потапов В. Я., Потапов В. В. Параметры остаточного опорного давления и изменение их во времени .....   | 148 |
| Демин В. Ф., Захаров А. М., Двужилова С. Н., Демина Т. В. Оценка проявлений пучения пород почвы в подготовительных выработках .....  | 158 |
| Усанов С. В. Исследование сдвижения земной поверхности от золоторудных даек для определения рисков строительства производственных зданий .....                               | 165 |
| Демин В. Ф., Захаров А. М., Жумабеков М. Н., Демина Т. В. Исследование деформационных процессов в эксплуатационных выработках, прилегающих к выемочному столбу .....         | 172 |
| Сатанов Ж. Р., Мусин А. А., Далибаев А. Ж. Методы оценки устойчивости уступов и откосов в условиях анизотропного массива.....  | 181 |
| Алдамжаров Е. А. Геомеханическое обоснование параметров горных выработок при разработке рудных месторождений .....   | 188 |
| Винальева Е. А. Обзор современных геодезических приборов для мониторинга деформационных процессов земной поверхности .....   | 194 |
| Далибаев А. Ж., Мусин А. А., Сатанов Ж. Р. Анализ современных способов оценки геомеханического состояния массива горных пород .....  | 201 |
| Чжао Жонань Мониторинг просадочных деформаций в шахтах с помощью интреферометрии радара с синтезированной апертурой .....  | 209 |

|  |     |
|--|-----|
| Камзинов Н. Ж. Метод определения ожидаемых нагрузок для совершенствования горных выработок ..... | 212 |
|--|-----|

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

|   |     |
|---|-----|
| Валиев Н. Г. Савенков А. А. Использование современного ПО при проектировании подземных очистных горных работ .....  | 218 |
| Волков М. Н., Потапов В. В., Потапов В. Я. Совершенствование статистического моделирования горнотехнических задач .....   | 223 |
| Бабич В. Н., Шангина Е. И., Сиразутдинова Н. Б. Информационно-математическое моделирование в задачах проектирования инженерных объектов .....   | 234 |
| Тимохин А. В., Яковлев А. М., Титов Р. С., Кантемиров В. Д. Геоцифровизация эндогенных сигналов дешифрирования водных свойств в решении эколого-инженерных задач при возведении объектов горной промышленности и гидротехнического строительства..... | 241 |
| Томилов А. Д. Проектирование отработки рудных месторождений подземным способом с помощью современного ПО .....  | 250 |
| Шабанова В. А. Геоинформационное обеспечение и обработка данных на стадии получения лицензии на пользование недрами.....  | 258 |

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**

|   |     |
|---|-----|
| Собирова Ш. Р. Факторы маркетингового регулирования устойчивого развития горных предприятий ..... | 262 |
| Назарматов А. А. Специфические особенности размещения горнорудной промышленности в регионе .....  | 267 |
| Хаджибаева М. М. Управление человеческими ресурсами горных предприятий .....                      | 273 |
| Хуснуллин Д. Р. Комбинированное использование методов управления техногенными георесурсами .....  | 277 |

УДК 622.272

### О ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ НОВОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

ВАЛИЕВ Н. Г., ПРОПП В. Д., ШОХОВ С. О.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье приведены промежуточные результаты испытаний камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства на Корбалихинском руднике АО «Сибирь-Полиметаллы».

**Ключевые слова:** камерная система разработки, опытно-промышленные испытания, параметры очистных камер, подготовительно-нарезные работы, закладка твердеющей смесью, нисходящий порядок отработки, отрезная щель, показатели извлечения.

### ABOUT THE RESULTS OF PILOT TESTS OF THE CHAMBER MINING SYSTEM IN THE CONDITIONS OF THE KORBALIKHINSKY MINE

VALIEV N. G., PROPP V. D., SHOKHOV S. O.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article presents the interim results of tests of a chamber mining system with back-filling of mined-out space at the Korbalkhinsky mine of Siberia-Polymetals JSC.

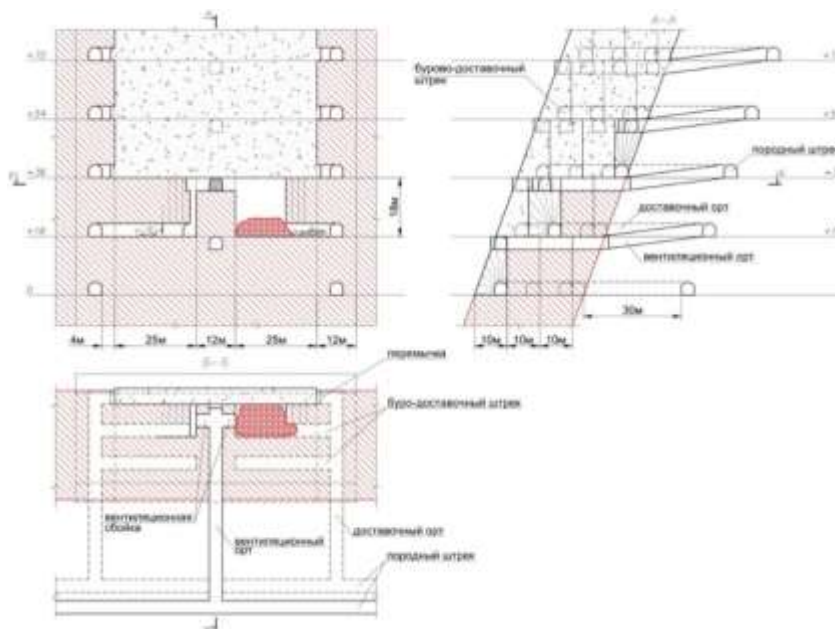
**Keywords:** chamber development system, pilot-industrial testing, parameters of cleaning chambers, preparatory cutting work, filling with a hardening mixture, descending mining order, cutting slot, extraction rates.

Корбалихинский рудник АО «Сибирь-Полиметаллы», входящий в группу предприятий ОАО «УГМК», разрабатывает уникальное месторождение полиметаллических руд с промышленным содержанием меди, цинка и свинца и находится в Западной Сибири на юге Алтайского края в 30 км от гор. Рубцовска.

Морфология рудного тела имеет сложное строение, что характеризуется невыдержанностью мощности, как по простиранию, так и по падению. Горизонтальная мощность рудного тела колеблется от 2 до 50-60 м, средний угол падения составляет 55-60°. Около 80 % балансовых запасов расположено на глубине более 400 м.

Производительность Корбалихинского рудника в настоящее время составляет 400 тыс. т руды в год. Применяемая на руднике система разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства предусматривает, по-существу, добычу руды с помощью проходки очистных выработок сечением 16 м<sup>2</sup> (4м×4м). Низкая производительность труда, большой объем подготовительно-нарезных работ (ПНР) и высокая себестоимость добычи руды не позволяют увеличить производственную мощность рудника.

В связи с динамичным развитием АО «Сибирь-Полиметаллы» руководством предприятия была поставлена задача найти способы увеличения производственной мощности рудника до 1,5 млн. т до 2025 г. путем перехода на применение современных геотехнологий. Обеспечить такую производительность при существующей системе разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства не представляется возможным. Поэтому для участков с большой мощностью рудных тел разработана технология выемки руды камерной системы разработки с расположением камер по простиранию и закладкой выработанного пространства (рис. 1).



**Рис. 1. Камерная система разработки с расположением камер по простиранию и твердеющей закладкой выработанного пространства (нисходящий порядок отработки)**

Сущность предлагаемой системы разработки заключается в том, что рудное тело обрабатывается камерами длиной 25 м, шириной 10 м и высотой 16 м. Очистная выемка в камере ведется одним забоем в отступающем порядке. При необходимости оставляются междукамерные целики, которые обрабатывают после отработки и закладки соседних камер, либо на заключительном этапе отработки камеры на границе с заложеной. Отбойка руды осуществляется вертикальными слоями с помощью восходящих вееров скважин, пробуренных из буро-доставочного штрека. Отгрузку и доставку руды производят с почвы камеры погрузочно-доставочной машиной с дистанционным управлением до ближайшего рудодоспуска или перегрузочного пункта. После полной отработки запасов камеры возводят перекрышки и производят закладку камер твердеющими смесями.

Камерная система разработки в сравнении с существующей слоевой выемкой руды позволит добиться таких показателей, как:

- увеличение производственной мощности рудника до 1,5 млн. т;
- сокращение объемов подготовительно-нарезных выработок до  $45 \text{ м}^3/1000 \text{ т}$ ;
- сокращение показателя разубоживания руды до 4 %;
- использование существующей схемы вскрытия и подготовки месторождения.

Поскольку камерная система разработки является для Корбалихинского рудника новой, то возникла необходимость проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ) с целью проверки безопасности и разработки рекомендаций по ее дальнейшему применению.

Для проведения ОПИ была подготовлена рабочая документация по проведению опытно-промышленных испытаний [1], разработано обоснование безопасности опасного

производственного объекта «Рудник Корбалихинский АО «Сибирь-Полиметаллы», получено заключение экспертизы промышленной безопасности, подготовлена и утверждена Программа проведения ОПИ.

Опытный блок выбран в отм. -192 м / -224 м. мощного участка рудного тела. Блок состоит из 23 очистных камер и 12 МКЦ (рис. 2).

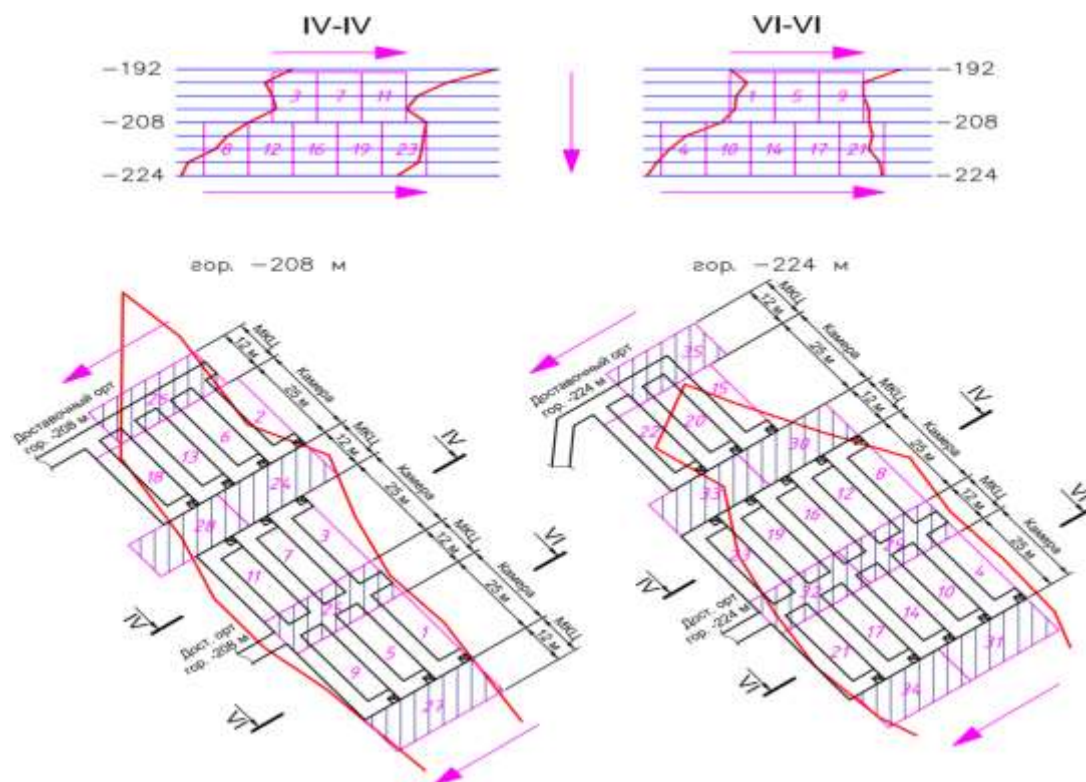
Обработка запасов блока производится сверху вниз, что позволяет поэтапно подготавливать и обрабатывать запасы. Участок высотой 32 м делится на два добычных слоя высотой по 16 м, отрабатываемых камерами. Слой отрабатывают последовательно от висячего бока к лежащему. Заездами на слои служат наклонные вентиляционные и доставочные орты. Очистная выемка в камерах ведется одним забоем в направлении от вентиляционного орта к доставочному.

В опытном блоке одновременно в работе находится две камеры. В пределах слоя камеры отрабатываются при условии обеспечения необходимой прочности сопряженной камеры. При отработке камер в нижнем слое опережение выемки верхнего слоя должно составлять не менее двух камер.

Принятый порядок отработки запасов опытного блока (рис. 2) обеспечивает:

- постепенный и своевременный ввод запасов в эксплуатацию;
- рациональное использование и максимальную загрузку имеющегося бурового и погрузочно-доставочного оборудования;
- повышение безопасности ведения горных работ за счет возможности контроля за процессом ведения закладочных работ.

Во время проведения ОПИ проверяются устойчивость кровли и стенок камер при принятых, геомеханически обоснованных, параметрах камер и реальные сроки производства очистных и закладочных работ. Также, важно получение опыта бурения скважин, натурального определения сроков твердения закладки и набора ее прочности, а также устойчивости закладочного массива при работе под несколькими заложеными горизонтами.



**Рис. 2. Порядок отработки запасов опытного блока:**

- 1, 2, 3, ...28 - номера камер, МКЦ и последовательность их отработки;
- - направление отработки камер от висячего бока рудного тела к лежащему



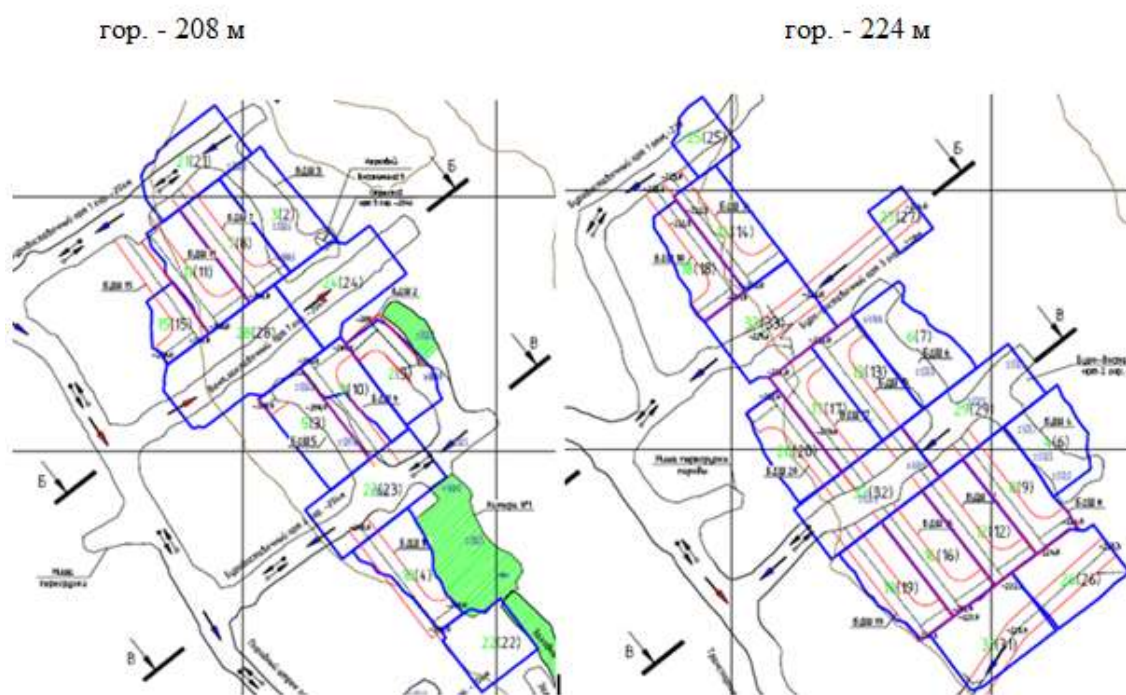
Подготовительно-нарезные и очистные работы в опытном блоке производят согласно принятому порядку отработки камер.

В ходе опытно-промышленных испытаний, осуществляемых с ноября 2023 года по настоящее время, было установлено:

1) Некачественное ведение работ маркшейдерской службой рудника при проведении подготовительно-нарезных выработок привело к тому, что ряд выработок имеют отклонения от проектной трассировки.

2) Нарушение очередности проходки нарезных выработок в опытном блоке привело к нарушению проекта календарного плана отработки запасов блока, что, в свою очередь, потребовало провести корректировку порядка отработки камер.

3) В связи с уточнением контуров рудной залежи изменены границы и число камер в опытном блоке в сравнении с проектными (рис. 3).



**Рис. 3. Фактический контур рудной залежи и актуальный порядок отработки камер**

4) Бурение скважин ведется с отклонением от проекта в связи с отсутствием разметки сетки скважин и возможной неправильной эксплуатацией бурового оборудования. Низкое качество бурения связано, в том числе, с отсутствием системы позиционирования бурового станка Simba.

5) Очистные работы в Камере №1 проведены в полном объеме за исключением отбойки веера №16 (рис. 4), отбойка которого будет проводиться при выемке запасов МКЦ. Взрывные работы по отбойке веера №16 не производились по причине развития интенсивного заколообразования, образования и раскрытия трещин в бортах и кровле подводящих выработок.

6) По причине развития динамических форм проявлений горного давления произошло обрушение целика между вентиляционными сбойками отм. -192 м, что привело к превышению проектных параметров кровли Камеры №1 (рис. 5) на участке формирования отрезной щели и снижению качественных показателей извлечения, обусловленных увеличением объемов засорения минерализацией и пустой породой.

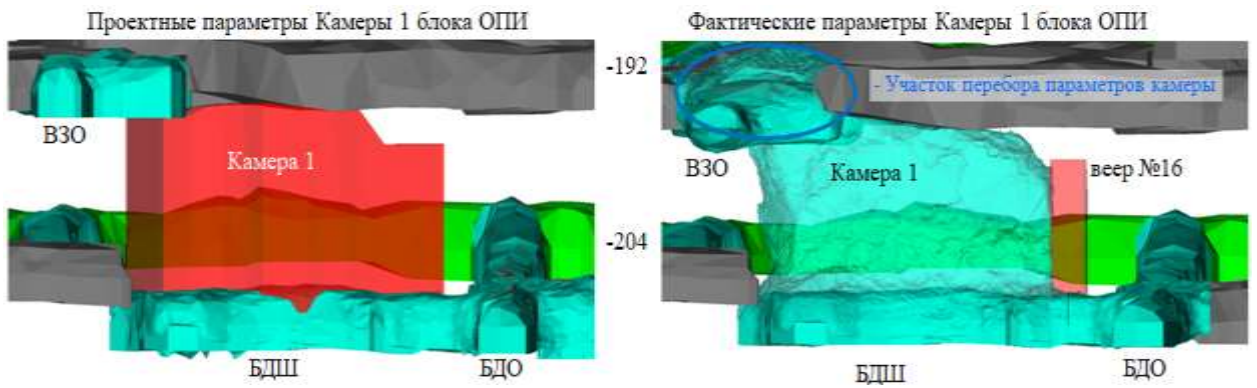


Рис. 4. Проектные и фактические параметры Камеры №1 после полной ее отработки

7) По результатам фактической съёмки Камеры №1 в период окончания ее отработки зафиксировано отклонение контура почвы камеры от проектного, что обусловлено отсутствием взрывных скважин в нижний угол камеры (рис. 6).

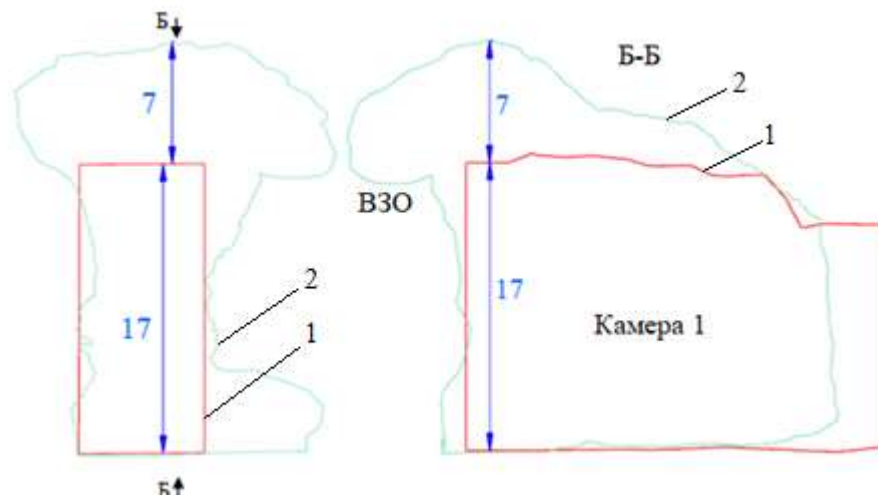
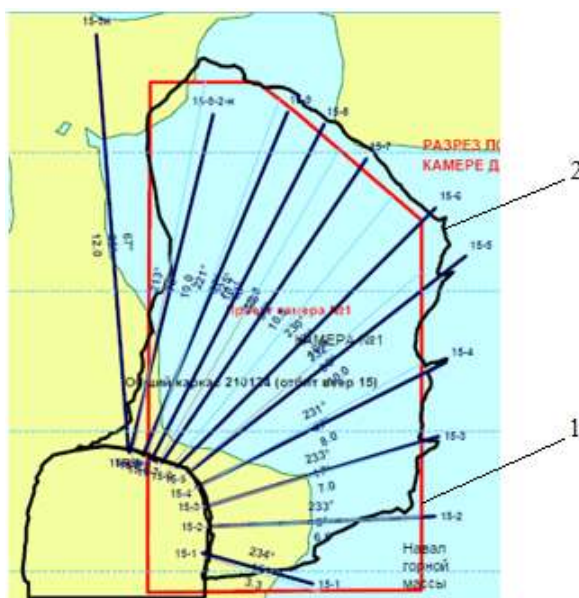


Рис. 5. Превышение параметров Камеры №1:

1 – проектный контур камеры; 2 – фактический контур камеры

8) В Камере №3 из-за некачественного оформления отрезной щели при взрывании первого ввёра скважин произошёл обвал кровли, вследствие чего стало невозможным заряжать ввёра скважин №2 и №3. Для исправления данной ситуации потребовалось переобуривать скважины с безопасного расстояния.

Для качественного контроля за формированием контура камер в ходе ОПИ был разработан план - график обязательного сканирования отработанного очистного пространства со стороны вентиляционной сбойки на этапах формирования отрезной щели, отработки 50 % запасов камер и отработки 100 % запасов. При возникновении внештатных ситуаций, изменяющих параметры камер, производится дополнительное сканирование очистного пространства.



**Рис. 6. Разрез Камеры №1 по вееру №15:**  
 1 – проектный контур камеры; 2 – фактический контур камеры

В настоящее время в ходе проведения опытно-промышленных испытаний отработана Камера №1. Закладочные работы в Камере №1 осуществлены общим объемом 5111 м<sup>3</sup> с обеспечением нормативной прочности закладки 5 МПа. Камера №2 в ходе проведения нарезных работ имела отклонения от проектного контура (рис. 3), вследствие чего потребовалось заложить камеру твердеющей закладкой и изменить порядок отработки. В Камере №3 закончена очистная выемка и осуществляется подготовка к закладочным работам. В камере №4 осуществляется очистная выемка. В Камере №5 проводятся работы по образованию отрезной щели.

Предварительные результаты опытно-промышленных испытаний дают основание для оптимистичного прогноза успешного применения на Корбалихинском руднике камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства. Окончательные же выводы будут сделаны после завершения ОПИ и полной отработки запасов опытного блока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рабочий проект «Опытно-промышленные испытания (ОПИ №2) камерной системы разработки в условиях Корбалихинского месторождения АО «Сибирь-Полиметаллы»: отчет о НИР / УГГУ. Екатеринбург, 2023. 148 с.

## ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ЗАИЛИВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД СИСТЕМАМИ РАЗРАБОТКИ С ОБРУШЕНИЕМ

БЕРКОВИЧ В. Х., ПРОПП В. Д., ШОХОВ С. О., СТАРЦЕВ В. А., ГУСМАНОВ Ф. Ф.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье описываются профилактические мероприятия по предупреждению, локализации и ликвидации очагов самовозгорания медно-колчеданных руд, приводится технология и способы профилактического заиливания при применении систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

**Ключевые слова:** заиливание, самовозгорание руд и пород, профилактические мероприятия, системы разработки с обрушением, эндогенные пожары, заилоочные установки.

## PREVENTIVE SILTING DURING THE MINING OF COPPER-SITE ORES BY CAVE-DEVELOPMENT SYSTEMS

BERKOVICH V. KH., PROPP V. D., SHOKHOV S. O., STARTSEV V. A., GUSMANOV F. F.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article describes preventive measures for the prevention, localization and elimination of sources of spontaneous combustion of copper pyrite ores, provides technology and methods of preventive siltation when using mining systems with caving of ore and host rocks.

**Keywords:** siltation, spontaneous combustion of ores and rocks, preventive measures, mining systems with collapse, endogenous fires, silting installations.

Практика отработки медно-колчеданных месторождений показывает, что окислительные процессы, достигающие стадии эндогенных пожаров, развиваются в процессе ведения очистных работ и не зависят от того, ведутся ли они системами с закладкой или с профилактическим заиливанием, то есть они могут возникнуть при любой системе разработки, допускающей временное оставление отбитой руды в очистном забое. Поэтому в любом случае требуется разработка мероприятий по предупреждению эндогенных пожаров.

Профилактика возникновения подземных пожаров от самовозгорания руд и пород включает в себя как мероприятия по предупреждению самовозгорания, так и меры по ликвидации очагов самовозгорания в начальной стадии.

Все организационно-технические мероприятия по предупреждению, локализации и ликвидации очагов самовозгорания можно разделить на общие горнотехнические и специальные мероприятия, они направлены на выполнение следующих условий:

- 1) изоляция окисляющихся материалов;
- 2) предотвращение доступа кислорода к окисляющемуся материалу;
- 3) снижение химической активности, а именно окислительной способности самовозгорающегося материала;
- 4) охлаждение нагретой массы;
- 5) сокращение времени нахождения самовозгорающегося материала в соприкосновении с кислородом.

Общие горнотехнические мероприятия направлены на выполнение первого, второго и пятого условий. Они сводятся к быстрой и полной выемке полезного ископаемого, поле-

вой подготовке по не возгорающимся породам, выполнению минимальных объемов подготовительных и нарезных работ, подготовке к выемке отдельных легко изолируемых блоков с оставлением междублоковых целиков, сохраняющих несущую способность, изоляции выработанного пространства от действующих участков и снижению депрессии вентиляционных струй на этих участках.

Специальные мероприятия проводят по особым проектам и, как правило, специализированными организациями. Специальные мероприятия направлены на выполнение второго, третьего, четвертого и иногда первого условий. Специальные аварийные мероприятия осуществляются силами горноспасательных частей.

Для предупреждения пожаров, возникающих от самовозгорания руд и пород, необходимо систематически проводить противопожарную профилактику. Основным противопожарным профилактическим мероприятием, позволяющим вести отработку системами с обрушением без пожаров, является профилактическое заиливание выработанного пространства глинистой пульпой.

Глинистая пульпа подается в выработанное пространство для его изоляции от подсосов воздуха, а также с целью профилактики самовозгорания рудной мелочи или для подавления уже возникших очагов самонагревания и самовозгорания. Пульпа представляет собой водную суспензию из тонкодисперсного твердого материала (глины, суглинка, песка и др.). Проходя через обрушенные породы выработанного пространства, пульпа расслаивается: вода отфильтровывается в примыкающие горные выработки, а твердый осадок заполняет пустоты и трещины, в результате чего происходит заиливание. Консистенция пульпы (Т:Ж – отношение объема твердых частиц к объему воды) при заиливании колеблется в широких пределах – от 1:1 до 1:8. Наибольший эффект достигается при применении пульпы с отношением твердого к жидкому от 1:2 до 1:4.

Важно отметить роль воды при заиливании. Вода при заиливании поступает в подземные выработки с температурой не более 10°. При такой температуре окисление руд резко снижается. Охлаждающее действие воды до сих пор недооценивалось при объяснении механизма процесса заиливания. Роль воды при заиливании не второстепенная, а одна из главных. Весьма большая эффективность профилактического заиливания, по всей вероятности, может быть, объяснена хорошим охлаждающим действием воды, а не только процессом заполнения глиной пустот, трещин и образования оболочки на поверхности рудной мелочи.

Заиливание может проводиться по всей площади выработанного пространства (площадное заиливание) или только по его контуру (контурное заиливание). Площадное заиливание требует больших материальных затрат и применяется в наиболее опасных случаях, как правило, при разработке мощных самовозгорающихся пластов со значительными эксплуатационными потерями руды.

Количество заиловочной пульпы, необходимое для обеспечения воздухопроницаемости обрушаемых пород, зависит от коэффициента заполнения выработанного пространства обрушаемыми породами. На основании опыта заиливания при отработке медно-колчеданных месторождений Урала установлено, что при правильном чередовании очистной выемки с профилактическим заиливанием при закачке в заиливаемое пространство 20-25% глины (от вынутого объема руды) возникновение пожаров может быть полностью исключено.

Контурное заиливание снижает воздухопроницаемость обрушенных пород на границах выемочного участка как по падению, восстанию, так и по простиранию.

Способ борьбы с подземными пожарами, возникающими в результате самовозгорания полезного ископаемого, посредством заиливания известен очень давно. Однако вначале заиливали только те участки, где возникали пожары. Для локализации пожарного участка приходилось устраивать перемычки в выработках, изолируя значительные рудные площади. Заиливание же с целью предупреждения пожаров не проводили совсем.

Основным в направлении борьбы с пожарами от самовозгорания является не только тушение возникающих очагов пожаров, но и их предупреждение систематическим заиливанием обрушенных рудных масс, которое и получило название профилактического заиливания.

В связи с этим при выборе систем разработки и схем проведения подготовительных и нарезных выработок для отработки блоков пожароопасных месторождений должна предусматриваться увязка очистной выемки с профилактическим заиливанием [1, 2].

Таким образом, профилактическое заиливание становится одним из элементов системы разработки.

Сущность отработки рудных тел системами с обрушением и профилактическим заиливанием заключается в том, что заиловочные работы чередуются с очистной выемкой, то есть после отработки блока (секции) очистные работы останавливаются, отработанное пространство изолируют от действующих выработок и в него, после соответствующей подготовки, подают глинистую пульпу.

Отработанное пространство, подлежащее профилактическому заиливанию, изолируют от действующих выработок перемычками, установленными на ортах каждого подэтажа в породах лежачего и висячего бока (при двухсторонней полевой подготовке). Для возведения перемычек выбирают наиболее устойчивые участки на подэтажных ортах, но по возможности ближе к рудному телу. Толщину перемычек чаще всего принимают равной 1 м.

В перемычки должны быть вмонтированы патрубки для: нагнетания пульпы в заперемыченное пространство, осуществления контроля за полнотой заиливания и наблюдения за газо-температурным режимом в нем.

После профилактического заиливания составляют акт о проделанной работе, в котором указывают намеченные проектом и фактически выполненные объемы и сроки работ.

В зависимости от способа закачки пульпы различают несколько видов заиливания (рисунок):

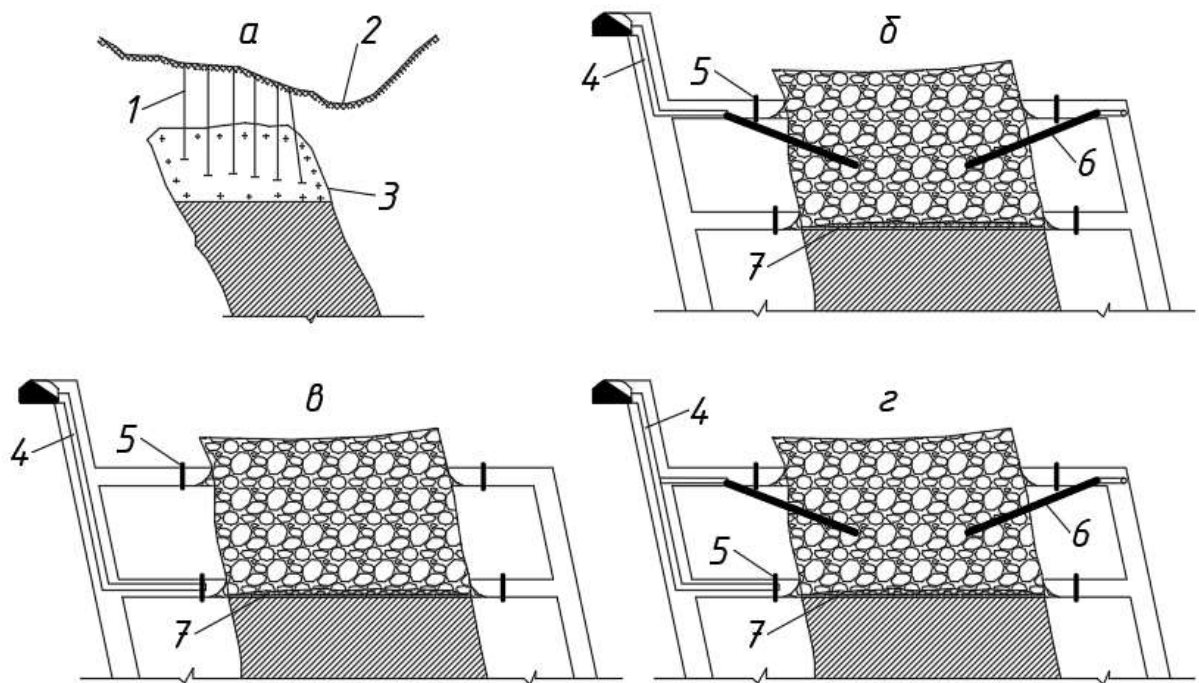
- 1) через скважины с поверхности;
- 2) из подземных выработок через скважины, пробуренные из подэтажных ортов;
- 3) из подземных выработок за перемычки на подэтажных ортах;
- 4) из подземных выработок через скважины, пробуренные из подэтажных ортов, и за перемычки, установленные в них.

Возможны и другие, не опубликованные в открытых источниках, способы профилактического заиливания.

Указанные способы заиливания (кроме первого) предполагают обязательную полевую подготовку. На выбор способа профилактического заиливания оказывает существенное влияние: глубина, на которой ведется очистная выемка, мощность рудного тела, схема подготовки рудного тела к выемке, а также степень пожароопасности.

При незначительной глубине отработки, когда буримые с поверхности скважины не больше 40-60 м, предпочитают проводить профилактическое заиливание через эти скважины (рисунок 1, а). При большей глубине лучше принимать какой-нибудь способ заиливания из подземных выработок. Ниже излагается сущность способов профилактического заиливания, которые определяют по глубине отработки, а количество скважин по заиливаемой площади. На основании большого количества данных практики профилактического заиливания с поверхности для заиливания горизонтальной площади 400 -- 600 м<sup>2</sup> необходимо бурить 3-4 скважины. При этом можно достигнуть весьма качественного заиливания всей площади отработанного участка рудного тела.

Недостатками указанного способа является то, что в процессе заиливания сильно обводняется не только заиливаемый, но и соседние работающие участки. При последующих профилактических заиливаниях нередко происходит вынос глины из ранее заиленного пространства.



**Рис. 1. Способы профилактического заиливания отработанных блоков**

*а* – заиливание через скважины с поверхности; *б* – заиливание через скважины, пробуренные из подэтажных ортов; *в* – заиливание путем нагнетания пульпы за перемычки в подэтажных ортах; *г* – заиливание через скважины и за перемычки в подэтажных выработках; 1 – заилопочные скважины; 2 – зона обрушения поверхности; 3 – отработанное заиливаемое пространство; 4 – пульпопроводы; 5 – перемычки; 6 – заилопочные подземные скважины; 7 – потери отбитой руды

Бурение и заиливание можно начинать только после окончания очистной выемки.

При заиливании из подземных выработок через скважины из подэтажных ортов (рисунок 1, б) отработанный подэтаж изолируют от других действующих выработок перемычками, установленными в подэтажных ортах. С орта подэтажа, ранее отработанного и заиленного, в заиливаемый подэтаж бурят скважины, через которые и закачивают глинистую пульпу.

При мощности рудного тела до 25-30 м заиливание обычно ведут со стороны лежачего бока, при мощности более 30 м – через скважины, пройденные со стороны лежачего и висячего боков.

Общее количество скважин зависит, в основном, от ширины заиливаемого участка. При ширине его до 10 м в горизонтальной плоскости обычно принимают одну скважину, при большей ширине – две или три.

При данном способе заиливания объем буровых работ значительно сокращается, а скважины по вмещающим породам могут быть пробурены до окончания очистной выемки в подэтаже. Совмещение бурения заилопочных скважин с очистной выемкой сокращает время остановки блока (секции) на заиливание. При закачке пульпы через указанные скважины можно достигнуть весьма хорошего качества заиливания.

К недостаткам второго способа заиливания относятся:

- высокая стоимость подземных заилопочных работ;
- необходимость прокладки подземного пульпопровода;
- отложение наиболее крупных фракций в верхней части подэтажа, а мелких в нижней (последние значительно медленнее отдают воду) вследствие чего время дренажа после заиливания увеличивается.

Заиливание из подземных выработок за перемычки, установленные на подэтажных ортах (рисунок 1, в), проводят следующим образом: пульпу нагнетают за перемычки с нижнего подэтажного орта, то есть заиливают снизу вверх.

В этом случае наиболее крупные фракции оседают, в нижней части заиливаемого пространства, более легкие поднимаются вверх. Такое распределение заиловочного материала способствует быстрому дренированию воды из заиливаемого пространства.

Существенным положительным фактором является то, что здесь исключается основная подготовительная операция – бурение заиловочных скважин, что позволяет начать закачку пульпы сразу же после окончания очистной выемки. К недостаткам же данного способа можно отнести затруднение в достижении равномерного заиливания всего пространства и ограничение высоты подъема заиловочного материала снизу вверх.

Заиливание из подземных выработок через скважины и за перемычки в подэтажных ортах (рисунок 1, 2) – четвертый способ, включает достоинства второго и третьего способов. Этот способ позволяет достигнуть высокого качества заиливания и устранить некоторые из указанных выше недостатков. Закачка пульпы, в первую очередь, осуществляется за перемычки с нижнего подэтажного орта и во вторую очередь по скважинам, пробуренным с вышележащего подэтажного орта.

Материал для пульпы при профилактическом заиливании следует брать с повышенным содержанием песка с целью быстрее его выпадения, учитывая, что растекание пульпы в заиливаемом пространстве должно быть незначительным.

Первый способ профилактического заиливания использовали на Дегтярском руднике при отработке участков выше горизонта 70 м. В последующие годы на руднике применяли, в основном, только третий способ, то есть нагнетание пульпы за перемычки, устанавливаемые в ортах подэтажей.

Четвертый способ – заиливание отработанного пространства подэтажа из подземных выработок через скважины, пробуренные из подэтажных ортов, и нагнетание за перемычки, установленные на подэтажных ортах, являлся основным при заиливании обрушенного пространства отработанных подэтажей на Красногвардейском руднике.

Все четыре способа заиливания с успехом можно применять при отработке рудных тел системами с обрушением руды и вмещающих пород. При этом четвертый (комбинированный) способ заиливания является наиболее надежным, позволяющим произвести полное заиливание обрушенного пространства.

Широко применяемые методы профилактического заиливания предусматривают прекращение очистных работ на период заиливания.

Время от окончания очистной выемки до ее возобновления, то есть время на изоляцию и собственно заиловочные работы, по данным практики, составляет 7-8% от общего времени отработки блоков.

Таким образом, можно считать, что при правильном чередовании очистной выемки с профилактическим заиливанием, до 8% всей отрабатываемой площади блоков постоянно будет находиться на заиливании. Время профилактического заиливания по операциям распределяется так: подготовка пульпы 25%, возведение перемычек и их укрепление 55-60%, закачка пульпы 15-20%.

При совмещении подготовки участков к изоляции от действующих выработок с очистными работами период для проведения профилактического заиливания может быть сокращен на 40-50%.

Для равномерного распределения заиловочных работ в течение года составляют график, в котором предусматривают, когда и на каком участке, в каком подэтаже провести очистную выемку, когда и на каком участке они должны быть прекращены и начато профилактическое заиливание. В графике также указывают объем заиловочного материала, необходимого для заиливания отработываемых подэтажей очистных блоков.

Заиливание может быть двух видов: безнапорным и под большим давлением. Широкое распространение получило безнапорное заиливание самотеком через скважины в результате отсутствия в стране широкодоступных надежных насосов высокого давления. Для заиливания скоплений рудной мелочи в выработанном пространстве безнапорный способ



давал удовлетворительные результаты. Следует отметить, что этот способ не требует насосов и стоит сравнительно недорого. Напорный способ заиливания применялся в исключительных случаях – для производства заиливания трещиноватых рудных массивов.

К настоящему времени можно заключить что, для заиливания применяется два типа заилопочных установок: 1) центральные заилопочные установки с подачей пульпы с земной поверхности и 2) подземные передвижные заилопочные установки (не связанные с земной поверхностью). Производительность первого типа установок достигает 50-100 м<sup>3</sup> и более пульпы в час или 1000-2000 м<sup>3</sup> в сутки. Производительность подземных передвижных установок в большей степени определяется оборудованием способным приготовить заилопочную смесь, а современные насосы типа *Putzmeister DSA 1400 HP* имеют возможность обеспечивать транспортировку шламopodobных составов с производительностью порядка 65 м<sup>3</sup> в час на расстояние до 600 м по вертикали.

Профилактическое заиливание выработанного пространства глинистой пульпой при применении систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород с правильным чередованием периодов очистных и заилопочных работ является основным средством, предупреждающим возникновение эндогенных пожаров на медно-колчеданных месторождениях от самовозгорания руд и пород.

Рекомендуемые к отработке системами с обрушением руды и вмещающих пород рудные тела, имеющие линзовидные формы, небольшие мощности, крутое падение, небольшую площадь в плане и залегающие на значительном расстоянии друг от друга, могут обрабатываться без профилактического заиливания, но с постоянным газо-температурным контролем с момента начала отработки рудного тела (выемочной единицы) и до окончания (не менее чем через полгода после завершения его отработки) [2]. Газо-температурный контроль включает в себя отбор и анализ газовых проб, замеры температуры воздуха в выработках выпуска руды и других выработках, пройденных в границах выемочной единицы, замеры температуры и кислотности дренируемой воды.

Отказ от профилактического заиливания допускается при условии нормального газо-температурного режима в обрабатываемых блоках. При определенных условиях возможно оставление противопожарных барьерных целиков по простиранию размером 15-20 м через 100 м.

Все конструируемые системы разработки, подразумевающие сосредоточение протяженных участков окисляющихся материалов (отбитой руды) должны учитывать необходимость проведения мероприятий по предотвращению доступа кислорода к окисляющемуся материалу, что может быть осуществлено либо проведением заилопочных работ, либо закладкой выработанного пространства малопрочными твердеющими смесями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Выбор и обоснование технологии отработки наклонных рудных тел мощностью 15- 20 м в условиях подземного рудника ПАО «Гайский ГОК» / Отчет о НИР ФГБОУ ВО «УГГУ».- Екатеринбург, 2023 –183 с.
2. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в горнорудных предприятиях Министерства цветной металлургии СССР – М: Минцветмет СССР, 1981.

## СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКОЙ

ВАЛИЕВ Н. Г.<sup>1</sup>, ПЕТРОВ В. П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

<sup>2</sup>Научно-исследовательский и проектный институт «Уралмеханобр», Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** Цель исследования сварки горных пород, как поиск альтернативного варианта способа крепления горной выработки, соответствующий горнотехническим и горно-геологическим условиям месторождения. Выполненным анализом минералогического состава горных пород установлена возможность проведения опыта сварки электропроводящих горных пород. Электродуговая сварка проводящих электричество пород образуется под воздействием электрической дуги, обеспечивающей формирование монолитного слоя вследствие свариваемой горной породы на установленную глубину по поверхности опытных образцов и по периметру горной выработки. Для дальнейшего изучения предлагаемого способа электродуговой сварки горных пород выработок, разработаны варианты направлений исследования свойств изменённых горных пород в ванне расплава.

Предлагаемый способ инновационной технологии формирования упрочнённого слоя крепления горной выработки позволит: повысить эффективность производства крепления горных выработок, за счет использования электропроводящих горных пород, представляющих законтурный массив выработок и исключить использование других доставляемых к месту крепления горной выработки материалов.

**Ключевые слова:** руда, горная порода, электропроводность горных пород, электродуговая сварка, крепление, горная выработка.

## METHOD OF FASTENING ORE MININGS BY ELECTRIC ARC WELDING

VALIEV N. G.<sup>1</sup>, PETROV V. P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>JSC Uralmekhanobr, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** The purpose of the study of rock welding is to search for an alternative method of fastening a mine working, corresponding to the mining technical and mining-geological conditions of the deposit. The analysis of the mineralogical composition of rocks established the possibility of conducting an experiment in welding electrically conductive rocks. Electric arc welding of electrically conductive rocks is formed under the influence of an electric arc, which ensures the formation of a monolithic layer due to the welded rock to a specified depth along the surface of the prototypes and along the perimeter of the mine opening. For further study of the proposed method of electric arc welding of mine workings, options have been developed for studying the properties of altered rocks in the molten pool.

The proposed method of innovative technology for the formation of a reinforced layer of fastening of mining workings allows: to increase the efficiency of the production of fastening of mining workings, using ore rocks representing a structured array of workings and eliminate the use of other materials delivered to the place of fastening the mining workings.

**Keywords:** ore, rock, electrical conductivity of rocks, electric arc welding, fastening, mining.

В горнодобывающей промышленности ведётся систематическая работа по совершенствованию конструкции крепей, технологии и механизации крепления с целью повышения надежности, безопасности и экономичности крепей снижение трудовых и материальных затрат.

Горные породы представляют собой связанный комплекс различных минералов, образующие самостоятельные геологические тела, слагающие земную кору. По степени связи минеральных зёрен и частиц все породы делят на твердые, связные и сыпучие.

Знание физико-механических свойств горных пород рудных месторождений позволяет заблаговременно составить представление о характере возможных деформаций и степени устойчивости обнажении массива, а также является основанием для разработки и внедрения наиболее эффективных методов крепления и поддержания горных выработок.

На протяжении многих лет проводились исследования и опробования различных способов воздействия на горные породы для получения альтернативных вариантов обработки природного материала.

В петругическом производстве на промышленных предприятиях, изготавливается и применяется камнелитые изделия, путём расплава горных пород (таких, как базальт и диабаз) и литья желобов, труб, плит и др. изделий.

Каменное литьё получают в электродуговых или газовых печах. Процесс плавки каменного литья аналогичен плавке металла, температура плавления варьируется в интервале от 800 до 18 000°C. Для получения плотной структуры, камнелитые изделия проходят отжиг при плавном снижении температуры от 800°C до 200°C. Поэтому производство каменного литья является более энергоёмким процессом чем, например, производство стали.

#### ***Цель исследования***

Проведение опытных испытаний сварки электропроводящих горных пород в лабораторных условиях, с целью установления технологических параметров устранения трещиноватости в горных выработках.

#### ***Электрические свойства горных пород***

Возможность направленного движения заряженных частиц под действием внешнего электрического поля обуславливает электропроводность веществ. Сопротивление возникающему электрическому току вызывается хаотическим перемещением заряженных частиц и зависит от строения электронной оболочки атомов, кристаллохимических структур минералов и ионизационных свойств водных растворов солей [1].

Параметры атомов химических элементов характеризуются величиной электрического заряда, но в свободном состоянии являются электрически нейтральными, поскольку суммарный отрицательный заряд электронов скомпенсирован равным по величине положительным зарядом протонов ядра. Электрический ток проходит под действием внешнего электрического поля или других факторов вследствие движения электронов внешней электронной оболочки, что обуславливает периодичность изменения величины сопротивления пород и характера проводимости.

Рудные минералы магнетит, пирит, халькопирит, галенит и др. обладают электронной проводимостью. Их удельное сопротивление  $10^{-6} - 10^{-2}$  Ом·м. Электронную проводимость имеет графит (за счет  $\pi$  – электронов внутренних орбит [1]) применяемый при расплаве электропроводимых горных пород. При расплаве горных пород устанавливается связь между сопротивлением и плотностью минералов. Минералы с наиболее высокой плотностью (самородные металлы, рудные минералы) характеризуются высокой проводимостью в связи с металлической, ионно-металлической и ковалентно-металлической формой кристаллической связи.

Удельное электрическое сопротивление твердой фазы (минерального скелета) превосходит сопротивление жидкой фазы расплава на 6–8 порядков. Поэтому влияние разных фаз, заполняющих поровое пространство пород, и структура последнего являются определяющими для удельного сопротивления расплава большинства горных пород.

Механизм электропроводности горных пород может быть ионный, электронный и смешанный в связи с различием их фазового состава и разной природой проводимости породообразующих и аксессуарных или рудных минералов.

Электропроводящие минералы влияют на удельное сопротивление расплавляемых пород только в случае, когда зерна их в горной породе контактируют друг с другом. Для изменения сопротивления горной породы на несколько порядков достаточно, чтобы объем включений составлял несколько процентов от объема горной породы.

Сульфидизация горной породы присуща многим рудным месторождениям и при соответствующей структуре вкрапленности понижает удельное сопротивление горной породы до сотен и единиц Ом·м.

#### ***Способ решения задачи***

Расплав горной породы, который образуется под воздействием электрической дуги, включает формирование однородной массы по контакту свариваемых образцов. Суть способа заключается в том, что, через образцы горной породы, обладающей свойствами электропроводности, пропускают постоянный электрический ток, таким образом, чтобы на границе массива породы образовалась электрическая дуга. Далее разогреваются кромки свариваемых образцов с образованием расплава горной породы путем воздействия указанной электрической дуги, осуществляя перемещение площади соприкосновения электрической дуги с массивом горной породы. В процессе естественного остывания ванны с расплавленным каменным материалом образуется монолитный слой измененной структуры горной породы.

Температурные области электрической дуги позволяют расплавлять рудные горные породы в интервале от 3 000 до 7 000 °С (рис. 1).

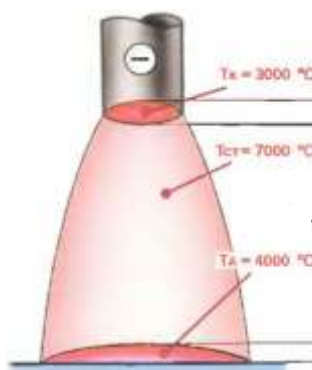


Рис. 1. Схема электрической дуги с областями температуры

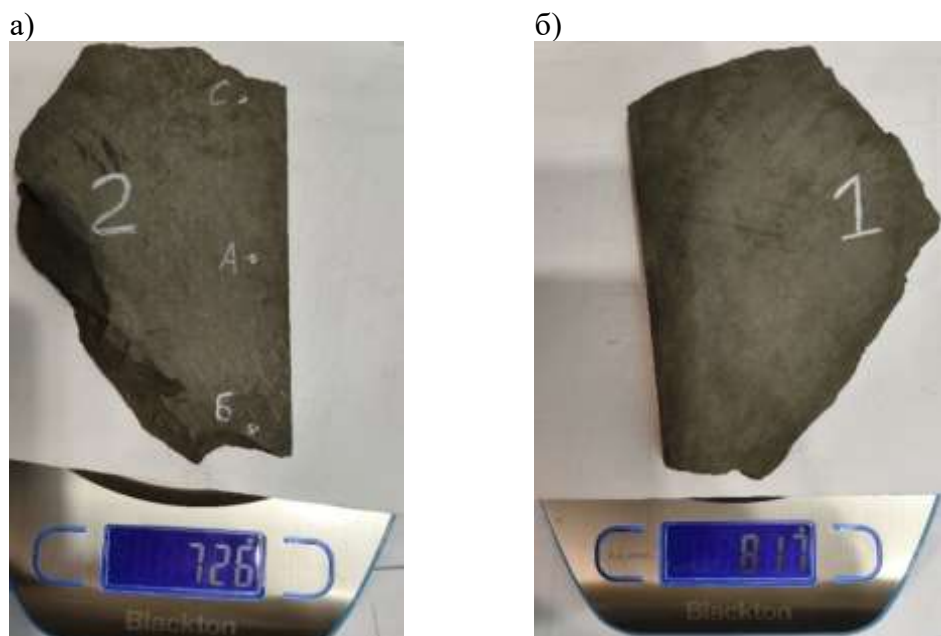
#### ***Опробование способа сваривания на рудных образцах горной породы***

Исследования сварки горных пород проводились на минерале халькопирит ( $\text{CuFeS}_2$ ) состоит из Cu — 34,57 %, Fe — 30,54 %, S — 34,9 %. Данные химических анализов обычно очень близки к этим цифрам. В качестве примесей в ничтожных количествах иногда присутствуют Ag, Au, Pt, Se, Te.

Халькопирит хороший проводник электричества. Его удельное сопротивление значительно снижается по мере повышения температуры. Температура плавления минерала 1000°.

Предлагаемый технологический способ проходит поэтапную опытную реализацию. Первоначально проводится опробование способа в лабораторных условиях на образцах халькопирита.

Предлагаемый способ электродуговой сварки горных пород, осуществлялся на образцах халькопирита, представляющих собой куски горной породы, предварительно напильные плоскими пластинами толщиной примерно 20 мм. Образец №1 размером 120 x 110 x 85 мм, весом 814 граммов (рис. 2, а). Образец №2 размером 110 x 110 x 85 мм, весом 726 граммов (рис. 2, б).



**Рис. 2** Образцы горной породы (халькопирит) а) образец №2 с весом 726 грамм; б) образец № 1 с весом 817 грамм

На металлическую пластину, к которой прикреплена клемма заземления кабеля от сварочного аппарата были помещены указанные куски руды халькопирита. Затем при помощи графитового электрода, закрепленного в электрододержателе, соединенного кабелем со сварочным аппаратом, через экспериментальный образец пропускается постоянный ток величиной  $20 \div 100$  А и таким образом на поверхности свариваемых образцов в месте контакта электрода образуется электрическая дуга. В процессе воздействия электрической дуги, поддерживаемой протеканием тока через образец, происходит разогрев пятна контакта и плавление образцов халькопирита с образованием ванны расплава (рис. 3).



**Рис. 3.** Сваривание образцов горной породы (халькопирит)

Осуществляя перемещение электрической дуги по поверхности свариваемых образцов, увеличивают площадь соприкосновения и формируют на контакте образцов слой расплава, представляющий ванну расплавленного массива горной породы. После формирования нужного объема расплавленного массива процесс сварки прекращают.

Образцу дают время для естественного остывания. На месте ванны расплавленного массива образуется изменённая поверхностная структура, представляющая упрочненный слой расплавленного халькопирита (рис. 4).

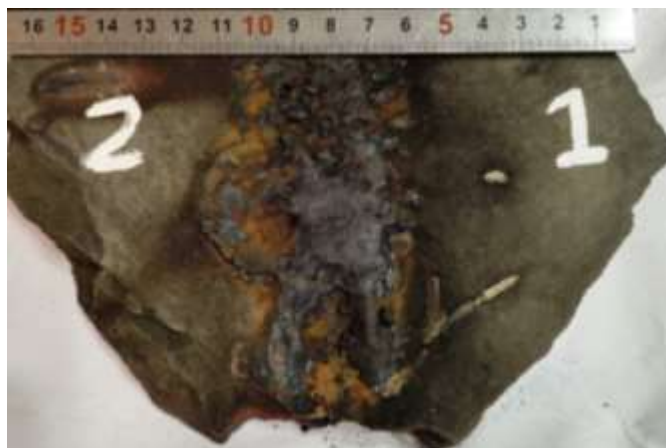


Рис. 4. Сварной шов, образованный на месте стыка образцов

Соответственно, представленное описание проведенного опыта на материальном образце подтверждает достоверность заявляемого способа сварки образцов электропроводящей горной породы с совокупностью указанных признаков.

Параметры проведения процесса и характеристика свариваемого шва определяются в дальнейших научных исследованиях.

#### ***Заключение***

Преобразование горной породы на границе свариваемых участков образцов происходит под действием электрической дуги, образующейся в районе воздействия электрода, в формирующейся ванне.

Исследования электросварки горных пород электродуговым способом, позволяют оценить применимость данного способа в качестве крепежного для свариваемых поверхностей в зоне трещин горных выработок, а также уточнить условия осуществления процесса плавления и остывания.

Предложенный способ инновационной технологии электродуговой сварки для крепления горной выработки рудных месторождений позволит: повысить эффективность производства крепления горных выработок, за счет использования материала, представляющего законтурный массив горной выработки.

Результатом исследования является сварной шов горной породы на поверхности образцов, который обеспечивает достаточную прочность на участках трещиноватых горных пород.

Минералы, представленные халькопиритом, образующие массивные формирования сульфидной руды обладают свойствами электропроводности [1]. Следовательно, сульфидные месторождения на которых в качестве главного рудного минерала присутствует халькопирит, являются объектами для осуществления опытного и производственного испытания и получения предлагаемого технического результата по свариванию отдельной или локальной трещиноватости горного массива рудного месторождения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика/Под ред. Н.Б. Дортман, - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1984, 455 с.

## О ХАРАКТЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ЦЕЛИКАХ УГЛЯ

ВАНДЫШЕВ А. М., ПОТАПОВ В. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты исследований, изменение температуры в выработанном пространстве при ведении очистных работ в лавах и целиках угля различной ширины. Для этого закладывались термодатчики в забоях очистных выработок и целиках угля. Установлено, что процесс изменения температуры длится в течении 3-4 мес. В дальнейшем происходит ее стабилизация. Наиболее пожароопасной является зона примыкающей к воздухопадающей выработки. Ширина этой зоны составляет 30-40 м. Исследования изменения температуры в целиках угля различной ширины показали, что наиболее пожароопасными являются шириной 4-6 м.

**Ключевые слова:** каменный уголь, окисление угля, противопожарная безопасность, очистной забой, пласт, термодатчики, самонагревание угля

## ON THE NATURE OF TEMPERATURE CHANGES IN THE WORKED-OUT SPACE AND COAL DEPOSITS

VANDYSHEV A. M., POTAPOV V. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article discusses the results of research, the change in temperature in the mined-out space during mining operations in longwall faces and pillars of coal of various widths. For this purpose, thermal sensors were installed in the working faces and coal pillars. It has been established that the process of temperature change lasts for 3-4 months. Subsequently, it stabilizes. The most fire-hazardous area is the area adjacent to the air-falling workings. The width of this zone is 30-40 m. Studies of temperature changes in coal pillars of various widths have shown that the most fire hazardous are those with a width of 4-6 m.

**Keywords:** hard coal, coal oxidation, fire safety, longwall face, seam, temperature sensors, self-heating of coal.

На шахте «Кок-Янгак» разрабатывающей пласты каменного угля, склонные к самовозгоранию, выемочные выработки, как правило, охраняются целиками угля. Около 30 % эндогенных пожаров от общего их числа произошло в целиках угля у выемочных выработок и 53% — в выработанном пространстве действующих и отработанных очистных выработок.

Наибольшей химической активностью обладает уголь пласта «Тюлекского». Константа скорости окисления угля при 25 °С составляет 0,0076 мл/г-час, а длительность инкубационного периода — 52 суток. При удельных утечках воздуха 0,06— 0,18 м<sup>3</sup>/мин-м<sup>2</sup> происходит интенсивное развитие процесса самонагревания угля [1].

Установлено [2], что с точки зрения проявления горного давления выемочные выработки целесообразнее располагать на границе с выработанным пространством ранее отработанных столбов. Однако на шахте «Кок-Янгак» переход на бесцеликовую технологию сдерживается недостаточной изученностью вопросов противопожарной безопасности, и в

частности, из-за отсутствия исследований изменения температуры в выработанном пространстве и целиках угля при ведении горных работ.

С целью установления влияния способа охраны подготовительных выработок на пожароопасность ведения горных работ в выработанном пространстве очистных забоев и угольных целиках различной ширины проведены исследования изменения температуры.

Исследования проводились по методике Карагандинского отделения ВостНИИ [3]. Закладку термодатчиков производили в наиболее пожароопасных местах: на сопряжениях лав с вентиляционными и конвейерными штреками, в целиках угля, оставленных в выработанном пространстве. Для установления характера изменения температуры по длине лавы на секциях крепи устанавливались кабельные катушки. Термодатчик при этом оставлялся в выработанном пространстве и по мере передвижки секций крепи кабель сматывался с катушки. Период наблюдений колебался от 60 до 150 суток. Исследования проведены на пяти участках. Наблюдениями охвачены случаи охраны выработок целиками угля и без целиков, а также целиками угля различной ширины.

Характерными результатами исследований являются закономерности, установленные при отработке лавы 514. Лавой 514 отработывался пласт «Тюлекский». Средняя скорость подвигания очистного забоя составляла 30 м/месяц. Лава 514 отработывалась в шахматном порядке с частичным проведением подготовительных выработок вприсечку к выработанному пространству смежных лав. Схема установки термодатчиков и результаты наблюдений приведены на рисунке.

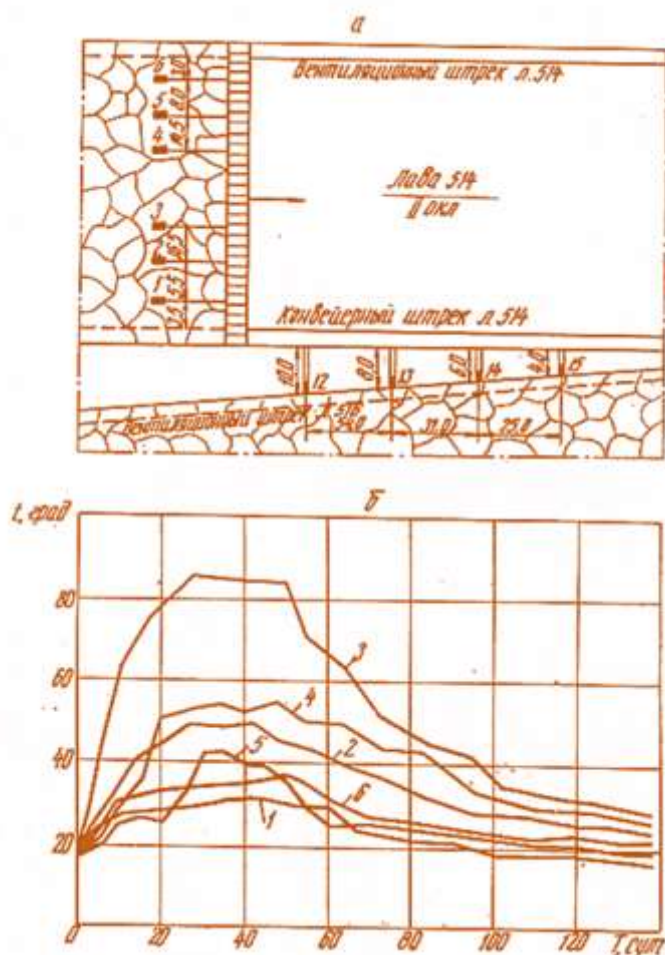


Рисунок 1. Схема установки термодатчиков в лаве 514 (а) и изменение температуры выработанного пространства лавы 514 (б)

Наблюдения показали, что повышение температуры зарегистрировали все термодатчики. Наибольший рост температуры наблюдался первые 20 - 30 суток после прохода лавы.



Более высокие температуры зарегистрированы в районе конвейерного штрека (термодатчики № 2, 3). Максимальная температура составляла соответственно 50 и 86 °С. Температура, близкая к максимальной, удерживалась в течение 25 - 30 суток, после чего начинался ее спад.

Меньшее изменение температуры зафиксировано в районе вентиляционного штрека (термодатчики № 4, 5). Максимум температуры составлял соответственно 55 и 43 °С. Однако характер изменения температуры был аналогичен вышеизложенному. Через 140 суток термодатчики №1,5 зафиксировали исходную температуру. На остальных наблюдаемых участках (термодатчики № 2, 3,4,6) температура составила соответственно 25,29,27 и 22°С.

Таблица. - Результаты исследования изменения температуры

| Место установки<br>термодатчиков            | Изменение температуры выработанного пространства<br>и целиков угля, град во времени, сутки |    |    |    |    |     |     |     |
|---|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|   | 0  | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
| <b>Лава 519</b>                             |  |    |    |    |    |     |     |     |
| По оси конвейерного штрека . . . . .        | 18   | 58 | 70 | 70 | 66 | 55  | 42  | 35  |
| 9 м от конвейерного штрека . . . . .        | 16   | 34 | 40 | 41 | 33 | 30  | 23  | 20  |
| По оси вентиляционного штрека . . . . .     | 20   | 22 | 31 | 30 | 25 | 22  | 21  | 18  |
| 10 м от вентиляционного штрека . . . . .    | 18   | 19 | 28 | 34 | 27 | 19  | 17  | 17  |
| <b>Лава 533</b>                             |  |    |    |    |    |     |     |     |
| 5 м от конвейерного штрека . . . . .        | 18   | 32 | 41 | 40 | 37 | 29  | 24  | 22  |
| 17 м от конвейерного штрека . . . . .       | 18   | 46 | 55 | 58 | 50 | 40  | 32  | 24  |
| 43 м от конвейерного штрека . . . . .       | 17   | 39 | 47 | 50 | 46 | 36  | 26  | 21  |
| 4 м от вентиляционного штрека . . . . .     | 17   | 30 | 33 | 33 | 30 | 24  | 21  | 19  |
| 17 м от вентиляционного штрека . . . . .    | 17   | 23 | 26 | 26 | 23 | 21  | 19  | 18  |
| <b>Лава 531</b>                             |  |    |    |    |    |     |     |     |
| По оси вентиляционного штрека . . . . .     | —  | —  | —  | —  | 59 | 69  | 55  | 43  |
| 16 м от конвейерного штрека . . . . .       | —  | —  | —  | —  | 51 | 49  | 31  | 19  |
| <b>Целик у конвейерного штрека лавы 514</b> |  |    |    |    |    |     |     |     |
| При ширине целика 10 м . . . . .            | —  | —  | 16 | 17 | 16 | 18  | 16  | 16  |
| При ширине целика 8 м . . . . .             | —  | —  | 19 | 25 | 25 | 29  | 27  | 28  |
| При ширине целика 6 м . . . . .             | —  | —  | 21 | 28 | 33 | 35  | 38  | 37  |
| При ширине целика 4 м . . . . .             | —  | —  | 25 | 36 | 39 | 41  | 40  | 40  |

Аналогичные результаты были получены и на других участках при мониторинге (см. таблицу)

Наблюдения за характером изменения температуры в целиках угля различных размеров проводились в угольном целике, оставленном между конвейерным штреком лавы 514 и вентиляционным штреком лавы 516,

В районе закладки термодатчиков ширина целика изменялась от 2 до 15 м. Лава в момент наблюдений была отработана.

Наблюдения показали, что процесс самонагрева угля наиболее интенсивно происходил на участках целика шириной 4-6 м. Повышение температуры происходило при этом в течение 60—80 суток, затем в течение 40-60 суток значительных изменений температуры не происходило, а после этого она медленно снижалась. При ширине целика более 10 м температура оставалась практически постоянной в течение всего периода наблюдений.

Полученные результаты наблюдений позволяют сделать следующие выводы:

1. Процесс самонагрева угля в выработанном пространстве лав не зависит от способа охраны подготовительных выработок и длится в течение 3-4 месяцев. В дальнейшем происходит спад температуры.

2. По фактору изменения температурного режима выработанного пространства проведение присечных выработок следует начинать не ранее, чем через 5-6 месяцев после обрушения пород.

3. Наиболее опасной, с точки зрения самовозгорания, является зона, примыкающая к воздухопадающей выработке. Размер этой зоны для условий шахты «Кок-Янгак» составляет 30-45 м.

Наиболее пожароопасными являются целики угля шириной 4-6 м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Игишев В. Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. - М.: Недра, 1987. 176 с
2. Линденау И. И., Маевская В. М., Крылов В. Д. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. - М.: Недра, 1977. 320 с.
3. Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности (утв. приказом Ростехнадзора РФ от 27.11.2020 г. № Пр-469). 59 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД СО СЛОЖНЫМ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИМ СОСТАВОМ В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

ГУСМАНОВ Ф. Ф., ПОТАПОВ В. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы о применении предлагаемой технологии при отработке полиметаллических руд со сложным составом. Также рассмотрены способы повышения качества разрабатываемых руд.

**Ключевые слова:** подземная разработка рудных месторождений, качество руды, полезное ископаемое, выемочный блок, система разработки, отдельная добыча.

## TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF POLYMETALLIC ORES WITH COMPLEX MINERALOGICAL COMPOSITION IN UNDERGROUND CONDITIONS

GUSMANOV F. F., POTAPOV V. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article discusses questions about the application of the proposed technology in the mining of polymetallic ores with a complex composition. Ways to improve the quality of mined ores are also considered.

**Keywords:** underground mining of ore deposits, ore quality, minerals, mining block, mining system, separate mining.

Подземная разработка рудных месторождений в последнее время характеризуется существенными изменениями: увеличивается глубина горных работ, снижается содержание полезных компонентов, вовлекаются в эксплуатацию более бедные месторождения. Все это приводит к ухудшению качественных характеристик добываемого сырья и снижению эффективности горнорудного производства.

В настоящее время при разработке полезных ископаемых основной задачей горнорудных предприятий является повышение эффективности добычи и переработки рудного сырья путем повышения его качества и ценности конечного реализуемого продукта.

Повышение эффективности горнорудного предприятия возможно не только за счет усовершенствования технологии разработки месторождений, комплексной механизации основных и вспомогательных процессов, повышения производительности труда, но и повышения качества рудной массы.

От качества исходной руды, поступающей на обогащение, зависят результаты переработки и эффективность горнорудного предприятия в целом. Известно, что в настоящее время в процессе обогащения полиметаллических руд безвозмездно теряются 20 - 25 % основных полезных компонентов и еще большее количество драгоценных и редких металлов.

Особенностью горного производства является то, что в процессе ведения горных работ природное качество полезного ископаемого не улучшается, а ухудшается. В эксплуатацию вовлекаются рудные тела сложной формы и минералогического состава. Многообразие природных типов руд отличается не только по количественному содержанию полезных

компонентов, но и по вещественному составу, которые требуют различной технологии обогащения. Значительные изменения по содержанию полезных компонентов колеблются от 20 до 30 % и нарушают нормальную работу обогатительных фабрик, ведут к значительному перерасходу материальных и трудовых ресурсов, к потерям металлов, остающихся в хвостах обогатительных фабрик.

Возможны следующие пути повышения эффективности горнорудных предприятий:

- выборочная выемка полезных компонентов по типам и сортам с последующей отработкой бедных и труднообогатимых руд;
- ориентация на нетрадиционные методы отработки типа выщелачивания.
- раздельная выемка и переработка руд по технологическим типам.

Эффективность работы горнорудных предприятий осуществляется путем повышения извлечения полезных ископаемых компонентов на стадии обогащения из руд более высокого качества, полученных при раздельной выемке.

Перед этим определяются закономерности распределения полезных компонентов в рудном теле, позволяющие выделить параметры выемочных блоков для различных типов руд;

оцениваются горно-геологические и технологические факторы их влияние на качественные характеристики выдаваемой руды;

обосновываются технологические параметры очистной выемки, обеспечивающие возможные пределы постоянства содержания полезных компонентов в различных типах руд;

Предложен вариант системы разработки, обеспечивающий раздельную отбойку, выпуск и доставку руды по технологическим типам;

определены области применения валовой и раздельной выемки в зависимости от соотношения технологических типов в объеме руды.

Все руды Орловского месторождения объединены в 4 природных типа, главными компонентами в них являются медь, свинец, цинк. Их характеристики и запасы приведены в табл. [1, 2].

**Таблица - Параметры природных типов руд**

| Наименование природного типа | Запасы руды, | Среднее содержание металлов, % |        |      |
|------------------------------|--------------|--------------------------------|--------|------|
|                              |              | медь                           | свинец | цинк |
| Барит-полиметаллические руды | 37,2         | 1,63                           | 2,25   | 3,67 |
| Медно-цинковые               | 10,0         | 3,66                           | 0,33   | 3,19 |
| Сложные медноколчеданные     | 12,2         | 3,68                           | 0,10   | 0,78 |
| Вкрапленные медноколчеданные | 40,6         | 4,57                           | 0,07   | 0,23 |

На основании комплекса геолого-технологических исследований химического состава руд, закономерностей распределения в них полезных компонентов, условий залегания и технологических свойств природных типов руд выделено два технологических типа: медноколчеданной и полиметаллической. Медноколчеданные и полиметаллические руды имеют четко выделенный контакт, что позволяет уверенно разделять их на первой стадии добычи.

Особую роль в формировании качества рудной массы играют не только технологические факторы очистной добычи, но и организация, и планирование горных работ, их значимость возрастает при раздельной добыче в сложных горно-геологических условиях при многообразии типов и сортов.

В совокупности на качество рудной массы влияют многие факторы: сложность залегания рудных тел и перемежаемость различных технологических типов, содержание полезных компонентов и массиве, извлечение балансовых запасов, разубоживание пустой породой и разубоживание одного типа руд другим.

В связи с этим установлено влияние природных факторов и качество горных работ на содержание полезных компонентов в рудной массе.

Разделение руды на технологические типы позволило значительно повысить качество рудной массы по сравнению с содержащим и общих объемах при валовой добыче: меди на 1 - 2,5 %; цинка 0,5 - 2; свинца на 0,2 - 0,5 %, в зависимости от соотношения объемов добычи по технологическим типам.

При переработке медноколчеданной руды исключается применение высокотоксичных и дорогостоящих цианидов, что позволит улучшить экологическую обстановку в районе.

По результатам технико-экономического сравнения установлено, что затраты при переходе на отдельную добычу возрастают очень незначительно (в пределах 0,5 % от общей себестоимости добычи и переработки).

Себестоимость процесса обогащения существенно снижается за счет сокращения расхода реагентов, электроэнергии и других материальных ресурсов [3,4].

Для горно-геологических условий Орловского месторождения предложен вариант слоевой системы разработки нисходящими слоями, обеспечивающий эффективную выемку руд по технологическим типам (на рис. 1).

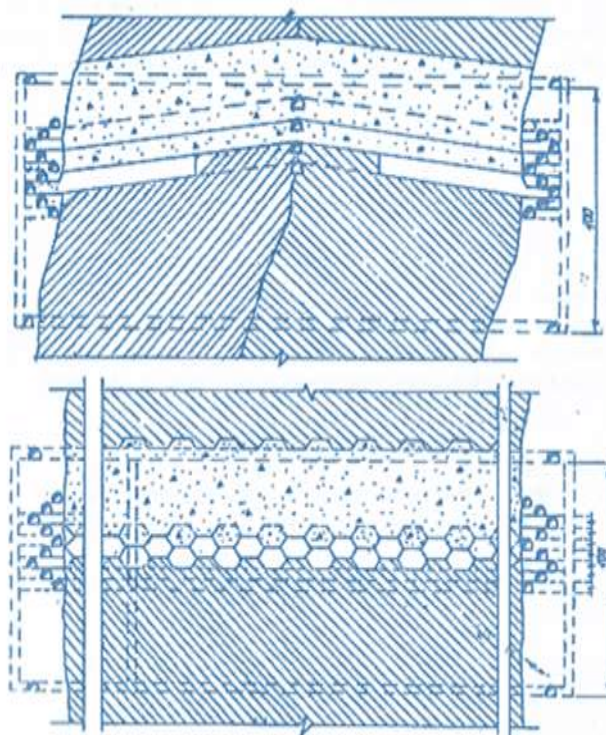


Рис. 1. Предлагаемая технология отдельной выемки

Особенности и преимущества предлагаемого варианта по сравнению с существующей слоевой системой заключается в следующем:

- конструктивные особенности варианта обеспечивают независимую добычу двух технологических типов руд;
- исключается разубоживание одного типа руд другим;
- упрощаются организационные мероприятия по отдельной добыче по типам руд.

По результатам теоретических и производственных исследований по отдельной выемке полиметаллических руд сложного минералогического состава, удельная прибыль возрастает более чем в два раза, что убедительно доказывает необходимость полного перехода к отдельной добыче по двум технологическим типам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обоснование эффективности селективной добычи многокомпонентных руд на глубоких горизонтах Орловского месторождения / Гобов Н.В., Гусманов Ф.Ф., Пятигорский Л.В., Райш А.Н.

- // Горное давление и технология подземной разработки руд на больших глубинах. М: ИПКОН, 1990. С. 143-146.
2. Перспективы раздельной добычи переработки руд Орловского месторождения / Гобов Н.В., Пятигорский Л.В., Гусманов Ф.Ф., Райш А.Н. // Известия вузов. Горный журнал. 1991. № 9. С. 38-42.
3. Каплунов Д. Р., Радченко Д. Н., Федотенко В. С., Лавенков В. С. Оценка эффективности перехода подземного рудника к новому технологическому укладу с ростом глубины горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 12. С. 5-15.
4. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Рожков А. А. Модернизация системы разработки маломощного месторождения богатых медноколчеданных руд // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 3(45). С. 444-453. - DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-3-444-453.

## ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВЫХ ГОРНЫХ МАССИВОВ СИНТЕТИЧЕСКИМИ СМОЛАМИ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

ДЕМИН В. Ф.<sup>1</sup>, ЗАХАРОВ А. М.<sup>1</sup>, ДЕМИНА Т. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НАО «Карагандинский технический университет им. А. С. Сагинова», Караганда

<sup>2</sup> Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность реализации технологических схем упрочнения и стабилизации неустойчивых горных массивов в условиях угольных шахт с рекомендациями по определению параметров крепления в зонах геологических нарушений при очистных работах.

**Ключевые слова:** горная выработка, почва выработки, горное давление, пучение пород, деформация, подземные горные работы, анкерная крепь, факторы, эффективность, исследования, горно-геологические и горнотехнические условия разработки, технологические схемы, проведение горных выработок, виды крепления.

## TECHNOLOGY OF HARDENING UNSTABLE ROCK FORMATIONS WITH SYNTHETIC RESINS IN COAL MINES

DEMINS V. F.<sup>1</sup>, ZACHAROVA A. M.<sup>1</sup>, DEMINA T. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NAO «A. S. Saginov Karaganda Technical University», Karaganda

<sup>2</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article examines the possibility of implementing technological schemes for strengthening and stabilizing unstable rock masses in coal mines with recommendations for determining fastening parameters in zones of geological disturbances during mining operations.

**Keywords:** mining, excavation soil, rock pressure, rock heaving, deformation, underground mining, rock bolting, factors, efficiency, research, mining-geological and mining-technical development conditions, technological schemes, mining, types of fastening.

Технологии упрочнения горных пород синтетическими смолами как направленного воздействия на горный массив, в результате которого улучшаются его прочностные характеристики широко применяются на горных предприятиях.

Наиболее распространённым способом укрепления горных пород обычно является закрепление массива анкерной крепью с сшиванием слоев горного массива между собой металлическими, железобетонными, сталеполимерными, полимербетонными и другими видами анкеров с дополнительной цементацией, глинизацией, битумизацией горных пород и др.

В последние годы особой популярностью пользуется наиболее перспективный и современный способ укрепления горных пород и повышения устойчивости массива трещиноватых горных пород смолоинъектированием [1 - 2].

Способ обеспечивает значительное повышение устойчивости таких горных пород, которые имеют собственную прочность хотя бы на молекулярном уровне - все крепкие трещиноватые, средней крепости и слабые, включающие пески, супеси и другие горные породы.

Таким образом, решение проблемы повышения устойчивости кровли в очистных забоях и примыкающим к ним выработкам является актуальным с применением технологии синтетических смол в угольных шахтах.

Ниже представлены средства и материалы для повышения прочностных свойств горного массива.

Нагнетательная трубка с функцией анкера – ИРМА, которая выполняет двойную функцию: с одной стороны, с помощью трубки ИРМА можно, как и с помощью обычных нагнетательных трубок, нагнетать смолы и цемент в породу. С другой стороны, ИРМА выполняет функцию анкера, т.е. остается после процесса нагнетания в скважине и скрепляет породу. Ее применение рекомендуется особенно в неустойчивых породных зонах, в которых наряду с стабилизацией путем нагнетания необходимо также дополнительное армирование и анкерование рыхлой горной породы [3]. Порода может укрепляться по всей длине скважины, так как благодаря удлиняющей трубке выход смолы может все более смещаться на дно скважины.

Для упрочнения кровли в очистных забоях с нагнетанием закрепляющих смесей в шпуров используются составы на основе полиуретанов.

Эти смолы обладают следующими основными характеристиками: время старта 2 – 30 с; коэффициент расширения 4 – 5,5; класс горючести «Г» (трудно горючий); температура среды применения 2 – 35° [4].

Закрепление горного массива осуществляется синтетическими смолами. На рис. 1 представлена технология применения полиуретановой смолы Беведол – Беведан в виде покрытия и закрепления массива.



а



б

Рис. 1. Полиуретановая смола Беведол – Беведан: а – виде покрытия; б – закрепления массива

Выбор основных параметров технологии укрепления нарушенного массива химическим анкерованием

Применительно к очистному забою упрочнению подлежат породы, которые теряют свою несущую способность до установки крепи.

Породы кровли очистных забоев объединяются по двум квалификационным признакам [5]: обрушаемость массива над очистной выработкой; устойчивость пород нижнего слоя над очистной выработкой.

Результаты упрочнения пород в значительной степени зависят от природных факторов и применяемых параметров нагнетания. В настоящее время нагнетание скрепляющих составов производится, в шпуров с инъекционными анкерами или через герметизатор. Бурят шпуров непосредственно в упрочняемом массиве или через угольный пласт.

К основным параметрам нагнетания скрепляющего состава относятся длина и угол



наклона шпура к плоскости напластования пород, расстояние между шпурами, глубина герметизация устья шпура, давление, количество и темп нагнетания, расход скрепляющего на один шпур.

Указанные параметры зависят от физико-механических свойств упрочняемых пород, их трещиноватости, мощности, карбонатности и обводнённости, а также от применяемых средств крепления пород кровли и скорости подвигания очистного забоя. Параметры нагнетания определяются расчётным путём, а затем уточняются по фактическим результатам. Длина шпура должна на 0,5 м превышать величину подвигания очистного забоя.

Длина анкера, особенно глубина заделки в массиве, определяют прочностные характеристики анкерной крепи, её сопротивляемость различным нагрузкам и деформациям. Углы установки анкеров и расположение устьев шпуров под них характеризует ориентацию вводимых в породный массив средств укрепления – табл. 1 [6].

**Табл. 1. Технологические параметры химического анкерования**

| Характеристика укреплённых пород  | Длина шпура, м | Длина анкера, м | Шаг установки, м | Примечание  |
|---|----------------|-----------------|------------------|---|
| Слабые породы кровли, сложенные аргиллитами и алевролитами  |                |                 |                  |   |
| Блочное обрушение на высоту до 2 м  | 2,8–3,3        | 3,0–3,5         | 0,7–1,0          | Инъекционные анкера устанавливаются в зоны ослабления |
| Блочное обрушение на высоту 2 м и более   | 2,8–3,3        | 3,0–3,5         | 0,7–1,0          | Закачка фенольных смол                                |
| Обрушение кровли мелкой кусковатостью (размер кусков породы не менее 100 мм) на высоту до 2 м и более | 2,8–3,3        | 3,0–3,5         | 0,3–0,4          | Закачка полиуретановых смол                           |
| Нарушенный угольный пласт   |                |                 |                  |   |
| Отжим угля на глубину до 2 м  | 2,5–2,8        | 2,8–3,0         | 0,8–1,0          | Анкеры устанавливаются в 2 ряда в шахматном порядке   |
| Отжим угля на глубину более 2 м   | 2,8–3,3        | 3,0–3,5         | 0,8–1,0          | Необходимо применять заливку смолы в шпуры            |

Для уменьшения вертикального расслоения пород кровли анкера устанавливают под углом 40 - 60°, чем обеспечивается подшивка упрочняемого массива с более устойчивыми вышележащими породами. Для предотвращения сдвижения пород в горизонтальном направлении анкера устанавливаются под углом 0 - 10°. Более двух рядов по плоскости обнажения устанавливать нет необходимости. Шаг установки анкеров в ряду определяется степенью нарушенности массива и прочностью вмещающих пород. Шаг установки анкеров изменяется от 0,4 до 1,5 м в зависимости от горно-геологических условий.

Рекомендации по применению технологий упрочнения пород кровли быстротвердеющими составами. Упрочнения пород кровли производится нагнетанием полиуретановых составов и химическим анкерованием. Производится выбор способа упрочнения пород кровли быстротвердеющими составами, при этом главным критерием, в соответствии с которым выбираются способ и параметры технологической схемы упрочнения пород кровли, является их средняя кусковатость при обрушениях.

К первой (I) группе относятся породы, у которых при обрушении преобладают куски с размерами менее 0,1 м, ко второй (II) – 0,1 - 0,3 м, к третьей (III) – 0,3 - 0,5 м и к четвертой (IV) – более 0,5 м. Условие, в которых применение каждого из способов упрочнения будет наиболее целесообразным, приведены в Табл. 2.

Кроме того, пласт, на котором производится упрочнение пород кровли быстродействующими составами, не должен быть подработан нижележащим на расстоянии менее 12 м.

**Табл. 2. Условия применения способов упрочнения пород кровли**

| Свойства укрепляемых пород                 | Целесообразные способы упрочнения  |                        |
|--|------------------------------------|------------------------|
|  | Нагнетание полиуретановых составов | Химическое анкерование |
| Мощность обрушающихся пород, $h_{обр}$ , м | Более 0,8                          | Более 0,4              |
| Группа пород по кусковатости               | I и II                             | II, III и IV           |

Нагнетание полиуретановых составов проводится через шпуров диаметром 42 - 45 мм и длиной 4,0 - 4,5 м с герметизацией их осуществляется на глубине 1,2 - 1,5 м при номинальном давлении нагнетания – 2 - 5 МПа с темпом нагнетания 7 - 9 л/мин.

Угол подъема шпуров для нагнетания, расстояние между ними и расход состава на один шпур выбираются в соответствии с данными Табл. 3.

Повторное выполнение работ по нагнетанию полиуретановых составов рекомендуется производить после подвигания лавы на 3,5 - 4,0 м, если при продвижении лавы на 2,0 - 2,5 м наблюдаются значительные обрушения пород, нагнетание следует повторить в шпуров в промежутках между первоначальными.

**Табл. 3. Параметры способа упрочнения пород кровли нагнетанием полиуретановых составов**

| Свойства управляемых пород                |                              | Угол подъема шпуров, град | Расстояние между шпурами, м | Расход состава на шпур, кг |
|---|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Мощность обрушающихся пород $h_{обр}$ , м | Группа пород по кусковатости |                           |                             |                            |
| Менее 1,5 м                               | I                            | 10-15                     | 2,5-3,0                     | 100-140                    |
|   | II                           | 10-15                     | 3,5-4,0                     | 160-180                    |
| Более 1,5 м                               | I                            | 15-20                     | 3,0-3,5                     | 160-200                    |
|   | II                           | 15-20                     | 4,0-5,0                     | 200-250                    |

Технология упрочнения пород кровли способом химического анкерования. Заключается в армировании массива пород стержнями (анкерами), закрепленными по всей длине шпура твердеющими химическими композициями, компоненты которых предварительно подаются в шпур в ампулах. После разрушения находящихся в шпуре ампул (путем вращения сверлом армирующего стержня), компоненты химической композиции смешиваются, заполняют пространство между поверхностью стержня и стенками шпура и вступают в реакцию полимеризации. В результате отвердения состава осуществляется не только армирование ослабленного породного массива жесткими стержнями, но и упрочнение его твердеющей химической композицией, проникающей в околоспуровые трещины.

Схемы химического анкерования неустойчивых пород кровли в очистных забоях в зависимости от места установки анкеров в породном массиве, а также от мощности обрушившихся пород и степени их нарушенности (группа по кусковатости) используются следующие модификации этих схем: однородная с механическими связями между стержнями по горизонтали; двухрядная с механическими связями между стержнями по вертикали; двухрядная с механическими связями между стержнями по вертикали и горизонтали; однородная без механических связей между стержнями (профилактическое анкерование).

Анкерование по одной из первых трех схем осуществляется сразу же после обрушения пород кровли в лаве. Эти схемы можно назвать схемами первичного анкерования.

Профилактическое анкерование производится после первичного анкерования и подвигания лавы на расстояние, равное глубине первичного анкерования, при условии прекращения обрушения пород кровли. Под глубиной анкерования пород кровли в лаве подразумевается расстояние (в направлении подвигания лавы), на которое распространяется упрочнение от одного цикла анкерования.

Армирующие стержни устанавливаются из стального проката стеклопластика и древесины. Для укрепления массивов пород кровли в лавах применяются стальные стержни.

Стержни из стеклопластика и древесины применяются для укрепления угольных забоев в лавах методом химического анкерования на пластах мощностью более 2,5 - 3,0 м.

Металлические армирующие стержни изготавливают из арматурной или гладкой стали диаметром 25 и 28 мм.

Шаг установки анкеров (расстояние между анкерами) в ряду устанавливается по данным табл. 4.

Табл. 4. Шаг установки анкеров в ряду

| Технологическая схема химического анкерования | Шаг установки анкеров в группах обрушающихся пород по кусковатости   |   |                                  |
|---|--|---|----------------------------------|
|   | II   | III   | IV                               |
| Однорядная и двухрядная                       | 0,5м   | 0,7м  | 0,9м                             |
| Однорядная профилактическое анкерование       | 0,7 м перед каждым из первых двух циклов по выемке угля (после удержания кровли анкерованием) и 0,9 м перед каждым из двух последующих циклов по выемке угля | 0,9 м перед каждым из первых двух циклов по выемке угля (после удержания кровли анкерованием) | Профилактическое не производится |

Приведенные в табл. 4 рекомендации распространяются на химическое анкерование пород кровли на сопряжениях лавы с подготовительными выработками.

Технологическая схема закачки закрепляющих смол в неустойчивый горный массив.

Ниже показана технология закачки закрепляющих смол в неустойчивый горный массив по длине нарушения в приконтурные породы при пересечении участков со слабыми разрушенными вмещающими породами – рис. 2.

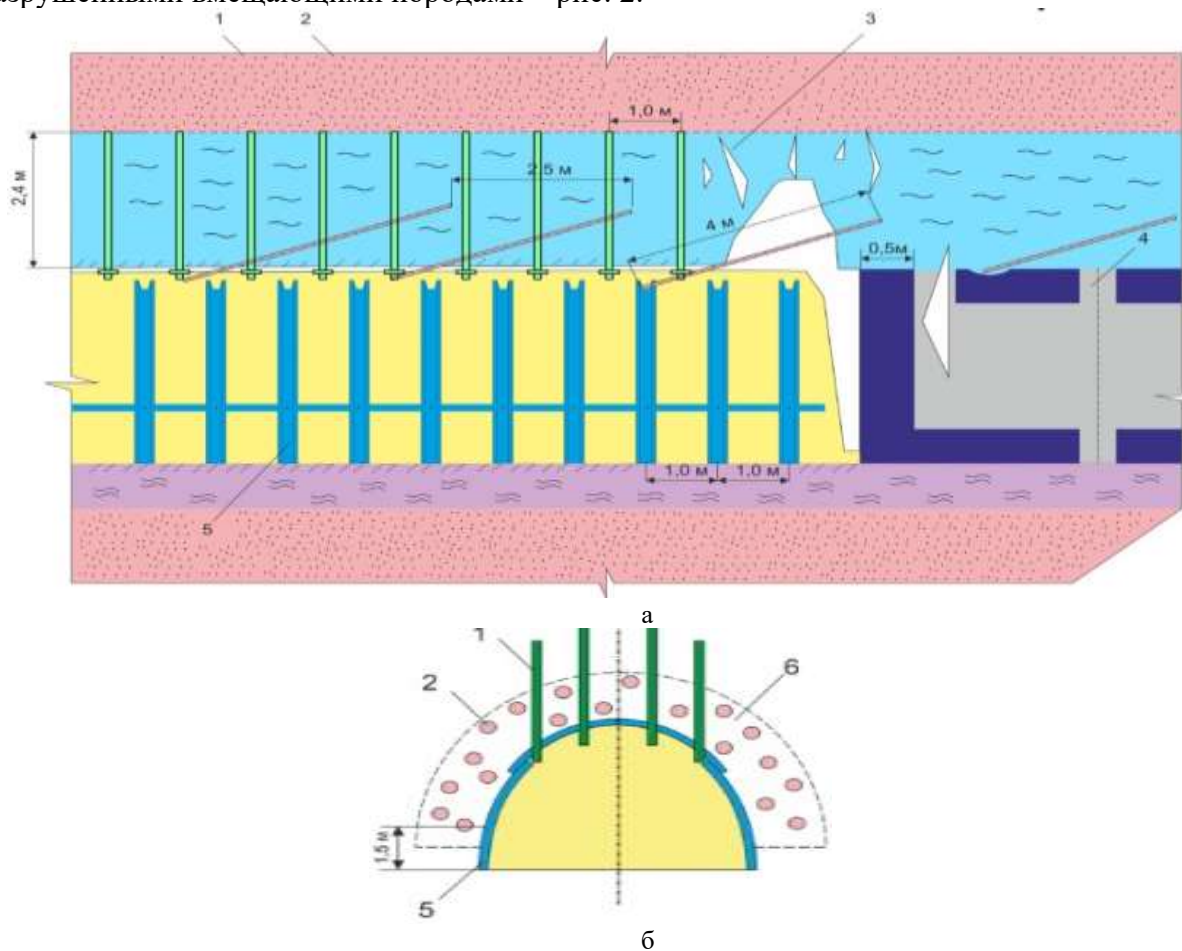


Рис. 2. Технологическая схема опережающим кровельным и боковым упрочнением в зоне геологического нарушения

а – профиль; б – сечение; 1 – кровельная анкерная крепь; 2 – опережающее кровельное и боковое опережение упрочнением удлиненными наклонным анкерированием с нахлестом; 3 – нарушенная зона; 4 – фронт выработки с превентивным креплением для обеспечения устойчивости выработки; 5 – металлическая податливая крепь; 6 – закрепленный контур горного массива

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Галаев Н. З. Управление состоянием массива горных пород: Учеб. М.: Недра, 1990. 177 с.
2. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА; Под ред. К.Н. Трубецкого. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. 478 с.
3. Бич Я. А., Емельянов Б. И., Муратов Н.А. Управление состоянием массива горных пород: Учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1988. 264 с.
4. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360 с.
5. Ржевский В. В, Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1984. 359 с.
6. Черняк И.Л., Ярунин С. А. Управление состоянием массива горных пород: Учеб. М.: Недра, 1995. 395 с.
7. Емельянов Б. И. Геомеханика: учеб. пособие / Б. И. Емельянов, Ю. Н. Нисковский, В.Н. Макишин. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. 90 с.

## ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕННОГО РАСХОДА ВОДЫ НА ПРОЧНОСТЬ ЗАКЛАДКИ

БЕЛОНОГОВА В. А.

Научно-исследовательский и проектный институт АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург

**Аннотация.** Одним из основных требований, которым должна удовлетворять твердеющая закладочная смесь, является обеспечение необходимой подвижности смеси.

Подвижность смеси определяет возможность безаварийного транспорта по трубам на значительное расстояние, гарантирует хорошую растекаемость твердеющей смеси в выработанном пространстве. Подвижность смеси зависит от фракционного состава заполнителя, а также от оптимального содержания воды в составе закладочной смеси.

В докладе приведены результаты зависимости влияния растекаемости на прочность закладочной смеси с использованием разных вяжущих и инертных материалов.

Проведённые лабораторные исследования показали, что повышение расхода воды однозначно приводит к увеличению расхода цемента. В среднем, каждые лишние добавленные 10 л/м<sup>3</sup> воды увеличивают расход цемента на 5,1 %.

Поэтому, чтобы достичь оптимального результата, необходимо тщательно контролировать воду в закладочной смеси и соблюдать технологию её приготовления.

**Ключевые слова:** закладка, растекаемость, прочность закладочной смеси, подвижность смеси.

## THE EFFECT OF INCREASED WATER CONSUMPTION ON THE STRENGTH OF THE FILL

BELONOGOVA V. A.

Research and Design Institute JSC «Uralmekhanobr», Yekaterinburg

**Abstract.** One of the main requirements that the hardening filling mixture must meet is to ensure the required mobility of the mixture.

The mobility of the mixture determines the possibility of accident-free transport through the pipes for a significant distance, guarantees good spreadability of the hardening mixture in the worked-out space. The mobility of the mixture depends on the fractional composition of the aggregate, as well as on the optimal water content in the filling mixture.

The report shows the results of the dependence of the effect of spreading on the strength of the filling mixture using different astringent and inert materials.

Laboratory studies have shown that an increase in water consumption definitely leads to an increase in cement consumption. On average, each excess added 10 l/m<sup>3</sup> of water increases the cement consumption by 5.1%.

Therefore, in order to achieve an optimal result, it is necessary to carefully monitor the water in the filling mixture and follow the technology of its preparation.

**Keywords:** backfill, spreadability, backfill strength, mobility of mixture.

Твердеющая закладочная смесь, независимо от состава, со временем имеет свойство потери подвижности. Подвижность смеси зависит от её связности и растекаемости. Растекаемость смеси определяют с помощью вискозиметра Суттарда по следующей методике.

На ровную поверхность устанавливается полый металлический цилиндр (внутренний диаметр 55 мм, высота 100 мм), в который вровень с краями помещается закладочная смесь (Рис. 1). Затем цилиндр снимается в вертикальном направлении, смесь растекается по поверхности в виде круга. Производится измерение его диаметра (Рис. 2).

Закладочные смеси, транспортируемые по трубам, должны перемещаться без закупорок трубопроводов, не теряя при этом связности, однородности. Оптимальным значением растекаемости, позволяющим транспортировать закладочную смесь, является значение от 24 до 27 см. Для условий некоторых рудников такой растекаемости недостаточно в связи с большой дальностью доставки закладочной смеси. На некоторых рудниках, наоборот, возможно снижение растекаемости без риска закупорки трубопровода.

В связи с тем, что со временем смесь теряет свою подвижность при транспортировке на большие расстояния, были проведены исследования для принятия решения о способе транспортирования закладочных смесей. Сравнивая стоимость увеличения расхода цемента при добавлении воды со стоимостью использования сжатого воздуха в составе без увеличения количества воды. Полученные значения могут помочь определить оптимальный способ транспортировки.

Важно тщательно контролировать расход воды, так как избыточное количество воды может понизить прочность закладки, а превышение расхода цемента в смеси может привести к увеличению затрат на производстве. Поэтому необходимо строго контролировать количество добавленной воды в процессе производства закладочных работ.

Ниже рассмотрены лабораторные исследования закладочных смесей для рудников, где были проведены испытания закладки с изменением растекаемости. Для имеющихся исследований проведён анализ того, на сколько изменятся результаты прочности образцов кубиков при различном добавлении воды в состав.

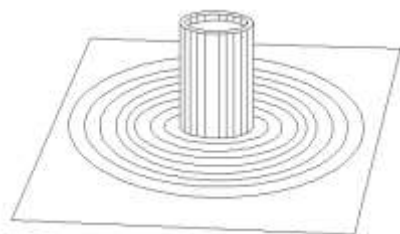


Рис. 1. Вискозиметр Суттарда

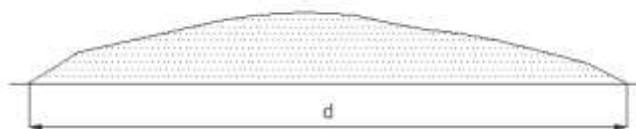


Рис. 2. Растекаемость закладочных смесей

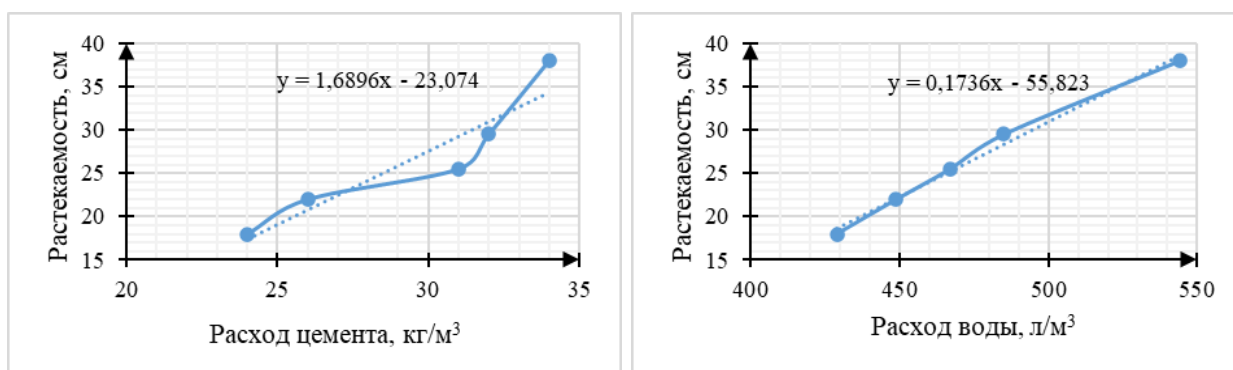
Были исследованы лабораторные испытания пяти разных серий с использованием материалов с различными свойствами: цемент, хвосты обогащения, ангидрит, песчано-гравийная смесь (ПГС), скальная порода, гранулированный шлак.

Анализируемые составы различных предприятий представлены в таблице 1. Нормативный срок твердения закладки 90 суток.

**Табл. 1. Составы твердеющей закладочной смеси**

| Шифр состава  | Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup> |          |             |      | Растекаемость, см | Прочность образцов, МПа, в возрасте 90 суток |
|---|---------------------------------------|----------|-------------|------|-------------------|--|
|   | Цемент                                | Граншлак | Заполнитель | Вода |                   |  |
| Рудник 1  |                                       |          |             |      |                   |  |
| Цемент + Никелевый гранулированный шлак + Ангидрит + Вода |                                       |          |             |      |                   |  |
| A1  | 60                                    | 1077     | 718         | 429  | 18                | 7,57   |
| A2  | 60                                    | 1037     | 692         | 449  | 22                | 6,95   |
| A3  | 60                                    | 1008     | 667         | 467  | 25,5              | 5,85   |
| A4  | 60                                    | 967      | 644         | 485  | 29,5              | 5,72   |
| A5  | 60                                    | 851      | 567         | 544  | 38                | 5,39   |
| Рудник 2  |                                       |          |             |      |                   |  |
| Цемент + Гранулированный шлак + Скальная порода + Вода    |                                       |          |             |      |                   |  |
| A6  | 80                                    | 150      | 1185        | 496  | 30,5              | 4,15   |
| A7  | 80                                    | 150      | 1189        | 521  | 34,5              | 3,53   |
| A8  | 120                                   | 150      | 1134        | 501  | 31,5              | 5,11   |
| A9  | 120                                   | 150      | 1189        | 508  | 34                | 4,95   |
| Рудник 3  |                                       |          |             |      |                   |  |
| Цемент + Гранулированный шлак + ПГС + Вода                |                                       |          |             |      |                   |  |
| A10   | 180                                   | 250      | 1007        | 471  | 24,8              | 3,74   |
| A11   | 180                                   | 250      | 945         | 501  | 26                | 3,62   |
| A12   | 180                                   | 250      | 912         | 513  | 30                | 3,48   |
| Рудник 4  |                                       |          |             |      |                   |  |
| Цемент + Хвосты (т. п. 65,0 %) + Вода                     |                                       |          |             |      |                   |  |
| A13   | 200                                   | -        | 1535        | 457  | 13                | 3,76   |
| A14   | 200                                   | -        | 1384        | 504  | 21,5              | 3,39   |
| A15   | 200                                   | -        | 1340        | 518  | 24,5              | 2,47   |
| Рудник 5  |                                       |          |             |      |                   |  |
| Цемент + Хвосты (т. п. 75,5 %) + Вода                     |                                       |          |             |      |                   |  |
| A16   | 200                                   | -        | 1047        | 564  | 28                | 1,71   |
| A17   | 200                                   | -        | 971         | 598  | 36                | 1,44   |
| A18   | 250                                   | -        | 1029        | 554  | 25                | 2,90   |
| A19   | 250                                   | -        | 930         | 596  | 35                | 2,43   |
| A20   | 300                                   | -        | 982         | 561  | 24,7              | 3,90   |
| A21   | 300                                   | -        | 867         | 602  | 36,5              | 3,04   |

По результатам испытаний построены графики зависимости растекаемости от расхода цемента и от количества воды (Рис. 3-7). Так же построены графики изменения прочности закладки в зависимости от расхода воды, представленные на рис. 8-12.



**Рис. 3. График зависимости растекаемости от расхода цемента и воды в составе закладочной смеси (цемент + никелевый гранулированный шлак + ангидрит + вода)**

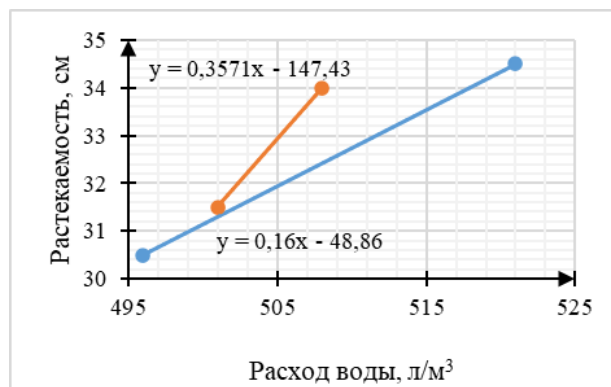
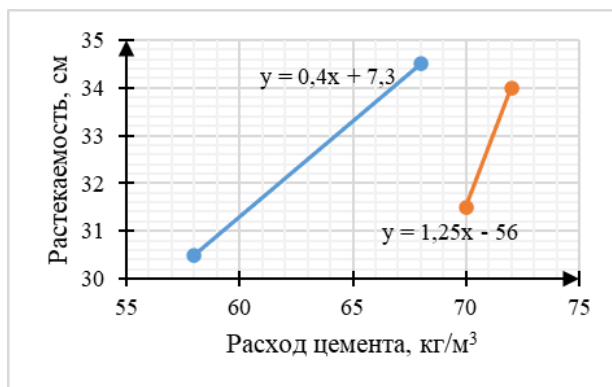


Рис. 4. График зависимости растекаемости от расхода цемента и воды в составе закладочной смеси (цемент + гранулированный шлак + скальная порода + вода)

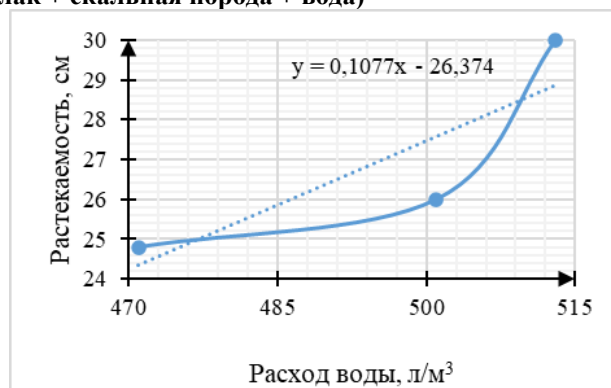
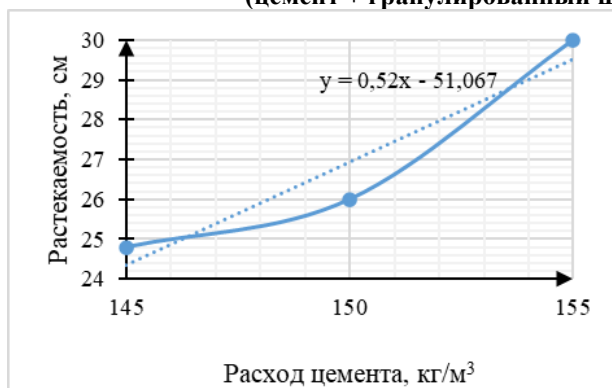


Рис. 5. График зависимости растекаемости от расхода цемента и воды в составе закладочной смеси (цемент + гранулированный шлак + ПГС + вода)

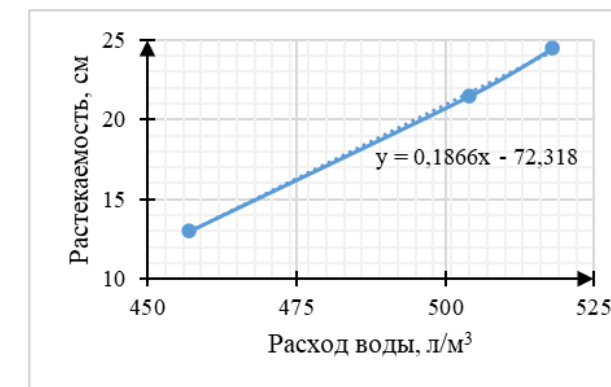
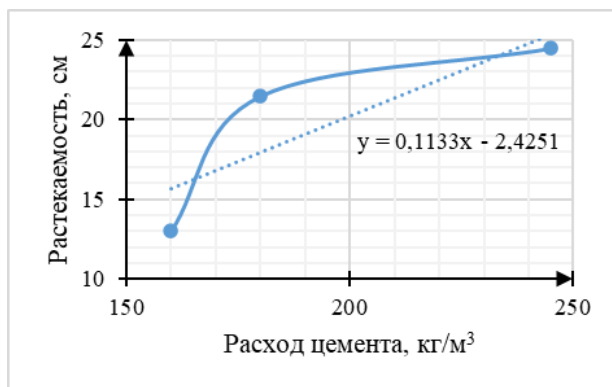


Рис. 6. График зависимости растекаемости от расхода цемента и воды в составе закладочной смеси (цемент + хвосты (т.п. 65 %) + вода)

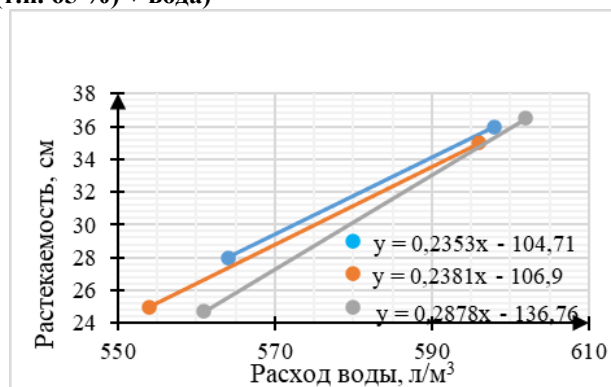
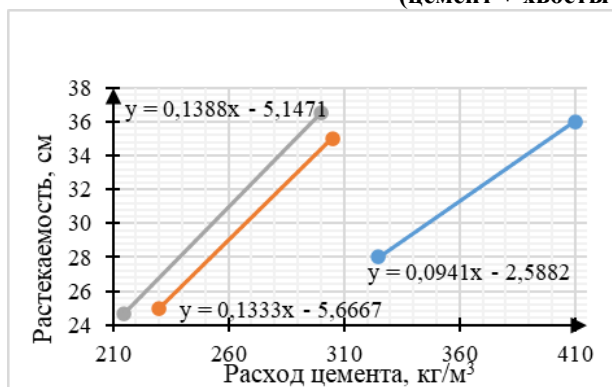


Рис. 7. График зависимости растекаемости от расхода цемента и воды в составе закладочной смеси (цемент + хвосты (т. п. 75,5 %) + вода)



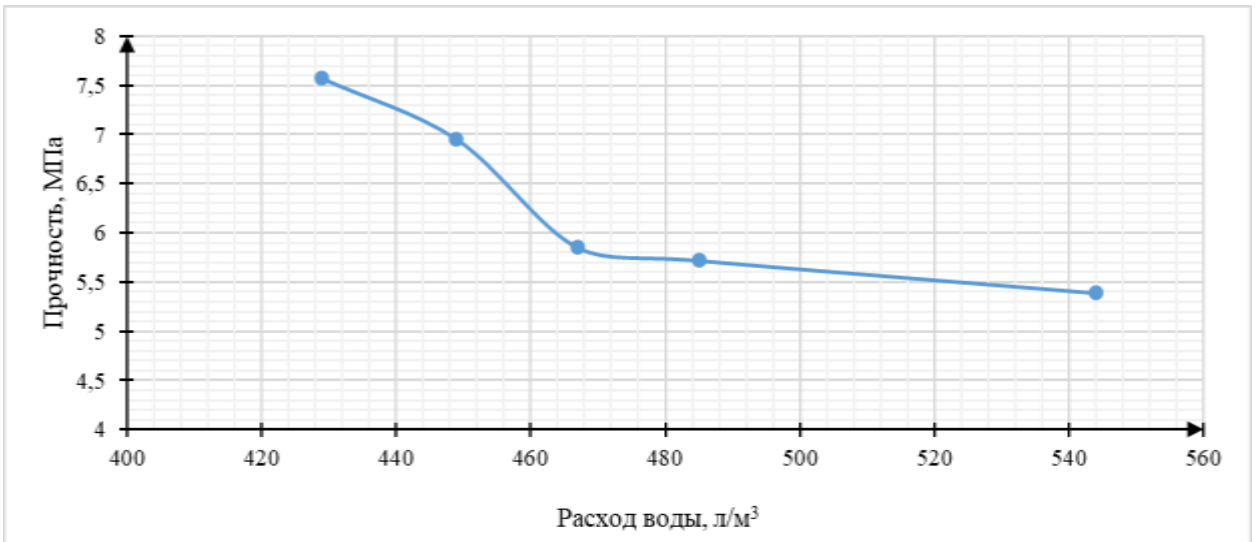


Рис. 8. Изменение прочности в составе закладочной смеси (цемент (60 кг/м³) + никелевый гранулированный шлак + ангидрит + вода) в зависимости от расхода воды

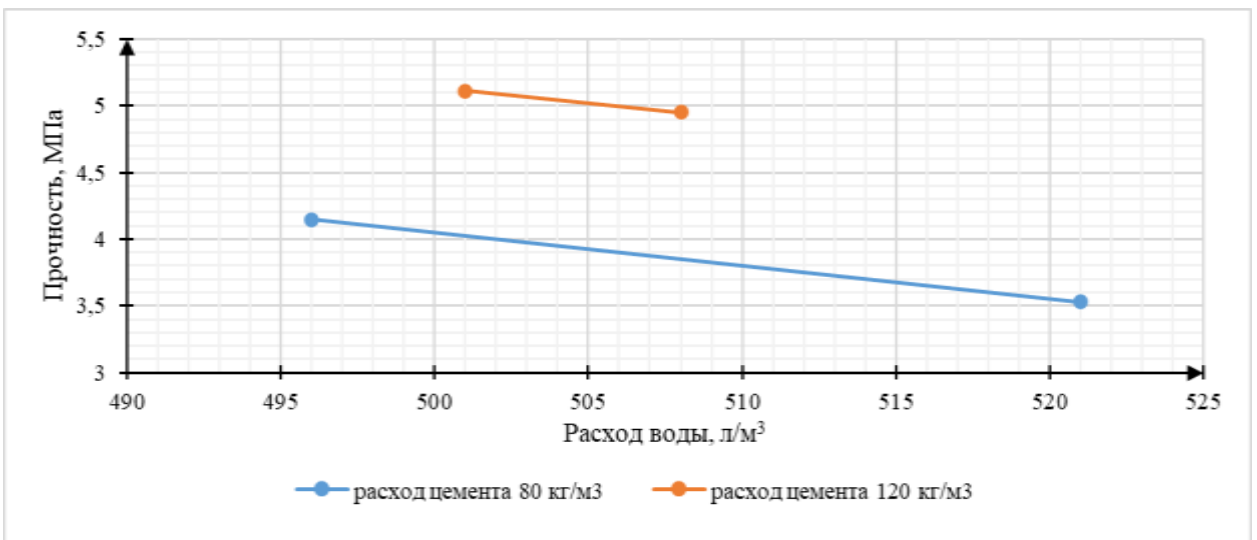


Рис. 9. Изменение прочности в составе закладочной смеси (цемент + гранулированный шлак + скальная порода + вода) в зависимости от расхода воды

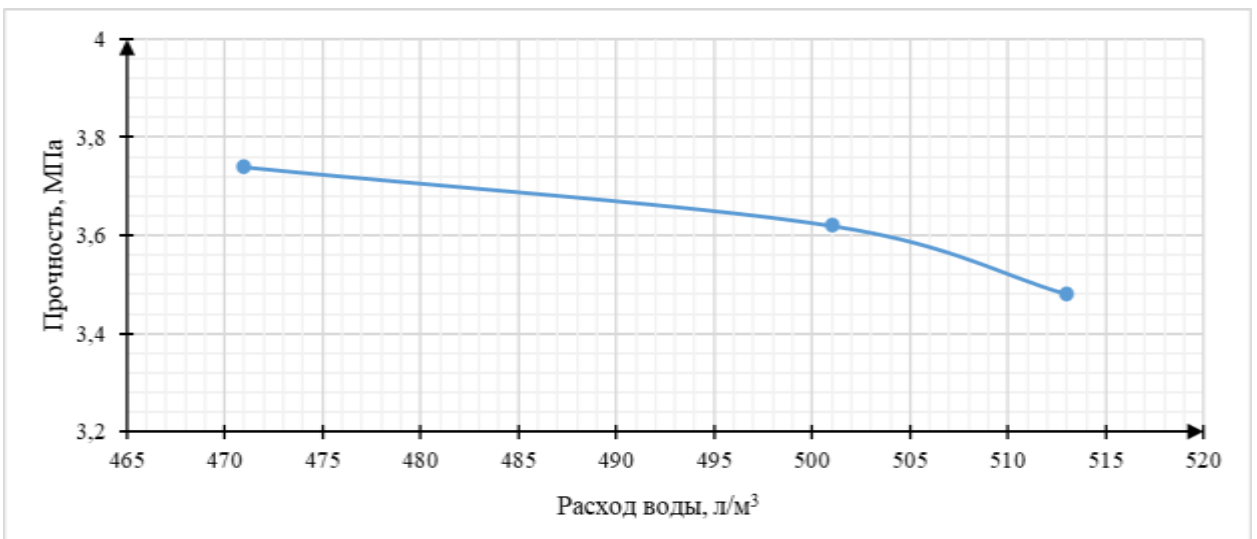


Рис. 10. Изменение прочности в составе закладочной (цемент (180 кг/м³) + гранулированный шлак + ПГС + вода) в зависимости от расхода воды

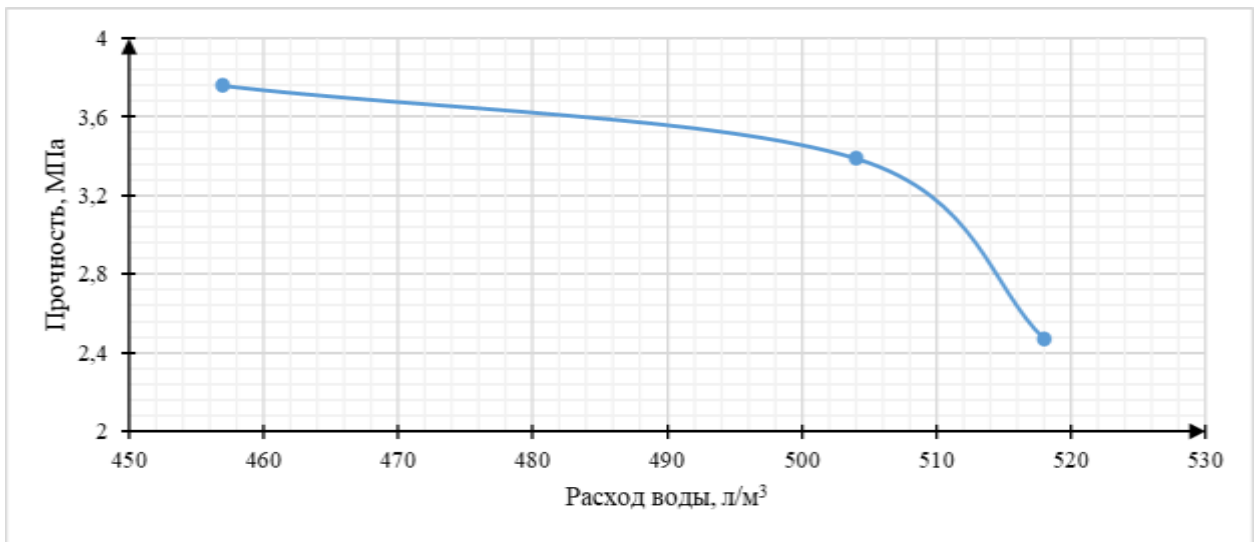


Рис. 11. Изменение прочности в составе закладочной (цемент (200 кг/м³) + хвосты (т.п. 65 %) + вода) в зависимости от расхода воды

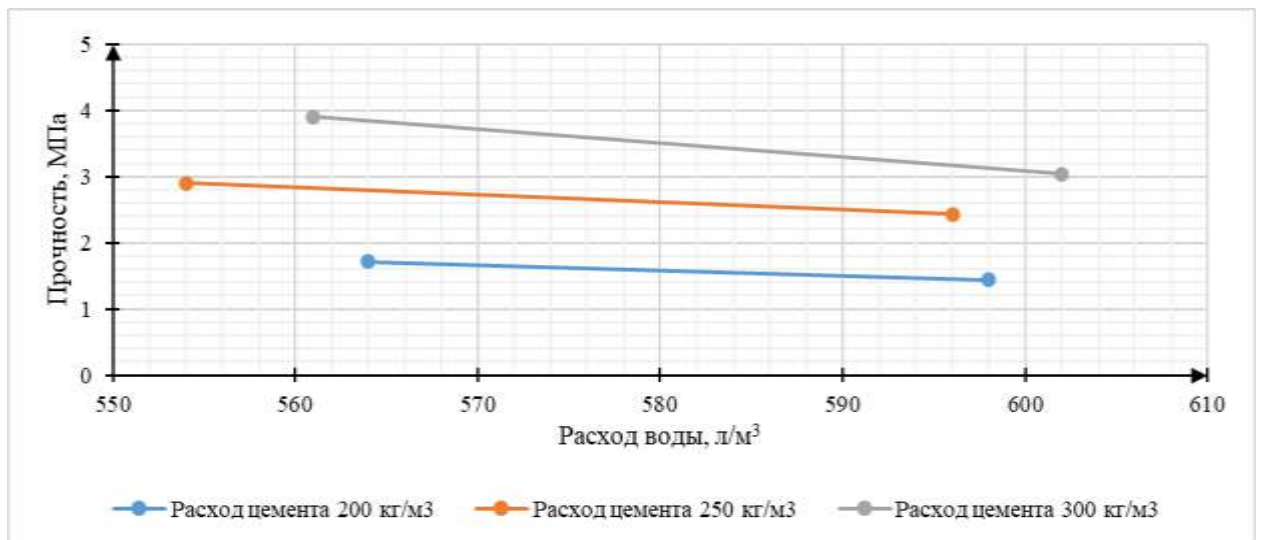


Рис. 12. Изменение прочности в составе закладочной (цемент + хвосты (т.п. 75,5 %) + вода) в зависимости от расхода воды

Анализируя зависимость растекаемости составов закладных смесей с разным содержанием воды наблюдаем, что при увеличении количества воды заметно снижается прочность.

Для каждой серии было определено среднее изменение расхода цемента и воды при изменении растекаемости на 1 см. Результирующие значения влияния растекаемости на расход цемента привяжем к значению расхода воды в количестве 10 л/м³. В таблице 2 представлены результирующие значения проведенного анализа.

Табл. 2. Результирующие значения проведенного анализа

| Серия испытаний | Расход цемента в составе, кг/м³ | Расход цемента на 1 см растекаемости, кг/м³ | Расход воды на 1 см растекаемости, л/м³ | Расход цемента на 10 л/м³ воды, % |
|-----------------|---------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| Рудник 1        | 60                              | 0,6 (1,0 %)                                 | 5,8                                     | 3,5                               |
| Рудник 2        | 80                              | 2,5 (3,1 %)                                 | 6,3                                     | Ср. знач.<br>5,2                  |
|                 | 120                             | 0,8 (0,7 %)                                 | 2,8                                     |                                   |
| Рудник 3        | 180                             | 1,9 (1,1 %)                                 | 9,3                                     | 1,4                               |
| Рудник 4        | 200                             | 8,8 (4,4 %)                                 | 5,4                                     | 8,4                               |
| Рудник 5        | 200                             | 10,6 (5,3 %)                                | 4,2                                     | 6,9                               |
|                 | 250                             | 7,2 (2,9 %)                                 | 4,2                                     | 6,4                               |
|                 | 300                             | 7,5 (2,5 %)                                 | 3,5                                     | 8,3                               |
|                 |                                 |   |   | Ср. знач.<br>7,2                  |

По полученным данным при добавлении 10 л/м<sup>3</sup> воды в составы с использованием разных материалов расход цемента увеличивается от 1,4 % до 8,4 %, в среднем расход цемента увеличивается на 5,1%.

Следовательно, чтобы на производстве закладочных работ избежать увеличения затрат, следует придерживаться оптимального соотношения компонентов смеси и тщательно контролировать воду для достижения максимальной возможной прочности при минимальном расходе материалов.

Полученные значения можно применять при принятии решения о способе транспортирования закладочных смесей, сравнивая стоимость увеличения расхода цемента при добавлении воды со стоимостью использования сжатого воздуха, необходимого при использовании состава без увеличенного количества воды.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЫЕМКИ ТОНКИХ РУДНЫХ ТЕЛ С ЦЕННЫМ МИНЕРАЛЬНЫМ СЫРЬЕМ

ЧЕБАН А. Ю.

Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск

**Аннотация.** На многих месторождениях значительные запасы ценного минерального сырья сосредоточены в тонких рудных телах, разработка которых с применением традиционных технологий нецелесообразна в связи с высоким разубоживанием руд вмещающими породами. В статье предлагается технология, включающая механическую выемку обогащенных полезным компонентом участков рудных жил посредством горного комбайна с комбинированным рабочим оборудованием и взрывное рыхление вмещающих горных пород. Горный комбайн оснащен режущими дисками, формирующими щели для оконтуривания маломощного богатого рудного включения, а также скалывающим диском для отделения оконтуренного включения. Конструкция горного комбайна обеспечивает совмещение процессов работы комбинированного рабочего оборудования, отделенная от массива богатая рудная масса накапливается в бункере комбайна. Реализация технологии позволит сохранить природное качество извлекаемого из недр минерального сырья и сократить себестоимость его последующей переработки.

**Ключевые слова:** благородные металлы, богатые рудные включения, механическая выемка, режущие диски, скалывание, взрывное рыхление, производительность.

## IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR COMBINED EXCAVATION OF THIN ORE BODIES WITH VALUABLE MINERAL RAW MATERIALS

CHEBAN A. YU.

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Khabarovsk

**Abstract.** In many deposits, significant reserves of valuable mineral raw materials are concentrated in thin ore bodies, the development of which using traditional technologies is impractical due to the high dilution of ores by the host rocks. The article proposes a technology that includes mechanical excavation of ore vein sections enriched with a useful component using a mining machine with combined working equipment and explosive loosening of the host rocks. The miner is equipped with cutting discs that form slits to delineate thin, rich ore inclusions, as well as a shearing disc to separate the contoured inclusion. The design of the mining machine ensures the combination of operating processes of combined working equipment; the rich ore mass separated from the massif is accumulated in the combine's bunker. The implementation of the technology will preserve the natural quality of mineral raw materials extracted from the subsoil and reduce the cost of its subsequent processing.

**Keywords:** noble metals, rich ore inclusions, mechanical excavation, cutting discs, chipping, explosive loosening, productivity.

Анализ минерально-сырьевой базы месторождений благородных и цветных металлов показывает, что значительные запасы сырья сосредоточены в тонких и

маломощных рудных телах. На некоторых золоторудных месторождениях существенная доля запасов содержится в жилах малой мощности, так на месторождении Качкарь около 60 % запасов находится в жилах мощностью 0,4-0,6 м, а на месторождениях Дарасунского рудного поля до 85 % запасов сосредоточены в жилах мощностью 0,15-0,4 м [1]. Постепенное истощение минерально-сырьевой базы месторождений вынуждает недропользователей переходить на отработку маломощных рудных тел, в некоторых случаях при добыче ценного минерального сырья промышленный интерес могут представлять жилы мощностью менее 0,1-0,2 м [2]. Оработка подобных запасов с применением традиционных технологий ведет к значительному разубоживанию руды, так на Дарасунском месторождении при валовой выемке сульфидных жил и минерализованных вмещающих пород системой с магазинированием руды по большинству рудных тел месторождения в товарной руде содержится 4-10 % жильной массы, которая несет в себе до 95 % золота [2]. Поскольку минимальная ширина очистного пространства при подземной отработке жил находится в пределах 0,8...1,1 м неизбежно значительное разубоживание богатой руды минерализованными вмещающими и пустыми породами. Примешивание в процессе добычи к кондиционной руде минерализованных вмещающих пород ведет к увеличению объемов перерабатываемой рудной массы, повышению потерь металла в хвосты при обогащении, росту количества отходов горно-обогажительного производства [3-4]. Таким образом, рентабельное освоение подобных запасов во многом зависит от возможности высокоселективной выемки богатой рудной массы с внедрением в горное производство усовершенствованных технико-технологических решений, обеспечивающих повышение ресурсосбережения и энергетической эффективности, а также уменьшение количества получаемых отходов [5-8].

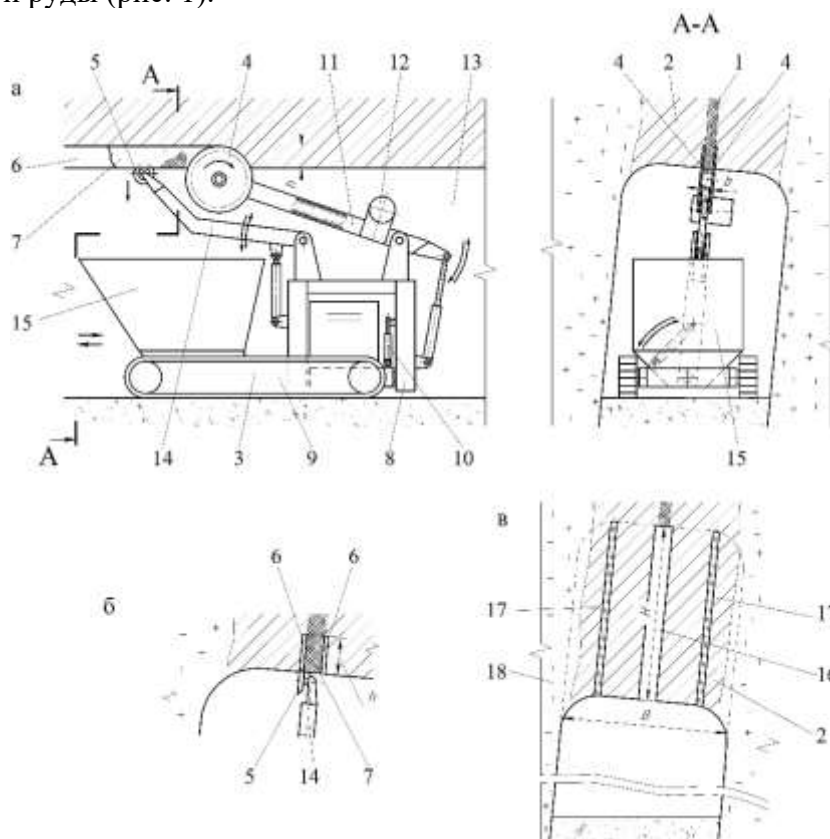
При разработке тонких рудных тел в настоящее время наиболее широко применяются технологические схемы с использованием взрывного рыхления, что предопределяет значительное разубоживание рудной массы, которое будет тем выше, чем меньше мощность жилы [1]. Необходимо отметить, что достаточно активно развиваются технологии и оборудование для безвзрывной выемки полезных ископаемых [9-12]. Известны комбинированные способы выемки ценного минерального сырья, согласно которым для уменьшения разубоживания руд наиболее богатых участков тонких жил осуществляется опережающая механическая выемка путем выбуривания, и последующее взрывание оставшейся части жилы. Так для селективной выемки руды маломощной залежи в работе [11] предлагается технология с применением комбайна КД800Э ведущего бурение по оси залежи в наиболее богатых участках пилотных скважин с последующим их разбуриванием и образованием компенсационных полостей, затем осуществляется взрывное рыхление целиков, оставшихся между разбуренными скважинами. В работе [13] обосновывается способ полностью механической выемки тонких залежей крепких руд путем их выбуривания скважинами разного диаметра, а также разбуривания пилотных скважин через одну с заполнением выработанного пространства закладочными смесями, недостатками способа являются низкая производительность и высокие потери руды, оставляемой в межскважинных целиках.

Для повышения производительности и снижения энергоемкости работ при безвзрывной разработке массивов горных пород обоснованы технологические схемы и оборудование для выборочной и комбинированной отбойки пород [14-19]. Известен способ отработки тонких залежей полезных ископаемых смешанным забоем с применением горного комбайна, оснащенного режущей головкой и гидравлическим молотом, при этом полезное ископаемое вынимается режущей головкой с образованием вруба, а более прочные вмещающие породы разрушаются гидромолотом, за счет чего обеспечивается существенное снижение энергоемкости работ и увеличение скорости проходки [14]. В работах [16, 18] обосновывается конструкция комбайна с комбинированным целевым рабочим органом, оснащенный дисковой фрезой для прорезания в массиве щели и конической шарошкой для взламывания породных целиков, образуемых щелью, что

позволяет совместить преимущества струговой и комбайновой технологий добычи. Необходимо отметить, что оборудование, представленное в данных работах, не обеспечивает возможность разработки прочных горных пород и селективной выемки тонких рудных жил мощностью первые десятки сантиметров.

Целью исследования является создание технико-технологического решения по отработке массива сложенного прочными горными породами с применением горного комбайна обеспечивающего высокоселективную выемку тонких рудных жил мощностью менее 0,1-0,2 м, а также относительно невысокую энергоемкость выемки за счет применения комбинированного рабочего оборудования.

Автором предлагается усовершенствованный способ разработки тонких рудных жил, содержащих ценное минеральное сырье, который целесообразно применять на участках выклинивания жилы при ее мощности первые десятки сантиметров для выемки включений особо богатых руд. В настоящее время для распиловки каменных блоков активно используется оборудование с алмазными режущими дисками [20], достоинством которых является небольшая ширина прорезаемых щелей и возможность работы с весьма прочными горными породами (гранитами, гранодиоритами, базальтами и др.) с относительно высокой производительностью. Так ширина режущих сегментов алмазных дисков диаметром 0,6, 0,8 и 1,0 м, равна соответственно 5, 6 и 7 мм [20]. Для выпиливания и отделения включений особо богатых руд тонких рудных жил 1 локализованных в минерализованных вмещающих породах 2 разработана конструкция горного комбайна 3, оснащенного комбинированным рабочим оборудованием, включающим два режущих алмазных диска 4 и скалывающий диск 5 для выламывания оконтуренного щелями 6 целика 7 особо богатой руды (рис. 1).



**Рис. 1. Схема комбинированной разработки тонкой рудной жилы: а – нарезание щелей по границам включения особо богатой руды с формированием целика; б – скалывание целика; в – подготовка минерализованных вмещающих и пустых пород к взрывному рыхлению**

Комбинированное рабочее оборудование позиционируется с учетом угла падения жилы 1 посредством рамы 8, шарнирно прикрепленной к ходовой части 9 комбайна 3 и

поворачиваемой гидроцилиндром 10 в поперечной плоскости. Режущие диски 4 устанавливаются на расстоянии  $b$ , равном мощности оконтуриваемого щелями целика 7 жилы 1, на поворотной балке 11, внутри которой расположена цепная передача привода 12 вращения дисков 4. При нарезании щелей 6 горный комбайн 3 движется вдоль подземной выработки 13, одновременно с оконтуриванием целика 7 в одну из щелей 6 посредством поворотного рычага 14 внедряется скалывающий диск 5, выламывающий куски особо богатой руды (рис. 1б), которые ссыпаются в приемный бункер 15 комбайна 3. После отработки тонкой жилы 1 на глубину  $h$ , производится возвращение горного комбайна 3 в исходное положение, режущие 4 и скалывающий 5 диски приподнимаются на высоту, соответствующую глубине  $h$  нарезания щелей 6, и рабочий цикл повторяется. Последовательное заглубление режущих дисков 4 осуществляется до формирования выемки 16 на глубину  $H$ , после чего производится бурение шпуров 17 их зарядание и взрывание минерализованных вмещающих 2 и пустых 18 пород с образованием выработки 13 шириной  $B$  для последующего размещения комбайна 3 (рис. 1в). Богатая рудная масса тонкой жилы 1 отправляется на обогатительную фабрику, где после дробления и измельчения подвергается гравитационному обогащению с получением концентрата, направляемого непосредственно на плавку, что обеспечивает высокие показатели извлечения металла.

Минерализованная горная масса после дробления перерабатывается с применением кучного выщелачивания. Раздельная переработка богатой рудной массы жилы и минерализованных вмещающих пород позволяет получить высокое общее извлечение металла из руд сложноструктурного массива и уменьшить затраты на переработку минерального сырья за счет исключения из технологической схемы процесса измельчения минерализованных вмещающих пород, направляемых на кучное выщелачивание.

Комбинированное оборудование горного комбайна, обеспечивающее нарезание алмазными дисками щелей малой ширины, а также последующее скалывание ограниченных щелями целиков горных пород, позволит существенно снизить энергоемкость выемки. Реализация предлагаемых решений даст возможность сохранить природное качество извлекаемого из недр ценного минерального сырья, а также сократить себестоимость его последующей переработки при одновременном увеличении выхода металла, что обеспечит возможность рентабельного освоения запасов, содержащихся в тонких рудных жилах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рогизный В.Ф., Хромов В.М. Селективная выемка маломощных рудных тел с применением малогабаритного самоходного оборудования // Рациональное освоение недр. 2019. № 2-3. С.88-98.
2. Гораш Ю.Ю. Развитие золотодобычи на Дарасунском руднике // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 11. С. 154-156.
3. Секисов Г.В., Чебан А.Ю. Малоотходная технология освоения сложноструктурных месторождений с применением комбинированных схем выемки и переработки руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. № 6. С. 110-118.
4. Adams M. D. Gold Ore Processing: Project Development and Operations. 2nd ed. – Amsterdam : Elsevier, 2016, 980 p.
5. Рассказов И.Ю., Секисов А.Г., Чебан А.Ю. Повышение эффективности разработки сложноструктурных месторождений при опережающей выемке особо богатых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 4. С. 5-19.
6. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. М.: Недра, 1993. 272 с.
7. Чебан А.Ю., Секисов Г.В. Обоснование использования комбинированной подготовки к селективной выемке руд сложноструктурных месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18. № 3. С. 4-12.
8. Секисов А.Г., Шевченко Ю.С., Лавров А.Ю. Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: сб. науч. ст. Новосибирск, 2012. С. 125-132.

9. Сандригайло И.Н., Арефьев С.А., Чеботарев С.И. Определение параметров и показателей работы карьерных комбайнов при добыче мрамора // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2016. Т.15. № 21. С. 362-366.
10. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. № 1. С. 20-22.
11. Михайлов Ю.В., Васильев А.Е., Горный С.В. Подготовка рудного тела к выемке полезного ископаемого комбинированным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 8. С. 114-116.
12. Чебан А.Ю. Технология доработки рудных тел добычной установкой, оборудованной автономным выемочным модулем // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №4. С. 22-28.
13. Поздняков М.В., Михайлов Ю.В., Курбанмагомедов К.Д. Выбор безопасной технологической схемы добычи крепких маломощных руд выбуриванием // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. № 2. С. 52-55.
14. Лабутин В.Н. Применение комбинированного способа разрушения горных пород при проведении выработок смешанным забоем // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т.3. № 2. С. 108-113.
15. Чебан А.Ю. Совершенствование геотехнологии выемки тонких рудных тел с применением стрелового комбайна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 340-348.
16. Дмитрак Ю.В., Картавый А.Н., Картавый Н.Г., Серов В.А. Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 7. С. 2-7.
17. Чебан А.Ю. Способ подготовки прочных горных пород к выемке при ведении строительных и добычных работ // Механизация строительства. 2017. № 9. С. 20-23.
18. Дмитрак Ю.В., Картавый А.Н., Картавый Н.Г., Серов В.А. Техника и технология малозахватной выемки твердых полезных ископаемых из маломощных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № S4-7. С. 3-13.
19. 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.
20. Чирков А.С. Добыча и переработка строительных горных пород – М.: Изд-во МГГУ, 2005. 623с.



## АНАЛИЗ ОСТАВЛЕННЫХ ЗАПАСОВ В ЦЕЛИКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

ИСАБЕК Т. К.<sup>1</sup>, БАИЗБАЕВ М. М.<sup>1</sup>, БАИЗБАЕВ М. Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НАО «Карагандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова», г. Караганда

<sup>2</sup> РГП на ПХВ «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда», г. Астана

**Аннотация.** При подземной разработке угольных пластов значительная часть балансовых запасов остается в недрах в виде целиков различного назначения (охранные, барьерные, у геологических нарушений и т.д.). В связи с увеличением глубины ведения горных работ, ухудшением горно-геологических условий отработки пластов и сокращением запасов низкозольных коксующихся углей, в Карагандинском угольном бассейне повышается актуальность решения задачи по извлечению ранее оставленных угольных целиков.

**Ключевые слова:** угольная шахта, угольные целики, запасы.

## ANALYSIS AND CALCULATION OF REMAINING RESERVES IN THE COAL MINES OF THE KARAGANDA COAL

ISABEK T. K.<sup>1</sup>, BAIZBAEV M. M.<sup>1</sup>, BAIZBAEV M. B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda

<sup>2</sup> Republican Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana

**Abstract.** During underground mining of coal seams, a significant part of the balance reserves remains in the subsoil in the form of pillars for various purposes (security, barrier, near geological disturbances, etc.). Due to the increase in the depth of mining operations, the deterioration of mining and geological conditions for mining seams and the reduction in reserves of low-ash coking coals, the urgency of solving the problem of extracting previously abandoned coal pillars in the Karaganda coal basin increases.

**Keywords:** coal mine, coal pillars, reserves.

Из-за ухудшения горно-геологических условий и увеличения глубины разработки, а также других причин на угольных шахтах возникает дефицит благоприятных для отработки участков угольных пластов, ухудшаются условия их безопасной и эффективной отработки, снижается качество добываемого угля, падает производительность труда, а затраты на добычу возрастают. Поэтому в такой ситуации оказывается экономически целесообразным возвращение на ранее отработанные участки и разрабатывать оставленные при эксплуатации на верхних горизонтах охранные и предохранительные целики угля, которые раньше отрабатывать было невыгодно.

В ограниченных по размерам целиках различного назначения (главным образом в предохранительных и охранных) в Карагандинском угольном бассейне законсервировано огромное количество качественного угля. В таких целиках находится до 30-40% балансовых запасов угля. Поэтому даже частичная выемка этих запасов принесет немалую экономическую выгоду.

Для оценки потенциальных возможностей рудных зон, полей, бассейнов и районов в необходимых случаях на основе общих геологических представлений определяются так

называемые прогнозные запасы. При комплексных полезных ископаемых запасы содержащихся в них основных ценных компонентов учитываются по одним и тем же категориям. Геологические запасы включают весь объем полезных ископаемых, выявленных при разведке месторождения. Только запасы, которые удовлетворяют требованиям промышленности и могут быть рентабельно использованы в народном хозяйстве, подлежат извлечению из земных недр.[1]

Подсчет запасов каменного угля производится по блокам и категориям в соответствии с условиями, установленными на основании специальных технико-экономических расчетов.

Поле шахты «Тентекская» расположено на восточном крыле Тентекской мульды в центральной части Тентекского угленосного района Карагандинского угольного бассейна (рис. 1).

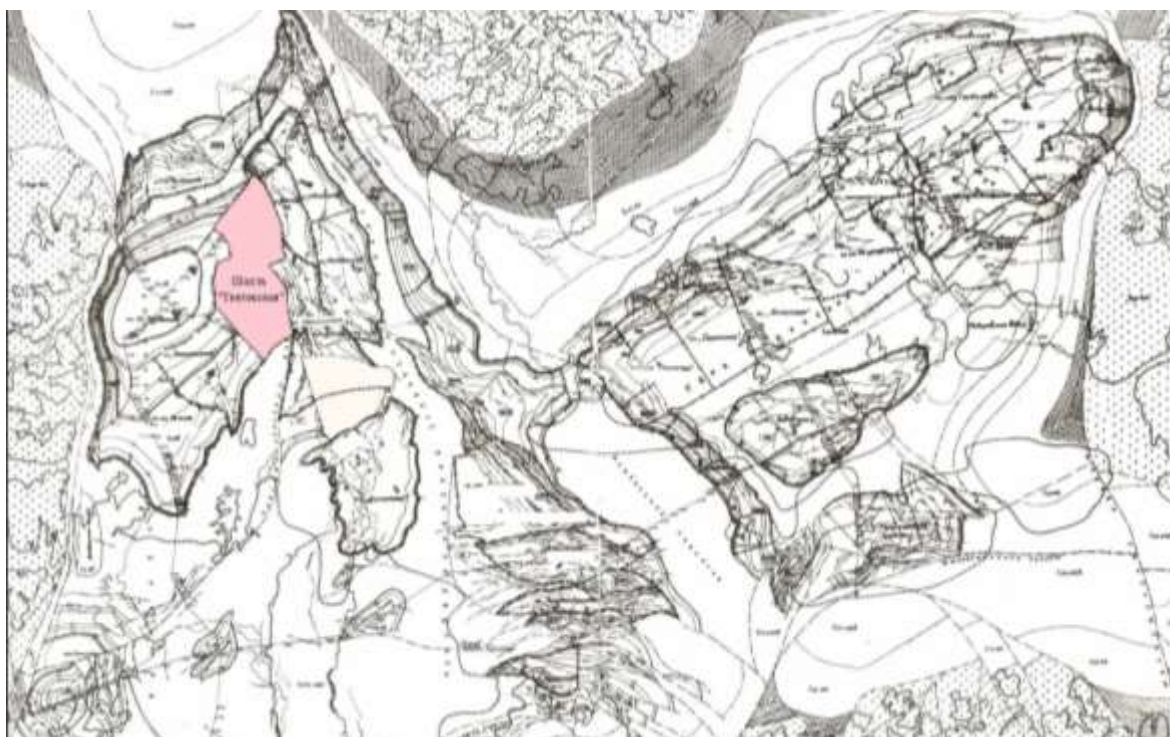


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Карагандинского угольного бассейна

Глубина подсчета запасов принята по изогипсе с отметкой -340 м, что соответствует глубине 820 м.

Мероприятия по сохранению забалансовых запасов угля в недрах для последующего промышленного освоения. Исходными балансовыми запасами шахты, являются запасы из числа утвержденных Государственной комиссией.

Подсчет запасов угля производится по блокам и категориям в соответствии с условиями, установленными на основании специальных технико-экономических расчетов.

Для подсчета оставленных запасов берем пласт Д<sub>6</sub> шахты «Тентекская». Вынимаемая мощность пласта Д<sub>6</sub> составляет 4,2 метра, зольность 20,3-21,6%, марка угля КЖ.

К запасам, нецелесообразным для отработки по технико-экономическим причинам, выявившимся в результате проведения горно-эксплуатационных и дополнительных геолого-разведочных работ, относятся запасы:

- на изолированных участках малой площади;
- на небольших участках, расположенных между тектоническими нарушениями, переход через которые сопряжен с проведением в значительном объеме горных выработок по породе;
- на участках, сильно нарушенных или со сложными условиями залегания пластов;

-на участках, где в результате нарушения вмещающие породы не устойчивы, а так же на участках, где в угольном пласте встречаются многочисленные крупные породные включения;

-на сильно обводненных участках (если осушение не возможно или экономически не выгодно).

Промышленные запасы угля определены по угольным пачкам и рядового угля (горной массы) с учетом коэффициента «К», учитывающего засорение угля внутрипластовыми прослоями и породами непосредственной кровли и почвы на принятую вынимаемую мощность пластов, для определения годовой добычи, срока отработки пласта, срока службы горизонта, блока и шахты. По пластам промышленные запасы угля определены исходя из утвержденных балансовых запасов угля с учетом переводного коэффициента, приведены промышленные запасы горной массы (рядового угля).[2]

Для его определения принято соотношение производительности вынимаемой части угольных пачек, по которым утверждены балансовые запасы угля:

$$K = m_v \times d_v : m_{у.п} \times d_{у.п.}$$

где  $m_v$  - вынимаемая мощность пласта принятая проектом;  $d_v$  - объемная масса вынимаемой части пласта;  $m_{у.п.}$  - мощность угольных пачек, по которым утверждены балансовые запасы  $d_{у.п.}$  - объемная масса угля подсчетной части угольных пачек пласта.

На основании выполненных расчетов коэффициенты засорения угля по пластам приняты: по пласту Д<sub>6</sub> - 1,08; [3]

При расчете промышленных запасов угля, балансовые запасы, расположенные в предохранительных целиках под стволы, главные капитальные квершлагги, горные выработки, в барьерных целиках и площадях, прилегающих к целикам, в связи с необходимостью их сохранения, из расчета исключены как временно неактивные запасы (законсервированные) в недрах. Указанные запасы составляют 51863 тыс.т угля или 28,86% от балансовых запасов шахты (табл.1).

Балансовые запасы угля, прилегающие к предохранительным целикам, рекомендуемые к отработке совместно с ними, составляют 10576 тыс.т угля или 20,4% запасов шахты (рис.2).

При этом, у крупных нарушений - 9275 тыс.т угля или 17,8%, в обособленных участках и блоках – 440 тысяч тонн угля или 4,2% (рис.2).

Эксплуатационные потери угля по системе разработки определяются из потерь угля по площади и по мощности и приняты по пластам согласно вынимаемой мощности пластов и технологии разработки угольных пластов. [4]

**Таблица 1. Промышленные запасы угля и оставленные запасы в целиках пласта Д<sub>6</sub> шахты «Гентекская».**

| Итого | Добыча | Запасы | Уголь в балансе, тыс. т |             | Уголь в промышленности, тыс. т |             | Уголь в недрах, тыс. т |             | Уголь в целиках, тыс. т |             | Уголь в блоках, тыс. т |             | Уголь в площадях, тыс. т |             | Уголь в других местах, тыс. т |             | Уголь в других местах, тыс. т |             |       |
|-------|--------|--------|-------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-------|
|       |        |        | Всего                   | В том числе | Всего                          | В том числе | Всего                  | В том числе | Всего                   | В том числе | Всего                  | В том числе | Всего                    | В том числе | Всего                         | В том числе | Всего                         | В том числе |       |
| 1     | 2      | 3      | 4                       | 5           | 6                              | 7           | 8                      | 9           | 10                      | 11          | 12                     | 13          | 14                       | 15          | 16                            | 17          | 18                            | 19          | 20    |
| 10000 | 1000   | 10000  | 10000                   | 10000       | 10000                          | 10000       | 10000                  | 10000       | 10000                   | 10000       | 10000                  | 10000       | 10000                    | 10000       | 10000                         | 10000       | 10000                         | 10000       | 10000 |

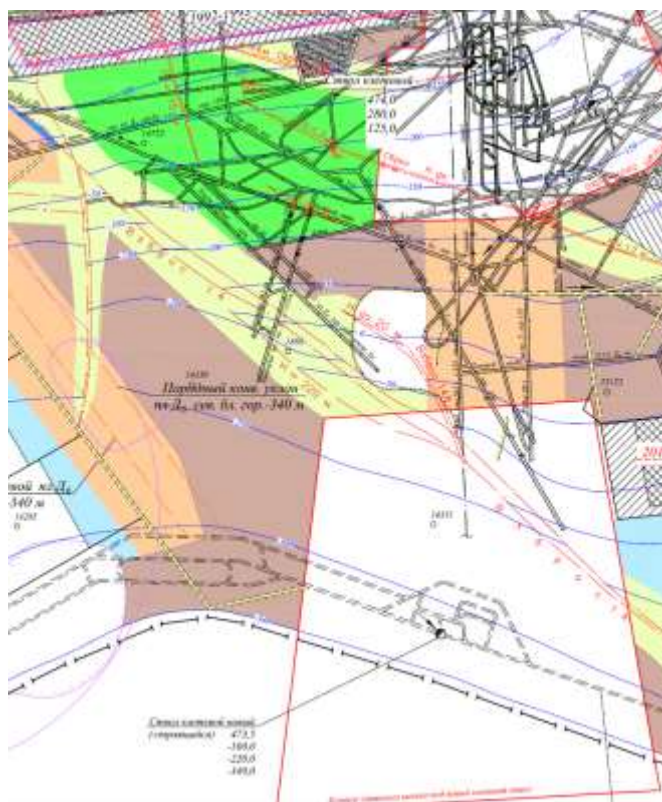


Рис. 2. Схема расположения оставленных запасов (целиков) пласта Д<sub>6</sub>

- Запасы, прилегающие к предохранительным целика
- Запасы, располагающиеся в обособленных участках и блоках
- Запасы у крупных нарушений

Полученные результаты позволяют в дальнейшем обосновать отработку данных оставленных запасов и определить наиболее эффективные технологические решения по решению данного вопроса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баизбаев М.М., Исабек Т.К. Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации угольных шахт // Труды Республиканской студенческой научной online конференции «Вклад молодежной науки в реализацию Стратегии «Казахстан-2050», . – 16-17 апреля 2020. – №12. – с. 151-152.
2. Баизбаев М.М., Соколов И.В., Отработка целиков пласта Д<sub>6</sub> в условиях шахты «Тентекская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау» // НАО «Карагандиский Технический Университет». – 2021.
3. Малец А.Л., Мазниченко Р.А., Максимов В.А. Метод расчетного определения зольности угля при совместной транспортировке горной массы из очистных и подготовительных забоев., семинар №19, 2004г.
4. Ермакова И. А., Пириева Н. Н. Методика численного расчета состояния целиков с учетом запрельного деформирования / И. А. Ермакова, Н. Н. Пириева// Вестник КузГТУ. – 2016. – №4. – С. 3–8.

## NEW TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF FIXING AND INCREASING THE STABILITY OF ROCKS IN MINE WORKINGS

KAMZINOV N.

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda

**Annotation.** One of the main conditions for the construction of underground mine workings is to ensure the stability of the formed rocks. The rock mass in its pure state depends on a number of factors:

- physical and mechanical properties of rocks;
- to the conditions of geological formation and rock formation;
- the degree of violation.
- concentrates complex physical processes associated with various stress fields associated with the tendency to geodynamic phenomena, etc.

In such cases, during mining operations, various unforeseen circumstances may arise, as a result of which the walls of the mine workings lose their load-bearing capacity and begin to collapse. The stability of rocks is significantly affected by the degree of wetting of rocks, which leads to intensive stratification and collapse of rocks. Due to this, sections of roofing rocks have repeatedly collapsed in coal mines, both during the excavation of mine workings and during their operation, the elimination of which requires significant labor and money costs, and in some cases leads to serious catastrophic consequences.

**Keywords:** rock, contour, destruction, mining, in rub, parameters of mining, calculation.

A very important factor is the quality of contouring of mine workings, especially when using blasting operations. If the production chain is not uniform, then the stress concentration around mining will be very different from a flat chain. It is known that in a pure massif, rocks are in a state of all-round volumetric compression. When conducting mine workings, the state of equilibrium is disturbed and static stress fields are formed in the downhole zone, the type and size of which depend on the shape and size of the cross-section of the mine workings, as well as the physical and mechanical properties of rocks. The stress state of rocks significantly affects the strength characteristics of rocks.

In the process of mining, the equilibrium state of rocks is disturbed, and therefore operating stresses are redistributed both around the workings and before the face. In addition, depending on the strength properties of rocks around production, there are two types of environmental conditions – elastic and elastic.

Elastic state is typical for mining operations carried out in high-strength monolithic rocks, inelastic-in less strong rocks. The stability of rocks during mining operations using the drilling and blasting method is affected by both the operating pressures  $y$  and stress waves caused by the explosion of a set of explosive hole charges.

In stable rocks, when the stresses do not exceed the long-term strength of the rocks, and the deformations do not go beyond the elastic-loose ones, the rock chain is constant, and fixation such as a support structure is not always required. In cases where a zone of inelastic deformations is formed around the workings, it is necessary to install an anchor D I, which has flexibility, so that some mixing of rocks *санкерді* is possible, otherwise the anchor may break or be damaged.

«*АН*When considering the Anchor-array system in various mining and geological conditions, two main modes of fastener operation are distinguished: the mode of a given load and the mode of mutually acting deformations (the anchor array men works together, the load on fasteners is determined by its deformation by a moving mountain range). The main parameters of

fasteners are flexibility and load-bearing capacity. These modes can be interleaved and combined. So, for example, at the first stage of work, the anchor can only support sections of split roof rocks and work in the mode of a given load, and then switch to the mode of mutual deformation due to an increase in deformations in the upper layers of the rock. «Крепль-массив» Many years of experience in studying the mechanism of interaction of the "Support-array" system allowed us to form the main requirements for the approval of mine workings, which are reduced to the following:

- ensuring compliance with the shape and dimensions of the cross-section of the mine workings during the entire service life;
- do not require an increase in the cross-section of the mine workings during its construction;
- low resistance to the movement of air flow during ventilation;
- do not require large investments.

Given the established conditions, the correct choice of a certain type of fastener occupies a special place in the construction of mining operations, but these conditions are not always met. In practice, such types of safety anchors are often used, which have become a tradition for certain enterprises and are used most often because employees of the enterprise are used to them. But they are not always economical and do not always correspond to mining and geological conditions, and sometimes excavations carried out on stable rocks are unreasonably fixed with an anchor line that requires expensive material.

Currently, the anchor retainer is widely used. Many different designs of anchor fasteners are known, but they do not always meet the requirements with certain disadvantages.

We have made design changes to some of them and developed fundamentally new designs, defining the scope of their application.

Әлсіз және орташа бекіністі тау жыныстары үшін клинорспоралық анкер [2]. It consists of 1 metal rod, 2 heads with 3 longitudinal grooves, and 4 end parts in the form of a truncated cone. On the outer surface of the head 2 there are 5 teeth, and 6 metal wedges are inserted into the longitudinal groove 3.

The V-bar anchor operation is performed in normal mode, just like other similar anchors. Before placing the hole, the wedge 6 is inserted into the cell 3 and slightly pressed to get the desired vertical position. After that, the anchor is inserted into the hole 7 and the metal rod 1 is pressed or hammered in any way – with a hammer, jack, etc., so that the metal wedge completely enters the groove. Due to this, the walls of the anchor head are separated from each other, and the teeth on its surface penetrate the anchor walls, ensuring a reliable and reliable fixation of the anchor barrel on the hole and its maximum load-bearing capacity.

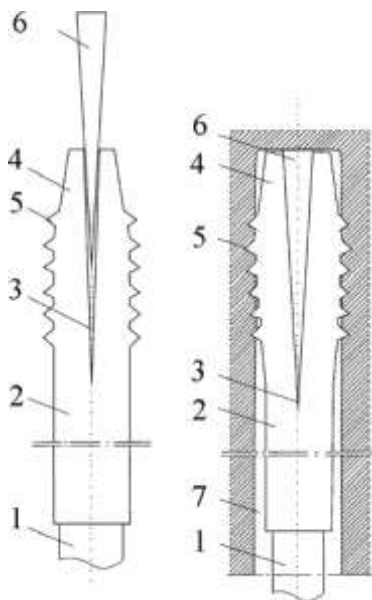


Figure 1. V-bolt anchor

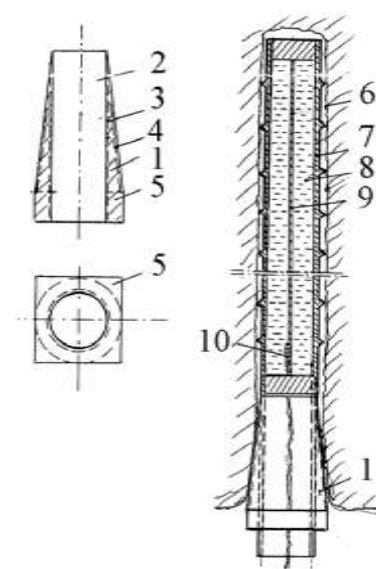


Figure 2. Hydraulic explosive tube anchor

And the presence of teeth on the walls of the anchor head ensures reliable fixation of the anchor shaft even in wetted pits, and in cases when the pit walls are covered with clay formations. At the same time, an anchor with smooth ribbed surfaces is not used, since the coefficient of metal friction against such rocks decreases sharply, and the bearing capacity of the anchor shaft is insufficient.

In the construction of mine workings in monolithic rocks, a hydraulic explosive pipe anchor is recommended with high strength and insignificant rupture (Fig. 2) [4, 5]. The anchor is made in the form of a metal pipe with teeth on the outer surface. At a distance of 30-40 cm from the lower end, the upper end and lower part of the pipe are hermetically sealed with plugs, to which a detonation wire with an electric detonator is attached in the lower part. The inner cavity of the pipe is filled with water.

Installation of tubular anchors is carried out as follows. The tubular anchor is inserted into the hole (well) and the lower end of the pipe, an elongated conical nut with a thread is twisted on its outer surface to pre-hold the anchor in the hole, so that the conical nut simultaneously cuts into the hole neck, which ensures reliable anchor retention in the hole.

After placing hydraulic explosive tube anchors on the boreholes, the ends of the electric detonator conductors coming out of the pipes are connected to the explosion circuit and activate them. A strong shock wave generated when the detonation wire breaks causes a hydraulic shock that acts on the walls of the metal pipe through the water mass. Thanks to this, the metal pipe walls expand and press tightly against the hole walls, and the toothed protrusions are inserted into the stones, ensuring effective and reliable fixation of the barrel of the hydraulic explosive pipe anchor on the hole.

Currently, the anchor retainer of various modifications is widely used. The disadvantage of the known anchorage structures is that they perform only one function—the role of a load-bearing structure that supports a certain thickness of rocks in the contour space of mining. However, during mining operations, there are different conditions for the formation of rocks—overlaps, cracks, and different degrees of faults. If excavations are carried out with the use of drilling and blasting operations, then a fault zone to a depth of 1.0-1.5 m is created in the contour massif under the influence of the explosion energy, which significantly reduces the stability of rocks.

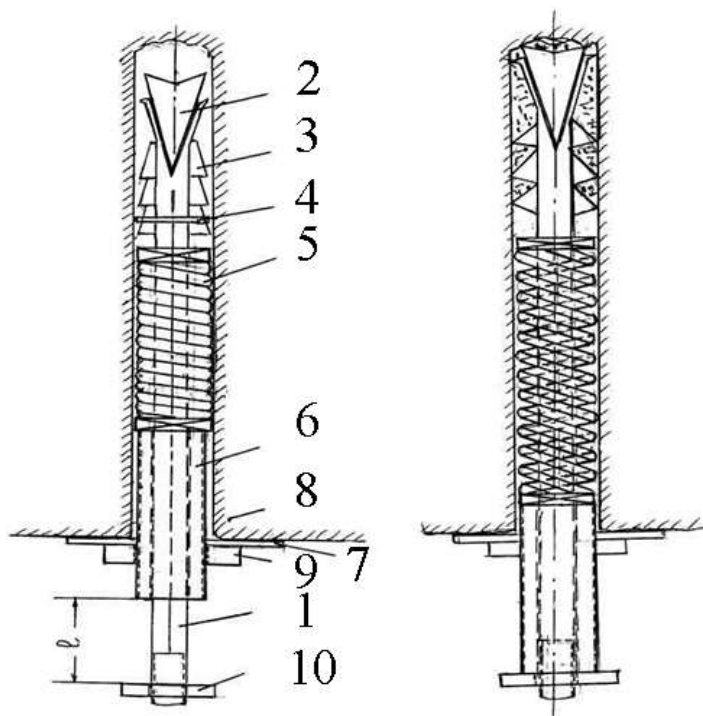


Figure 3. Support element

In such cases, it is necessary to create conditions for stabilizing the geological structure of rocks outside the production contours. This is the second function that the buffer lock must perform. This function is intended to some extent for performing prestressed anchor buffers. But in such structures, a significant drawback is the complexity of tension of a multi-layer metal cable when installing anchors. We have developed a fundamentally new type of anchor rod-a clamp consisting of 1 metal rod [3] (Fig. 3), a metal wedge 2 inserted into the groove at the upper end of the metal rod, a double-sided half coupling 3 connected by an assembly ring 4 (the fastening device can have any other design). A spring 5 is attached to the metal rod 1, the design parameters of which are taken depending on the length of the trunk and the structural state of rocks.

At the lower end of the spring, a cylindrical bushing 6 is fixed with a thread on the outer surface, in which a support plate 7 is located in contact with the rock 8, and a traction nut 9.

At the lower end of the metal rod, a restrictive nut 10 is installed using a threaded connection, which fixes the length of the spring extension 5 and restricts the stroke of the cylindrical sleeve 6. The value of the maximum distance  $l$  between the massifs is calculated when developing certificates for fixing the rock outlet during the construction of mine workings, taking into account the structural state of the rock mass and the value of its necessary "hardening", depending on the degree of cracking and destruction.

Anchor hole A is inserted and fixed with a 2-meter metal wedge and 3-sided half-couplings at the base of the hole. Anchor ampoules with polyester resins can be used for stronger attachment of the barrel head to the hole. After the anchor is attached to the hole, the traction nut 9 is screwed into the cylindrical sleeve 6, which moves along the metal rod 1 to the lower position to the restrictive nut 10, while simultaneously stretching the spring, while pressing the support plate to the fixed rock.

During operation, the tensioned spring, striving for compression, compresses the destroyed rock layers, reducing cracks and preventing their further development, which significantly increases the stability of rocks during the entire service life of mining operations.

We have developed a movable protective mount that can be used in combination with a permanent or temporary anchor a mount of any design during mining operations [6, 7, 8].

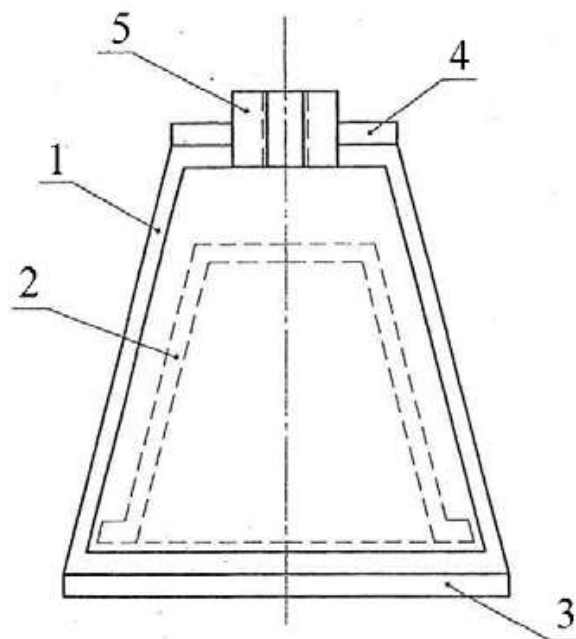


Figure 4. Support element for extendable mounting



The purpose of temporary safety fasteners is to protect against a pile of rocks after the explosion of a set of borehole charges in the process of loading the destroyed rock mass and designing the downhole space until the installation of temporary and permanent fasteners. Such fasteners consist of extendable cantilever beams made of a special SVP profile with a protective coating in the form of a metal mesh, fixed to the end parts of the nker a fastener using special support elements (Fig. 4).

The support element consists of two side inclined elements 1 connected by parallel platforms 3 of the lower and 4 of the upper. The upper platform has 5 nuts with a thread similar to the thread at the ends of the nker A. The support elements are screwed to the ends of the nker protruding from the holes, and 2 sliding consoles made of a special SVP profile are placed inside the support elements. Before the downhole part of the mine, a metal mesh is hung on the protruding cantilever parts, which prevents the penetration of exfoliating rock parts into the working area.

As the mining industry develops, the support elements are easily twisted and replaced with the next newly installed row of conveyor shafts.

The extendable temporary safety lock is easily installed on the nker a lock and moves without using any mechanisms, and the shape of the support elements, which repeat the shape of the extendable SVP consoles, prevents them from moving and tipping over during operation, which increases the safety of miners.

The use of the developed types of lightweight fasteners reduces the material consumption and cost of fixing mine workings, providing the necessary load-bearing capacity of the fastening and massive system and the safety of miners.

#### LIST OF USED LITERATURE

1. Masaev Yu. A. Usloviya provedeniya gornyx vyrabotki v napryazhenном porodnom massife [Conditions of mining operations in a stressed rock mass]. Vestnik Kuzbassskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, No. 3, 2013, pp. 24-27.
2. Klinorasporny anchor / Positive decision on granting a patent for a utility model dated 06.11.2014 on application No. 2014136169/03 (058522), ed. Yu. A. Masaev, A. P. Politov, and V. Y. Masaev.
3. Patent No. 138709, Russia, IPC E21D 21/00. Masaev Yu. A., Masaev V. Yu., Sokolov S. A. Rasprostranno-prizhimnoy anker [Spacer-clamping anchor] Макаев, С. Published on 20.03.2014. Byul. no. 8.
4. Patent No. 122697, Russia, IPC E21D 21/00. Макаев трубчатый анкер / Ю. А., В. В. Першин В. В., В. Ю. Макаев В. Ю., Е. Кuryokhin Е. В. Gidrovzryvnoy trubchatyi anker [Hydroexplosive pipe anchor]. Опубли. Published on 10.12.2012. Byul. no. 34.
5. Patent No. 128243, Russia, IPC E21D 20/00. Masaev Yu. A., Masaev V. Yu. Device for preliminary fixing in the spur of a hydroexplosive tubular anchor / Ю. А. Макаев, В. Ю. Published on 20.05.2013. Byul. no. 14.
6. Patent No. 76073, Russia, IPC E21D 19/04. Bakanyaev S. N., Parshikova E. V., Masaev Yu. A., Voitov M. D. Vremennaya bezopasitelnaya krep' pri vozrozhdenii ustanichnoi ankernoй krep'i [Temporary safety support during the construction of permanent anchor support]. Published on 10.09.2008. Byul. no. 25.
7. Patent No. 102679, Russia, IPC E21D 19/00. Першин В. В., Ю. А. Макаев Ю. А., Voitov M. D., Masaev V. Yu., Parshikova E. V. Vremennaya pred okhranitelnaya krep' [Temporary pre-protective support]. Published on 10.03.2011. Byul. no. 7.
8. Patent No. 107282, Russia, IPC E21D 19/00. Опорный элемент для выдвижной крепи / Макаев Ю. А. Макаев, Masaev V. Yu., Parshikova E. V. Oporny element dlya predstavnoi krep'i [Support element for sliding supports] Макаев, Е. В. . Опубли. Published on 10.08.2011. Byul. no. 22.

УДК 622.2:001.891

### ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ \*

ЯКОВЛЕВ В. Л.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье представлены особенности методологического подхода к решению проблем проектирования и разработки комплексных месторождений твердых полезных ископаемых.

Показана специфика оценки состояния и обоснования перспектив развития минерально-сырьевой базы Уральского федерального округа.

Сформулированы предложения для разрабатываемой научно-технической программы Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования «Развитие минерально-сырьевой базы и технологии добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

**Ключевые слова:** комплексные месторождения, минерально-сырьевая база, стратегия развития, методологический подход.

### FEATURES OF THE METHODOLOGICAL APPROACH TO PROBLEM SOLVING DESIGN AND DEVELOPMENT OF COMPLEX DEPOSITS OF SOLID MINERALS

YAKOVLEV V. L.

Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg

**Abstract.** The article presents the features of the methodological approach to solving the problems of designing and developing complex deposits of solid minerals.

The specifics of assessing the state and substantiating the prospects for the development of the mineral resource base of the Ural Federal District are shown.

Proposals have been formulated for the scientific and technical program being developed by the Interdepartmental Council of the Russian Academy of Sciences for the development of the mineral resource base and its rational use "Development of the mineral resource base and technology for the extraction and enrichment of ores of strategic metals and their extraction to ensure the high-tech industry of the Russian Federation".

---

\* Статья подготовлена на основе результатов исследований по Теме I «Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (2022-2024)»

The article is based on the results of research on the Topic I "Methodological foundations of the strategy of integrated development of reserves of solid mineral deposits in the dynamics of development of mining systems (2022-2024)"

**Keywords:** complex deposits, mineral resource base, development strategy, methodological approach.

Комплексность месторождений полезных ископаемых обусловлена неотъемлемым природным свойством недр. Повышение комплексности использования минеральных ресурсов достигается повышением коэффициентов извлечения из недр не только основных, но и попутных компонентов рудных месторождений.

Следует отметить, что абсолютное большинство химических элементов открыто при изучении минералов горных пород, в том числе при их добыче и переработке [1].

Доля попутных компонентов особенно значительна в цветной металлургии. По данным на 1985 г. из 74 извлекаемых химических элементов 62 элемента являются попутными. При этом доля ценности извлекаемых попутных компонентов в ценности медноколчеданного типа медных руд достигает 70%, а потенциальная по оценке специалистов [2] до 85%.

Для месторождений других промышленных типов доля потенциальной ценности извлекаемых попутных компонентов может быть повышена с 30-40% до 45-74%.

Более разительная картина характерна для комплексного освоения месторождений железных руд [3].

Из 11 выделенных промышленных типов руд месторождения 3-х типов вообще не разрабатываются, из 4-х типов разрабатываемых месторождений извлекаемая доля ценности попутных компонентов равна нулю, хотя перспективная и потенциальная доля может быть существенной.

Минерально-сырьевая база отрасли, региона, предприятия, как правило, не ограничивается собственно минеральным объектом - месторождением, поскольку его наличие еще не гарантирует создания продукции с требуемыми потребительскими свойствами.

Под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также и средств их добычи и переработки. Для более полного отражения условий освоения месторождений может стать понятие «минеральный комплекс» (МК), включающий следующие элементы: сырьевые фонды, представленные месторождениями и проявлениями различных полезных ископаемых; службы и организации, призванные вести геологическое изучение, охранять и восполнять природные ресурсы; добывающую и перерабатывающую промышленность; научно-исследовательские и опытно-конструкторские организации, обеспечивающие исследование минеральных ресурсов, разработку техники и технологий рациональной добычи и переработки сырья; органы государственной власти, управляющие комплексом.

При разработке стратегии разработки месторождений следует учитывать особенности освоения их запасов:

1. Искерпаемость и невозобновимость запасов конкретных месторождений полезных ископаемых.
2. Комплексность месторождений и минерального сырья.
3. Разнообразие природных условий разработки одноименных видов минерального сырья.
4. Индивидуальность технологических свойств и условий переработки минерального сырья.
5. Высокая природная изменчивость геологических параметров в пределах одного месторождения.
6. Многопроцессность горного производства, рассредоточенность и нестационарность активной части основных фонтов.
7. Многообразие альтернативных способов обеспечения заданного объема выпуска продукции.
8. Нарастание информации о месторождении по мере его освоения и принятие основных решений в условиях неопределенности.

Важнейшим условием реализации методологического подхода к решению проблем освоения недр на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности является учет нарастания геологической, горнотехнической и технико-экономической информации в динамике развития горных работ.

Суть поэтапного формирования основ эффективного освоения месторождений и параметров развития горных предприятий состоит в следующем. Проект разработки месторождения основывается на характеристике месторождения, представленной в геологическом отчете: разведанность, условия залегания, запасы, их качественная и технологическая характеристика. Все данные с определенной степенью достоверности. Все решения принимаются на основе прогнозных геологических, технологических, технических и социально-экономических данных на периоды проектирования, строительства и эксплуатации горного предприятия [4].

Применяемая горная техника может отличаться от предусмотренной проектом, в том числе и в период последующей эксплуатации. Уточняются физико-механические свойства горных пород, запасы, условия залегания и качественная характеристика полезных ископаемых. Могут существенно измениться цены на оборудование, товарную продукцию, сырье, материалы и т.п. Вывод: требуется корректировка проектных решений.

Изменяются горнотехнические условия формирования и развития горных работ и функционирования технологических процессов, требования потребителей по объемам, качеству и ценам товарной продукции.

Необходима постоянная адаптация горного предприятия к изменяющимся условиям функционирования на основе мониторинга, состояния и прогноза внутренней и внешней среды [5].

Предлагаемый методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, является универсальным, и может использоваться при проектировании освоения глубокозалегających месторождений, планировании, организации и управлении добычей и рудоподготовкой минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической информации, внедрения разработанных инновационных мероприятий, изменения параметров и показателей горнотехнической системы горного предприятия по мере развития горных работ.

Научно-методическая постановка проблем развития действующих предприятий включает:

1. Разработка долгосрочной стратегии инновационно-технологического развития:
  - анализ горно-геологической информации об объемах, качестве и пространственном расположении оставшихся запасов основных и попутных полезных компонентов;
  - обоснование кондиций с учетом уточненных качественных признаков добываемого сырья и конъюнктуры отечественного и мирового рынка на товарную продукцию;
  - уточнение границ открытых и подземных горных работ и их последовательного, параллельного или комбинированного применения;
  - обоснование объемов добычи и номенклатуры товарной продукции, как основы для выработки и принятия управленческих воздействий в технологическом и организационно-экономическом развитии на краткосрочную и долгосрочную перспективу.
2. Выработка подходов к развитию технологии горного производства, включая:
  - исследование режима горных работ в увязке с порядком их развития и формированием рабочей зоны (очистного пространства), обеспечивающим предпосылки для управления качеством добываемого сырья;
  - аудит и анализ структуры парка оборудования и на их основе - модернизация действующих, а также создание и применение новых машин и механизмов;
  - целевая оптимизация параметров технологических процессов и их взаимодействия применительно к конкретным, специфичным условиям функционирования.

3. Разработка комплекса организационно-экономических мероприятий и управленческих воздействий с целью выхода из кризисных ситуаций или их предотвращения, в том числе:

- обоснование способов резервирования и управления ресурсами предприятия всех видов (товарная продукция, финансы, оборудование, материалы и т.п.);
- ситуационный технико-технологический анализ организационной структуры горного производства и поиск «узких» мест, сдерживающих снижение текущих издержек или повышение доходности, а также обеспечивающих безопасность ведения работ;
- комплексный анализ управленческих решений и системная увязка элементов и подсистем горного предприятия как организационно-экономической и финансовой системы и пр.

На государственном уровне с учетом мировых тенденций развития экономики, производства и потребления минерального сырья, ресурсного недрового потенциала и долгосрочной программы социально-экономического развития страны разрабатываются законодательные акты (Закон о недрах), стратегия сырьевого обеспечения обрабатывающих отраслей промышленности и планы развития регионов.

На федеральном уровне определяется роль и место округа и входящих в его состав субъектов в долгосрочной программе социально-экономического развития страны и разрабатываются программы комплексного освоения и развития минерально-сырьевой базы на период до 2030-2050 гг., концепции развития горно-металлургических комплексов и инфраструктуры регионов.

Недропользователи на основе лицензий на право разработки месторождений, нормативно-законодательных актов о недропользовании и финансовых возможностей (инвестиций) разрабатывают и реализуют программы развития и поддержания сырьевой базы.

Специфика оценки состояния и обоснование перспектив развития минерально-сырьевой базы Урала состоит в том, что многие месторождения за 300-летнюю историю горного дела уже отработаны, и освоение новых месторождений связано с необходимостью решения на государственном уровне ряда проблем.

Уральский федеральный округ обладает мощным минерально-сырьевым комплексом, являющимся основой для развития экономики округа и государства в целом. В нём сосредоточена вся или почти вся общероссийская добыча ванадия, магнетита, молотого талька, обогащенного каолина, свыше 42% графита, свыше 46% хризотилового асбеста, хромовых руд, около 60% бокситов, третья часть добычи кварцитов, около 60% кадмия, цинка, около 13% железных руд.

При этом зависимость Урала от импорта минерального сырья из других регионов России или из-за рубежа составляет в части железных руд 65%, бокситов – 30%, угля – 90%, марганцевых руд – 100%, хромовых руд – 60%, медного концентрата – 60% [6].

Будущее минерально-сырьевого обеспечения экономики Уральского федерального округа зависит от преодоления следующих негативных факторов:

- отсутствует либо слабо освоена минерально-сырьевая база некоторых отраслей промышленности, потребности которых покрываются за счёт импорта сырья и изделий (руды железа, марганца, титана, олова, тантала, ниобия, циркония и др.);
- добыча большинства полезных ископаемых в течение ряда лет не компенсируется приростом запасов ни на эксплуатируемых, ни на новых объектах;
- по интенсивно добываемым полезным ископаемым существенно сократился «поисковый задел», произошла убыль активных прогнозных ресурсов, практически отсутствует резерв объектов, на которых возможно получение существенных приростов запасов в ближайшие годы;
- добыча ряда полезных ископаемых в значительной мере монополизирована, что ограничивает конкуренцию в недропользовании.

Основные направления в расширении МСБ Уральского региона включают:

1. Доизучение и вовлечение в освоение ресурсного потенциала Полярного, Приполярного и Северного Урала.

2. Выявление новых закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых (никель, бокситы, уран, скандий, ванадий, золото, платиноиды и др.).

3. Ревизия ранее проводившихся поисковых работ исходя из пересмотра кондиций на базе применения новых технологий добычи и обогащения, а также расширения спектра и видов полезных ископаемых на ранее опосредованных площадях.

Особенность современного этапа исследований и решения проблем комплексного освоения георесурсов состоит в том, что в настоящее время нет оценки богатства недр РФ, ее федеральных округов и субъектов, нет научно-обоснованной стратегии и государственной программы развития МСБ и комплексного освоения ресурсов минерального сырья на ближайшие годы и перспективы до 2035 и 2050 годов. Этим вопросам в дальнейших исследованиях должно быть уделено основное внимание.

Сохраняется тенденция падения объемов добычи и запасов минерального сырья. Прекращены или резко сокращены геологоразведочные работы на все виды минерального сырья, кроме углеводородов. Обеспеченность запасами многих месторождений полезных ископаемых ограничена в пределах 3-5-10-15 лет, то есть, менее 27 лет, которые остались до 2050 года.

Начиная с 2019 года на каждый рубль бюджетного финансирования, вложенный в геолого-разведочные работы, будет приходиться не менее 10 рублей средств недропользователей (в соответствии с утвержденной Правительством «Стратегии развития МСБ РФ до 2035 г.»),

Система санкций Запада, ужесточенная с началом СВО, диктует необходимость более ответственного подхода со стороны государственных органов к решению проблем освоения недр.

Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2914-р от 22 декабря 2018 г. утверждена «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», но с методологической точки зрения у «Стратегии» есть два недостатка:

- в ней нет механизма (методики) реализации в принципе правильно сформулированной идеи, целей и задач выбора стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов;

- основное внимание уделено геологическому изучению недр и оценке современного состояния с обеспеченностью разведанными запасами различных видов минерального сырья, без учета геолого-технологического, экономических, природных и социально-экономических условий комплексного освоения месторождений сырьевых регионов России.

На основе многолетних фундаментальных и прикладных исследований института по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых сформулированы «Предложения Института горного дела УрО РАН по корректировке основных положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 г.», направленные в адрес Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования с готовностью принять участие в проведении исследований по разрабатываемой научно-технической программе «Развитие минерально-сырьевой базы и технологии добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

Суть этих предложений сводится к следующему.

1. Под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также средства и способы их добычи и переработки.

2. Стратегия освоения и социально-экономического развития территорий РФ должна дополняться принципом комплексного освоения территорий, сопровождающегося формированием минерально-сырьевых центров.

3. При разработке стратегии развития минерально-сырьевой базы следует обеспечить реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии,

и других, основанных на опережающем изучении и комплексной оценке дефицитных месторождений твердых полезных ископаемых, углей, редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр.

4. Стратегическим резервом являются минеральные ресурсы накопленных техногенных образований, извлечение и глубина переработки которых обосновывается экономически.

К числу основных научно-организационных мероприятий по эффективному освоению недр рекомендуется разработка региональных Программ освоения и развития минерально-сырьевой базы федеральных округов и субъектов РФ на период до 2030-2050 гг., основанных на принципах общегосударственного управления ресурсами.

Анализ обеспеченности стратегическими видами минерального сырья в части редких и редкоземельных металлов показал, что Россия может полностью заместить импорт минерального сырья за счет развития собственной МСБ стратегического минерального сырья, но:

- отечественные месторождения не разрабатываются в связи с низкой рентабельностью;
- комплексный состав руд и их трудная обогатимость;
- отсутствие рентабельной технологии.

Предложен перечень задач, которые могут быть предметом исследований:

1. Обоснование принципов проектирования технологий добычи и переработки руд стратегических металлов и разработка методов учета горно-технологических, природно-климатических, инфраструктурных особенностей и условий регионов освоения месторождений на основе принципов комплексного освоения территорий, сопровождающихся формированием минерально-сырьевых центров.

2. Реализация комплексного метода геолого-технолого-экономической оценки месторождений на основе:

- создания и использования совокупности геоинформационных моделей оцениваемых объектов;
- поэтапного технико-экономического обоснования параметров стратегий развития горнодобывающих предприятий;
- выявления системообразующих элементов минерально-сырьевой базы и формирования очередности вовлечения в отработку месторождений.

3. Обоснование инновационных технологий добычи и переработки руд по технологическим сортам и промышленным типам месторождений, использования минеральных ресурсов накопленных техногенных образований.

4. Разработка стратегий и программ освоения и развития минерально-сырьевой базы субъектов РФ и крупных добывающих предприятий, основанных на принципах общегосударственного управления ресурсами и обоснование способов и технологий освоения недр с привлечением широкого круга специалистов в области геологии, горного дела, металлургии, экономики и экологии.

Для выполнения этих задач необходимы:

1. Перечень месторождений, руды которых могут стать источником (промпродуктом) минерального сырья для последующих стратегий получения товарной продукции после добычи, рудоподготовки, обогащения и поставки металлургам и далее для предприятий обрабатывающих отраслей промышленности.

2. Данные о составе, объемах, качественной характеристике запасов месторождений, условиях и параметрах их залегания (т.е. подробные геологические сведения).

3. От кого мы все это можем получить (во взаимодействии с другими учеными (геологами, геохимиками, экономистами, металлургами, экологами и др.) и кому передавать результаты, т.е. знание всей «цепочки» от забоя до конечного потребителя.

#### Закключение.

На основе многолетних фундаментальных и прикладных исследований института по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых сформулированы «Предложения Института горного дела УрО РАН по корректировке основных положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 г.».

1. Под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также средства и способы их добычи и переработки.

2. Развитие МСБ должно быть увязано с перспективами освоения и социально-экономического развития территорий РФ и дополняться принципом комплексного освоения территорий, сопровождающегося формированием минерально-сырьевых центров.

3. Технологии добычи и глубокой переработки твердых полезных ископаемых должны обеспечивать реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии и других отраслей промышленности на основе опережающего изучения и комплексной оценки дефицитных месторождений редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр.

4. Предложен перечень научных задач, которые могут быть предметом дальнейших исследований института, включающий обоснование принципов проектирования технологий добычи и переработки руд стратегических металлов и разработка методов учета горно-технологических, природно-климатических, инфраструктурных особенностей и условий регионов освоения месторождений, определенных другими исполнителями Программы междисциплинарных исследований в целях содействия развитию отечественной минерально-сырьевой базы, ускоренному замещению импортных технологий и обеспечению сырьевого и технологического суверенитета.

5. Оценка минерально-сырьевого потенциала недр Российской Федерации должна быть пересмотрена с учетом изложенного в работах [4-5] методологического подхода при выделении приоритетных территорий для освоения месторождений стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев; отв. ред. Чемезов Е. Н.; ИГД Севера СО РАН. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 116 с.
2. Королев Ю.И., Боброва Л.В. Роль попутных компонентов при оценке промышленной значимости комплексных руд цветных металлов // Экон. минер. сырья и геологоразвед. работ: Обзор. - М.: ВИЭМС, 1988. - 67 с.
3. Геолого-экономическая оценка состояния и перспектив комплексного использования месторождений черных металлов / Ю.И. Королев, Л.З. Быховский, Л.В. Боброва, А.А. Сергеева // Экон. минер. сырья и геологоразвед. работ: Обзор. - М.: ВИЭМС, 1987. - 63 с.
4. Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / Под ред. член-корр. РАН Яковлева В.Л. // Екатеринбург: УрО РАН, 2018 – 360 с. – DOI: 10.25635/IM.2018.18.37360
5. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2019. – 284 с. – DOI: 10.25635/IM.2020.54.57311.
6. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы УрФО на 15.03.2021 г. (справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2021 г. № 049-00016-21-00)



## ОСОБЕННОСТИ РЫНКА КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ В РОССИИ

АНИСТРАТОВ К. Ю.<sup>1</sup>, ШИБАНОВ Д. А.<sup>2</sup>, ДОНЧЕНКО Т. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Горный институт КНЦ РАН, Апатиты

<sup>2</sup>Санкт-петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», г. Санкт-Петербург

**Аннотация.** Авторами статьи представлен анализ рынка канатных и гидравлических карьерных экскаваторов, основанный на материалах многолетних маркетинговых исследований, мониторинга динамики производства и поставок карьерной техники в Россию.

Проанализированы структура выпуска отечественных карьерных экскаваторов ПАО «УРАЛМАШЗАВОД» и ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова» за период 1980-2023 гг., а также динамика структуры импортных поставок канатных и гидравлических экскаваторов зарубежного производства в 2000-2023 гг. Представлены основные выводы по анализу динамики поставок карьерных экскаваторов на горнодобывающие предприятия России.

**Ключевые слова:** карьерные канатные экскаваторы, гидравлические экскаваторы, экскавация горной массы, рынок горного оборудования

## FEATURES OF THE MINING EXCAVATOR MARKET IN RUSSIA

ANISTRATOV K. YU.<sup>1</sup>, SHIBANOV D. A.<sup>2</sup>, DONCHENKO T. V.<sup>3</sup>

Federal Research Center "Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg

IZ-KARTEX, Saint Petersburg

**Abstract.** The article presents the market analysis of mining rope and hydraulic excavators based on long-term marketing researches, monitoring of production performance and supply of mining equipment to Russia.

The production structure of domestic mining rope shovels manufactured by URALMASHPLANT and P.G. Korobkov IZ-KARTEX for the period 1980-2023 was analyzed, as well as the dynamics of the import structure of the rope and hydraulic excavators in 2000-2023. The article presents the main conclusions on the analysis of the dynamics of supplies of mining excavators to mining enterprises in Russia.

**Keywords:** mining rope shovels, hydraulic excavators, rock mass excavation, mining equipment market

Разработка горных пород в карьере, представляющая собой выемку и погрузку горной массы в средства транспорта или перемещение рабочим органом машины и разгрузку в отвал, носит название **выемочно-погрузочных работ** или **экскавации горной массы**.

Для механизации этого процесса используются карьерные машины с различными технологическими и эксплуатационными характеристиками в зависимости от горнотехнических и природных условий разработки [1].

Разработка мягких вскрышных пород, угля и руд в умеренных климатических условиях ведется одноковшовыми экскаваторами без предварительного рыхления.

При разработке полускальных и скальных горных пород с предварительным рыхлением в любых климатических условиях применяют одноковшовые канатные и гидравлические механические лопаты типа [2]:

*ЭКГ - экскаватор карьерный гусеничный с канатным механизмом подъема ковша;*

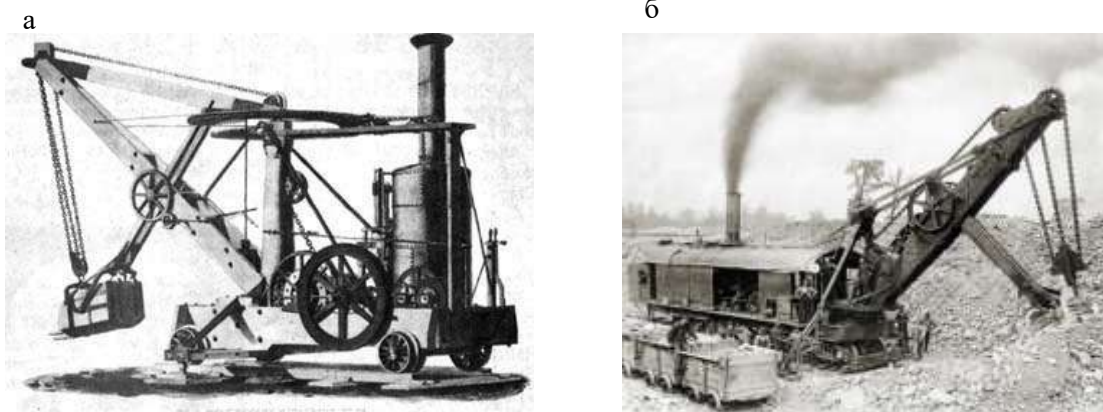
*ЭГ – экскаватор карьерный гусеничный с гидравлическим механизмом подъема ковша прямого копания;*

*ЭГО – экскаватор карьерный гусеничный с гидравлическим механизмом подъема ковша, оборудованный обратной лопатой.*

Одноковшовые механические лопаты - канатные и гидравлические - являются основным выемочно-погрузочным оборудованием на карьерах.

Первый экскаватор типа канатная механическая лопата был создан американским изобретателем Уильямом Смитом Отисом в 1834 г. (рис. 1).

В России первый экскаватор был построен на Путиловском заводе в 1901г. (рис. 2). Путиловский завод выпустил 39 экскаваторов по чертежам компании Bucyrus [3]. Это были механические неполноповоротные паровые лопаты на рельсовом ходу с ковшами вместимостью до 2,3 м<sup>3</sup>.



**Рис. 1. а - Первый паровой экскаватор Отиса, 1841 г.; б – Паровая российская механическая лопата «Путиловец» [3]**

В настоящее время на мировом рынке карьерных электрических экскаваторов представлены 35 базовых моделей канатных мехлопат с ковшами вместимостью от 5 до 75 м<sup>3</sup> и рабочей массой от 200 до 2000 т (табл. 1, 2, 3).

Основными производителями карьерных канатных механических лопат с ковшами вместимостью 5-60 м<sup>3</sup> с электрическим приводом являются четыре мировые машиностроительные группы:

ПАО «Уралмашзавод» и ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», входящие в группу промышленных активов ГПБ (АО) под управлением ООО УК «УЗТМ КАРТЭКС»;  
Фирма Caterpillar, поглотившая в 2011 г. Bucyrus International Inc. [3];

Фирма Komatsu, поглотившая в 2017 г. Joy Global, в состав которой входит машиностроительный завод R&H Mining Equipment в г. Милуоки, специализирующийся на производстве карьерной техники - канатных мехлопат и тяжелых буровых станков;

ТҮНІ - Тайюаньская машиностроительная компания (Китай).

Все модели канатных электрических экскаваторов производства УЗТМ, Komatsu (Joy Global) и ТҮНІ оснащаются речным напором с двухбалочной рукоятью.

Продуктовая линейка одноковшовых мехлопат с речным напором ПАО «Уралмашзавод» включает модели экскаваторов ЭКГ-5А, ЭКГ-12, ЭКГ-20 и ЭКГ-35 (табл. 1, 2, 3) [4, 5].

С 2016 г. УЗТМ наладил серийный выпуск экскаваторов типа ЭКГ- 18(20) с полезной нагрузкой в ковше 40 т с ковшом вместимостью 16-22 м<sup>3</sup> (табл. 2) и поставил до 2023 г. на карьеры 53 ед.[6].

Наивысшая месячная производительность ЭКГ-20 с ковшом 20 м<sup>3</sup> (по SAE 2:1), достигнутая на разрезе «Кедровский» АО «УК «Кузбассразрезуголь» в июле 2019 г. при погрузке в самосвалы Белаз 75306 грузоподъемностью 220 т полускальных взорванных пород плотностью в массиве 2,3 т/м<sup>3</sup>, составила 1090 тыс. м<sup>3</sup>. На разрезе «Березовский» АО «Стройсервис» ЭКГ-18 (зав. №6, рис. 2) при двухсторонней погрузке в самосвалы Komatsu 830E грузоподъемностью 231 т достиг месячной производительности 1018 м<sup>3</sup>/мес. [7].

В 2018 г. УЗТМ запустил в эксплуатацию первый ЭКГ-35 с полезной весовой нагрузкой 63,5 т с ковшом 33 м<sup>3</sup> на разрезе «Красный Брод» АО УК «Кузбассразрезуголь». К 2023 г. изготовлено 4 ед. ЭКГ-35.

Современная продуктовая линейка ООО «ИЗ КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова» включает экскаваторы с ковшом 10-35 м<sup>3</sup> с полезной весовой нагрузкой до 63 т с традиционным для завода канатным напором.

Начиная с 1957 г. ООО «ИЗ КАРТЭКС» в общей сложности изготовил более 3860 ед. ЭКГ-8, ЭКГ-10, ЭКГ-15 и ЭКГ-20 с канатным напором в различных модификациях, из которых более 1000 находятся в эксплуатации. Также в линейку завода входят модификации экскаваторов с двухбалочной ЭКГ-18Р и однобалочной рукоятью ЭКГ-32Р (табл. 2).

В начале 1970-х годов гидравлические экскаваторы за счёт простоты в управлении и более высокой производительности полностью вытеснили на землеройных работах в строительной отрасли своего предшественника — экскаватор на тросах (канатах) и лебёдках.

С 1990-х годов прошлого века начался интенсивный спрос на карьерные гидравлические экскаваторы. Гидравлические машины первоначально полностью вытеснили канатные экскаваторы на мировом рынке в классах машин с ковшом 4-12 м<sup>3</sup>, а в настоящее время успешно конкурируют в более тяжелых классах выемочно-погрузочного оборудования 15-56 м<sup>3</sup> [8, 9].



Рис. 2. Экскаватор ЭКГ-18 №6 с ковшом вместимостью 20 м<sup>3</sup> (SAE 2:1) в забое с погрузкой в автосамосвалы 231,2 Komatsu 830E т на разрезе «Березовский» ЗАО «Стройсервис»

**Таблица 1. Классификация карьерных электрических экскаваторов**

| Производитель             | Страна  | Класс по вместимости ковша, куб. м (полезная нагрузка, т) |                  |                   |                    |                   |                      |
|---------------------------|---------|---|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
|                           |         | 4-5   | 10-12            | 15-25             | 30-35              | 45-60             | 70-80                |
| Полезная нагрузка, т      | весовая | 8-10  | 18-24            | 30-50             | 60-70              | 90-100            | 110-130              |
| Рабочая масса, т          |         | 190-250   | 380-450          | 700-800           | 1000-1200          | 1300-1600         | 1900-2200            |
| P&H                       | США     |   | 1900 AI (18 т)   | 2300ХРС (45 т)    | 2800ХРС (59 т)     | 4100С (82 т)      | 4800ХРС (123 т)      |
|                           |         |   |                  |                   | 2650СХ (65 т)      | 4100С Boss (91 т) | 4100ХРС (109 т)      |
| Caterpillar               | США     |   | 7182 (18 т)      | 7295 (45 т)       | 7395 (70 т)        | 7495HD (81 т)     | 7495, HF, HR (110 т) |
|                           |         |   |                  |                   |                    |                   |                      |
| ИЗ-КАРТЭКС                | Россия  |   | ЭКГ-10 (20 т)    | ЭКГ-15М (32,5 т)  | ЭКГ-32Р/35К (63 т) |                   |                      |
|                           |         |   | ЭКГ-12К (24 т)   | ЭКГ-18Р/20К(40 т) |                    |                   |                      |
|                           |         |   |                  | ЭКГ-20КМ (50 т)   |                    |                   |                      |
| Уралмашзавод              | Россия  | ЭКГ-5А (10 т)   | , ЭКГ-12А (24 т) | ЭКГ-20 (40 т)     | ЭКГ-35(63 т)       |                   |                      |
| Taiyuan Heavy Industry Co | Китай   | WK-4 (8 т)  | WK-12А (22 т)    | WK-20(36 т)       | WK-27 (49 т)       | WK-55 (99 т)      | WK-75 (130 т)        |
|                           |         |   |                  |                   | WK-35 (63 т)       |                   |                      |

**Таблица 2. Основные технические характеристики карьерных канатных одноковшовых экскаваторов, представленных на предприятиях РФ**

| Модель  | Вместимость ковша (**при насыпной плотности 1,8 т/м <sup>3</sup> ), м <sup>3</sup> | Полезная весовая нагрузка, т | Мощность сетевого трансформатора, кВА | Масса рабочая, т |
|---|--|------------------------------|---------------------------------------|------------------|
| ПАО «Уралмашзавод»  |  |                              |                                       |                  |
| ЭКГ-5А  | 5**  | 10                           | 250                                   | 196              |
| ЭКГ-12  | 12**   | 24                           | 1250                                  | 655              |
| ЭКГ-18 (20)   | 18**   | 40                           | 1250                                  | 750              |
| ЭКГ-35  | 35**   | 63                           | 3000                                  | 1 250            |
| ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова»                               |  |                              |                                       |                  |
| ЭКГ-10  | 10**   | 20                           | 800                                   | 395              |
| ЭКГ-12К   | 12**   | 24                           | 1000                                  | 410              |
| ЭКГ-15  | 15**   | 27                           | 1 250                                 | 695              |
| ЭКГ-18Р/20К   | 20   | 40                           | 1250                                  | 710/700          |
| ЭКГ-18РМ/20КМ   | 25   | 50                           | 1600                                  | 760/780          |
| ЭКГ-32Р/35К   | 32/35  | 64                           | 2000                                  | 1 050            |
| Komatsu (P&H Mining Equipment, США)                               |  |                              |                                       |                  |
| 2300ХРС   | 18,3-25,5  | 45,4                         | 2000                                  | 775-787,5        |
| 2800ХРС   | 26,8-33,6  | 59                           | 2750                                  | 1079-1084        |
| 4100С   | 45,9   | 81,6                         | 3000                                  | 1243-1247        |
| 4100С BOSS  | 44,3   | 90,7                         | 3300                                  | 1410-1424        |
| Caterpillar (* модели Bucyrus, США)                               |  |                              |                                       |                  |
| 7495 HD (495 HD*)   | 27,5-60,4  | 82                           | 3330                                  | 1306,3           |
| ТҮНІ — ОАО «Тайюанская тяжеломашиностроительная компания» (Китай) |  |                              |                                       |                  |
| WK-20   | 16-34  | 36                           | 2240                                  | 792              |
| WK-35   | 25-54  | 60,6                         | 2400                                  | 1065             |

В настоящее время шестью мировыми производителями - Liebherr, Komatsu, Hitachi, Caterpillar, Hyundai и Volvo - выпускается более 30 основных моделей гидравлических

экскаваторов с дизельным и электрическим приводом типа прямая и обратная лопата (табл. 3) рабочей массой 70-1200 т при вместимости ковша от 3,5 до 56 м<sup>3</sup> [5, 8].

За последние 10 лет Китайские заводы освоили линейку карьерных гидравлических экскаваторов с ковшом от 4 до 35 м<sup>3</sup> и массой от 70 до 673 т: XCMG (60-673 т), SANY (60-210 т), LIUGONG (массой 60-125 т) ZOOMLION (60-80 т) [10-12].

За период с 2000 г. - с первых поставок гидравлических экскаваторов в Россию - поставлено в общей сложности более 3000 ед. экскаваторов с ковшом 3,5-38 м<sup>3</sup>.

ПАО «УРАЛМАШЗАВОД» в 2019 г. в рамках реализации программы освоения производства карьерных гидравлических экскаваторов изготовило опытный образец типа УГЭ-300 рабочей массой 302 т с рабочим оборудованием прямой лопаты с ковшом 16 м<sup>3</sup>, опытно-промышленные испытания которого начались на разрезе ООО «Барзасское товарищество» АО «Стройсервис» (рис. 3) [13].

На заводе АО БелАЗ в 2023 г. изготовлен опытный образец карьерного экскаватора с ковшом 12 м<sup>3</sup> весового класса 200 т ВХ-20012 (рис. 4) [14]. Планируется достичь серийного выпуска до 12 ед. этих машин в год.



Рис. 3. Карьерный гидравлический экскаватор УГЭ 300 с рабочим оборудованием прямой лопаты с ковшом 16 м<sup>3</sup> на разрезе ООО «Барзасское товарищество» АО «Стройсервис» в 2019 г.



Рис. 4. Карьерный гидравлический экскаватор БелАЗ ВХ-20012 с ковшом 12 м<sup>3</sup> (насыпная плотность в ковше 1,78т/м<sup>3</sup>), мощность двигателя 1167 л.с., вырывное усилие 770кН

Таблица 3. Классификация карьерных гидравлических экскаваторов, поставленных на мировой и российский рынок в 2008-2021 гг.

| Наименование<br>фирмы<br>производителя<br>экскаваторов | Класс гидравлических экскаваторов       |                                       |                      |                                       |                      |                      |                      |                      |
|--|---|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|  | I                                       | II                                    | III                  | IV                                    | V                    | VI                   | VII                  | VIII                 |
|  | Вместимость ковша, м <sup>3</sup>       |                                       |                      |                                       |                      |                      |                      |                      |
|  | 4-5 м <sup>3</sup>                      | 7-8 м <sup>3</sup>                    | 10-12 м <sup>3</sup> | 15-18 м <sup>3</sup>                  | 21-22 м <sup>3</sup> | 25-28 м <sup>3</sup> | 34-36 м <sup>3</sup> | 40-42 м <sup>3</sup> |
|  | Рабочая масса, т                        |                                       |                      |                                       |                      |                      |                      |                      |
|  | 70-90 т                                 | 100-125 т                             | 170-200 т            | 250-300 т                             | 350-400 т            | 450-550 т            | 550-650 т            | 700-800 т            |
| БелАЗ  |   |                                       | <b>ВХ-20012</b>      |                                       |                      |                      |                      |                      |
| УЗТМ   |   | <b>УГЭ 110*</b>                       | <b>УГЭ-200*</b>      | <b>УГЭ-300</b>                        |                      |                      |                      |                      |
| Caterpillar  | CAT 374,<br>CAT 395,<br>CAT 390         | CAT 6015                              | CAT 6020             | CAT 6030                              | CAT 6040             |                      | CAT 6060             |                      |
| Komatsu  | PC 800                                  | PC 1250                               | PC 2000              | PC 3000,<br>PC-3400                   | PC 4000              | PC 5500              |                      | PC-7000,<br>PC 8000  |
| Hitachi  | ZX 870                                  | EX 1200                               | EX 1900              | EX 2600                               | EX 3600              | EX 5600              |                      | EX 8000              |
| Liebherr   | R 972,<br>R-978,<br>R 992               | R 998,<br>R 9100,<br>R 9150<br>R 9150 | R 9200               | R 9250,<br>R9300,<br>R 9350<br>R 9350 | R 9400               |                      | R 9600               | R 9800               |
| Hyundai  | R 850                                   | R 1200                                |                      |                                       |                      |                      |                      |                      |
| Volvo  | EC 750,<br>EC-950                       |                                       |                      |                                       |                      |                      |                      |                      |
| XCMG   | XE-700,<br>XE-800,<br>XE-900,<br>XE-950 | XE-1250,<br>XE-1350                   | XE-2000,<br>XE-200E  | XE-2800E,<br>XE-3000                  | XE-4000,<br>XE-4000E |                      |                      | XE-7000,<br>XE-7000E |
| Liugong  | 970E, 990F                              | 9125F                                 |                      |                                       |                      |                      |                      |                      |
| SANY   | SY-700H,<br>SY-750H,<br>SY950H          |                                       |                      |                                       |                      |                      |                      |                      |
| ZOOMLION   | ZE750G,<br>ZE950G                       | ZE1250G                               |                      |                                       |                      |                      |                      |                      |

Анализ мировых поставок карьерной техники свидетельствует о наличии системной цикличности, которая соответствует подъёмам и спадам мировой экономики (рис. 5-7).

На рис. 5 представлена диаграмма изменения индекса PARKER BAY, отражающая динамику спроса на горное оборудование в мире. Индекс рассчитывается исходя из мирового объема выпуска горного оборудования всех типов поквартально. Базовый показатель 1Q 2007 г. (первого квартала 2007 г.) принят равным 100. Периодичность максимумов и минимумов спроса (поставок) на горное оборудование за 2007-2023 гг. составляет шесть-семь лет [15].

Динамика объемов поставок на карьерные экскаваторы и самосвалы в мире и России соответствует этим циклам (рис. 6, 7, 10,11).

Для структуры поставок карьерных экскаваторов характерна стабилизация соотношения спроса на канатные и гидравлические экскаваторы на уровне 15-17 % в классах с ковшом более 10 м<sup>3</sup> (рис. 8) [8].

Мировые лидеры горного машиностроения Komatsu и Caterpillar удерживают долю канатных экскаваторов с ковшами более 25 м<sup>3</sup> на уровне 15-25%, традиционно поставляя мощные электрические машины с полезной нагрузкой более 50-100 т на крупные карьеры по добыче угля, нефтеносных песчаников и железной руды [16].

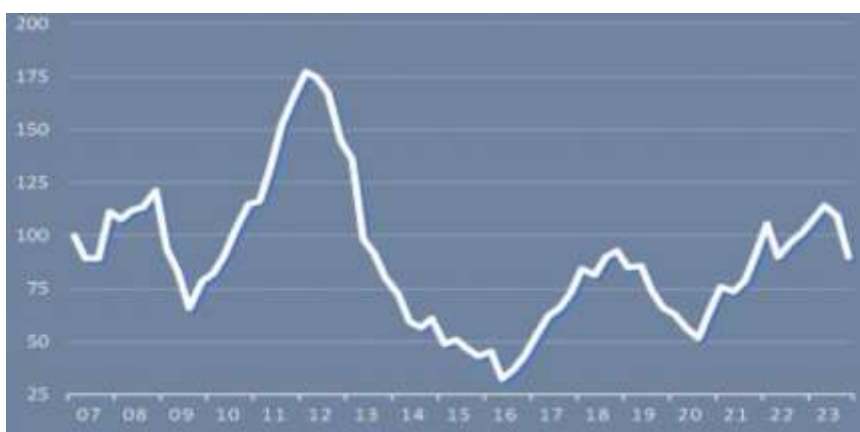


Рис. 5. Динамика индекса Parker Bay в 2007-2023 гг. на карьерную технику

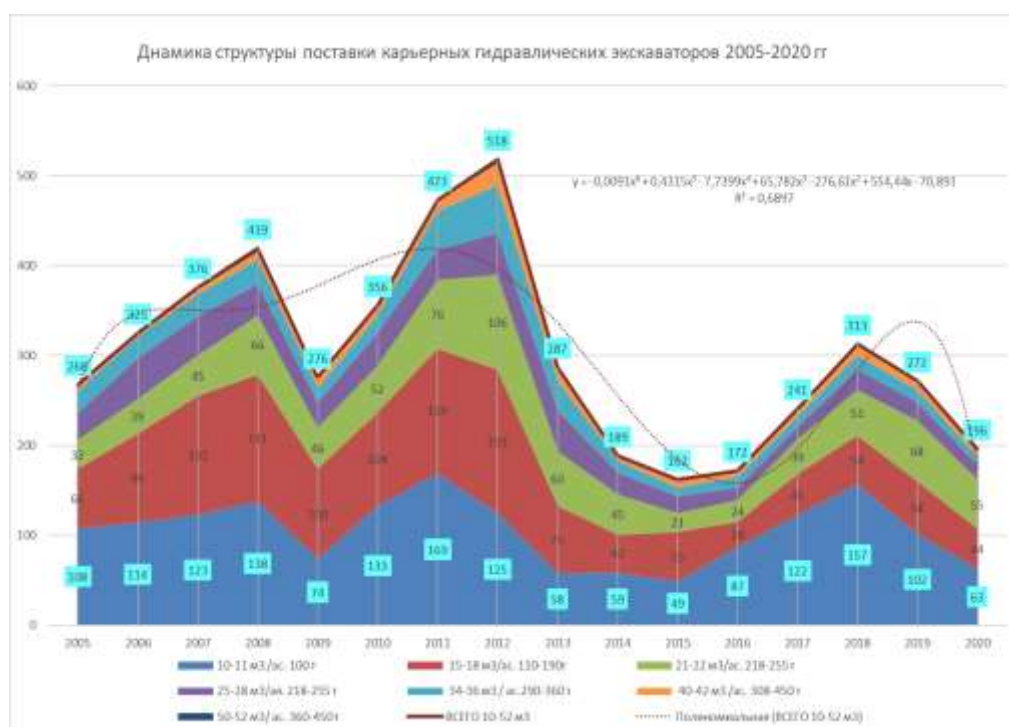


Рис. 6. Динамика поставок карьерных гидравлических экскаваторов в мире в классах вместимости ковша более 10 м<sup>3</sup> (весовых классов более 200 т)

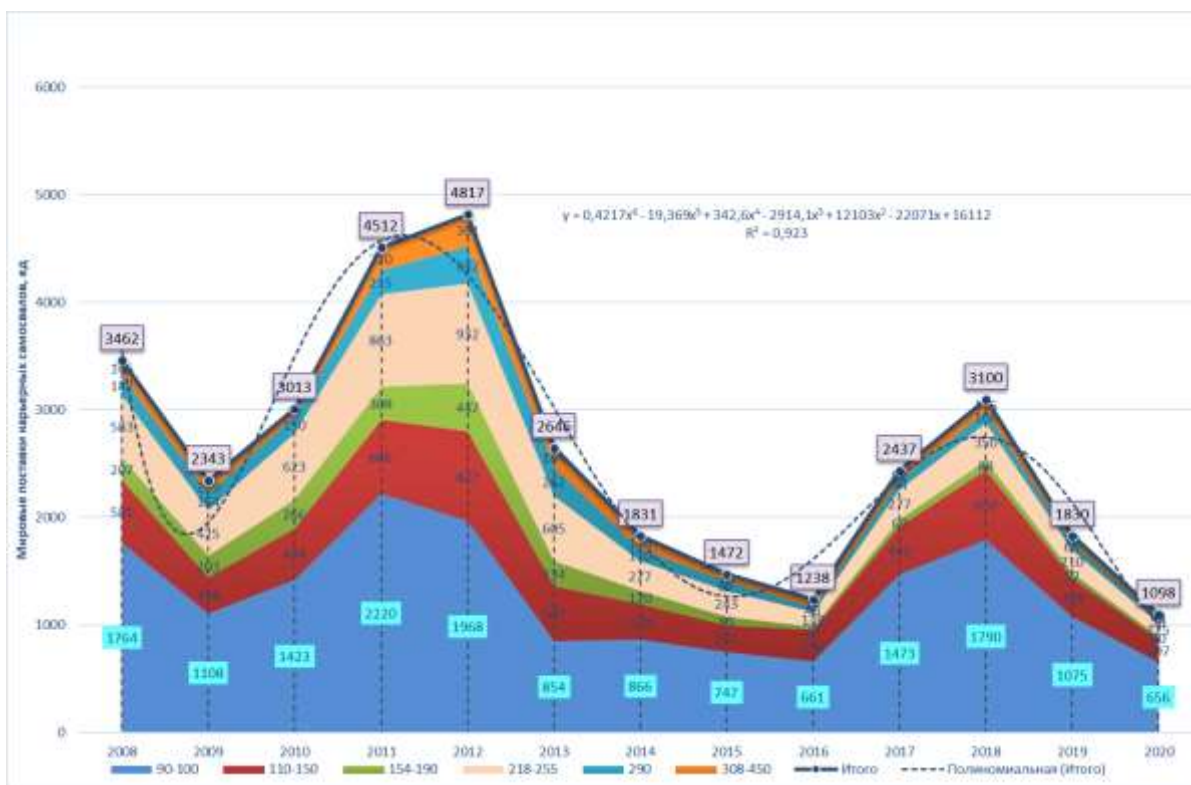


Рис.7. Динамика структуры карьерных самосвалов по классам грузоподъемности 90-380 т в течение 2008-2020 гг. (факт)

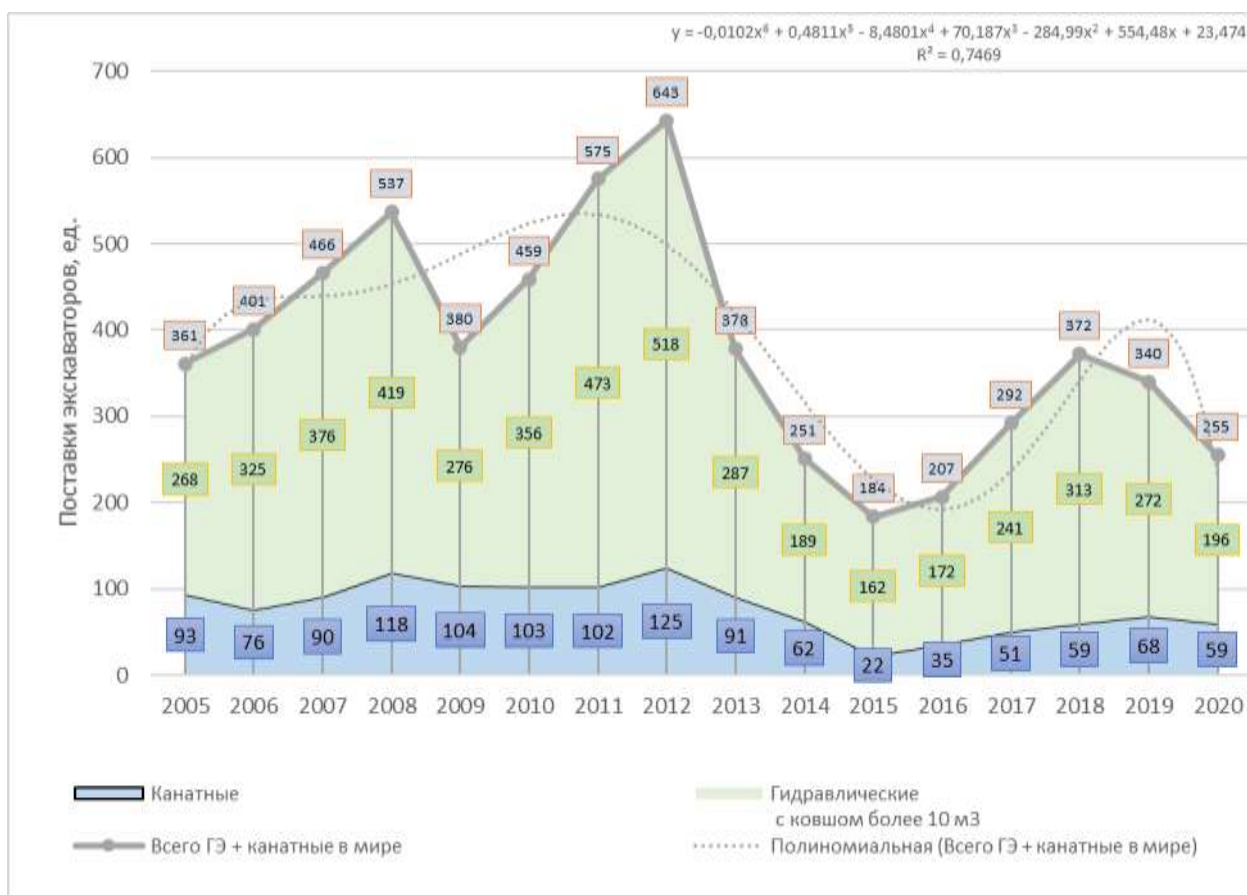


Рис. 8. Изменение структуры мировых поставок канатных и гидравлических экскаваторов с ковшом более 10 м³ и канатных - более 20 м³



В период 1980-1991 г. на заводах России: УЗТМ, ИЗ КАРТЭКС, КРАЗТЯЖМАШ выпускалось ежегодно более 400 ед. канатных электрических экскаваторов типа ЭКГ-5 (ЭКГ-4,6), ЭКГ-8, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5, ЭКГ-20. При этом основной объем производства составлял: ЭКГ- 5 на УЗТМ - до 376 ед. в год и ЭКГ-8 на ИЗ КАРТЭКС - до 134 ед. в год (рис. 9) [8].

Изготовленные отечественным горным машиностроением карьерные экскаваторы типа ЭКГ с ковшом 5-20 м<sup>3</sup> в течение более 25 лет составляли основу парков карьеров России и стран СНГ.

Объем отечественного производства экскаваторов в 1996-2004 гг. сократился до 4-17 шт. в год, и только с 2005 г. начались системные поставки отечественных ЭКГ на карьеры России и стран СНГ (рис.9).

За период 2005-2022 гг. на горнодобывающие предприятия РФ поставлено 364 канатных экскаваторов с объемом ковша более 10 м<sup>3</sup> (табл. 4), в том числе ИЗ-КАРТЭКС-201 ед. , Уралмашзавод -72 ед, P&H (Komatsu) – 31 ед. , Caterpillar (Bucyrus) - 2 ед. Taiyuan - 29 ед. (табл.4, рис. 10).

В 2023 г. на карьеры поставлен 31 канатный отечественный экскаватор и 8 ед. китайских (табл.4).

Уход с рынка России фирм Komatsu и Caterpillar расширяет возможность наращивания объемов поставок отечественных канатных экскаваторов производства УЗТМ и ИЗ КАРТЭКС.

**Первые гидравлические экскаваторы** зарубежного производства начали поступать на предприятия России с 2001 г. [17], в дальнейшем вытесняя парк выбывающих канатных машин типа ЭКГ отечественного производства (табл. 5, рис. 11).

Парки карьерных гидравлических экскаваторов горнодобывающих предприятий России полностью сформированы из машин зарубежных производителей. (рис. 12)

За период с 1999 г. в страну ввезено 3049 ед. гидравлических экскаваторов с ковшами 4-36 м<sup>3</sup>, за последние 10 лет - 2013-2023 - 2144 ед.

За 2022-2023 гг. на горные предприятия России поставлено в общей сложности 499 карьерных экскаваторов с ковшом 4-25 м<sup>3</sup> (рабочей массой 70-500 т, табл. 5).

Основными поставщиками карьерных гидравлических экскаваторов на рынок России являются четыре крупнейших лидера, контролирующих мировой рынок в период 2013-2023 гг.: Komatsu - 34%; Hitachi - 22%, Caterpillar - 10%, Liebherr - 9%, Hyundai - 9%, китайские производители – 10% (рис. 12). За последние два года (2022-2023 гг.) доля китайских производителей выросла до 40% за счет поставок экскаваторов классов 70 и 110 т (рис. 13)

На долю экскаваторов с ковшом 4-5 м<sup>3</sup> приходится 51% и 7-8 м<sup>3</sup> – 34%, всего объема поставок за последние 10 лет (в целом 85% по количеству, рис.11,14).

Эти два класса гидравлических экскаваторов наиболее востребованы во всех отраслях горнодобывающей промышленности. Они работают на карьерах в комплекте с самосвалами грузоподъемностью от 30 до 100 т, что определяет структуру и объемы потребления самосвалов в этих классах грузоподъемности.

Динамика спроса на карьерные гидравлические экскаваторы в России характеризуется цикличностью в 6-7 лет. Диаграмма на рис. 11 отражает четыре цикла подъема спроса: 2007 г., 2011-2012 гг., 2017 г (рекордный) и 2021 г. (послепандемийный).

Циклы спроса также соответствуют срокам эффективной эксплуатации гидравлических экскаваторов, которые для машин с ковшом 4-8 м<sup>3</sup> составляют 5-7 лет. Поэтому за периодами падения и отложенного спроса следуют резкие взлеты потребности в новых экскаваторах.

Исходя из укрупненных расчетов на основе сроков службы гидравлических экскаваторов, общий действующий парк гидравлических экскаваторов с ковшами 4-36 м<sup>3</sup> оценивается в 1000 ед.

## Выводы

1. Основу парков канатных экскаваторов карьеров России - 83% - составляют машины производства ООО «ИЗ КАРТЭКС им П.Г. Коробкова» и ПАО «УРАЛМАШЗАВОД».

2. Поставки карьерных гидравлических экскаваторов в Россию полностью обеспечивались мировыми машиностроительными компаниями: Komatsu, Hitachi, Liebherr, Caterpillar. С 2022 г. доля китайских производителей XCMG, SANY, Liugong и др. увеличилась до 40%.

3. Уход мировых производителей с рынка карьерной техники открывает возможности для роста объемов производства канатных экскаваторов машиностроительных заводов под управлением ООО УК «УЗТМ КАРТЭКС» и свидетельствует о необходимости скорейшей реализации программы освоения серийного производства карьерных гидравлических экскаваторов в классах 4-5 м<sup>3</sup> (весовой класс 70-80 т), 7-8 м<sup>3</sup> (100-110 т), 10-12 м<sup>3</sup> (200 т) и 15-18 м<sup>3</sup> (300 т).

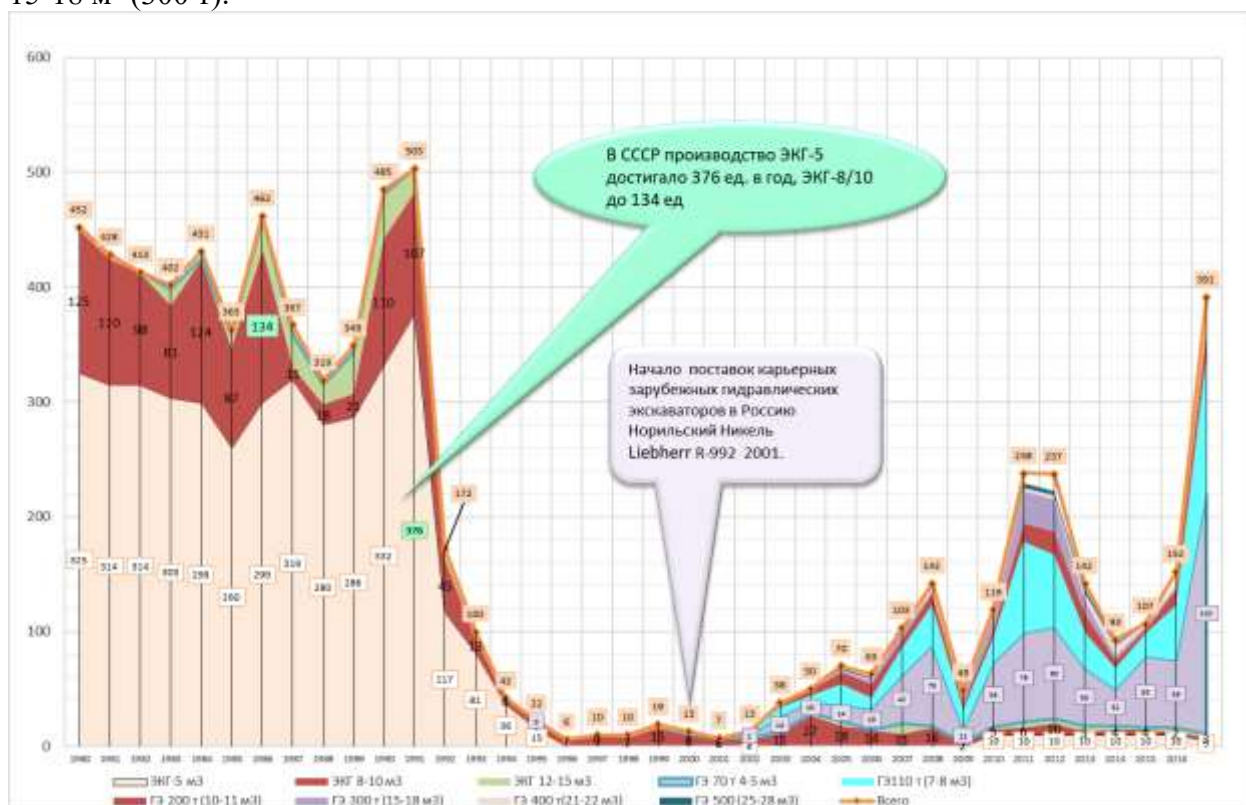


Рис. 9. Диаграмма структуры производства канатных карьерных экскаваторов типа ЭКГ на заводах СССР/России в 1980-2017 гг. и поставок зарубежных гидравлических экскаваторов в 2001 -2017 гг.

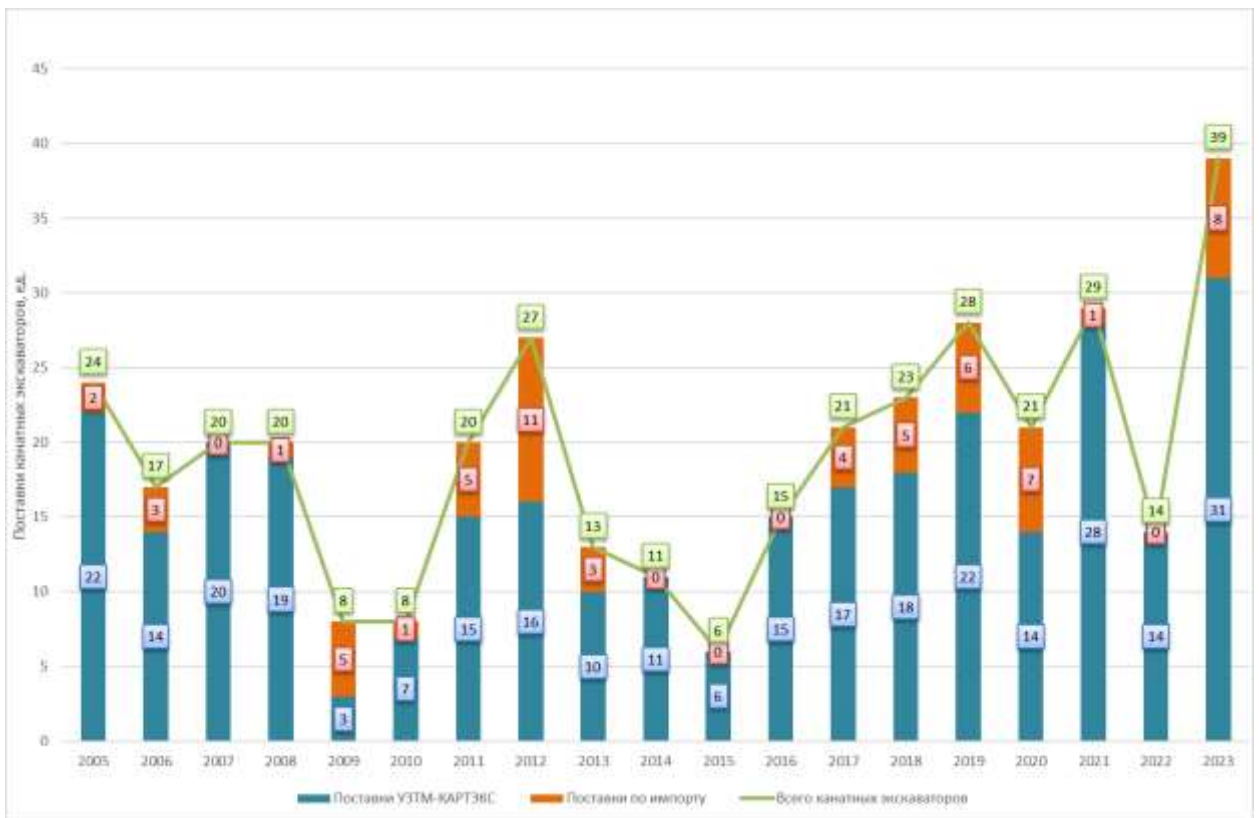


Рис. 10. Динамика поставок канатных карьерных экскаваторов на горные предприятия России

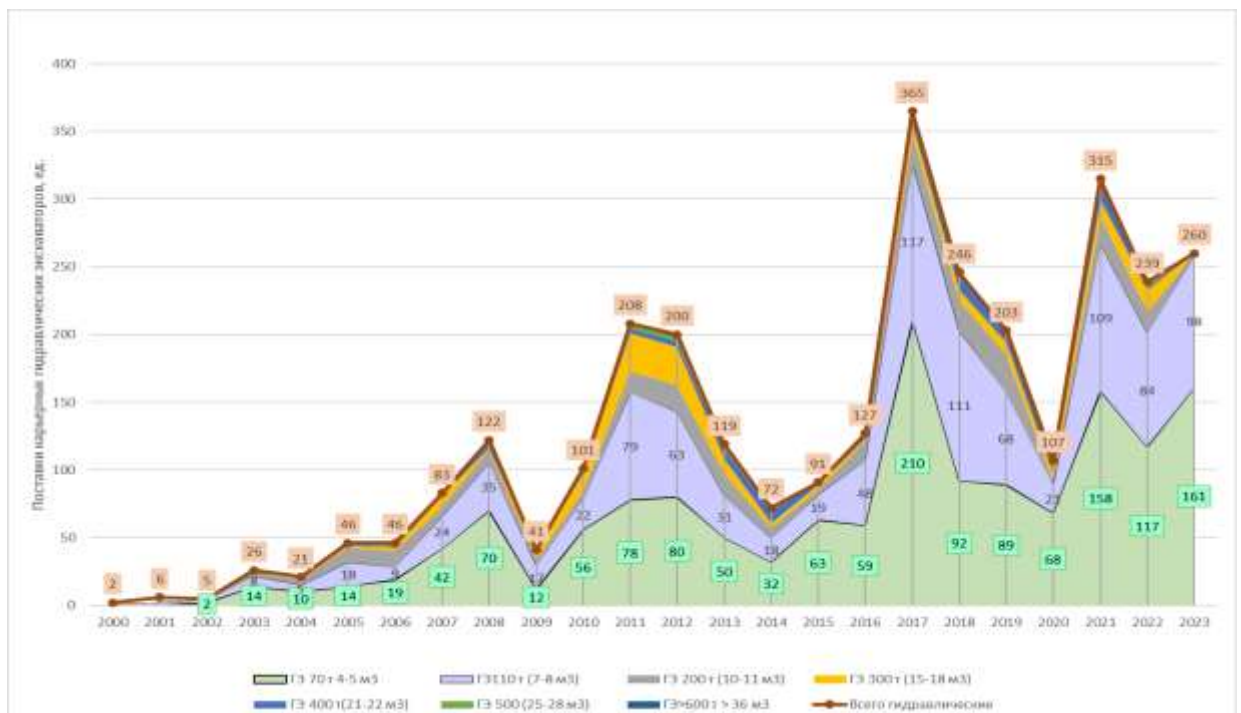


Рис. 11. Поставки гидравлических карьерных экскаваторов с объемом ковша 4-40 м³ на рынок РФ в 1999-2023 гг.

Таблица 4. Поставки отечественных и зарубежных карьерных канатных экскаваторов на рынок РФ

| Производители и модели         | Класс                      | Поставки на горные предприятия РФ и ИЗ КАРТЭКС, шт. |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           | Итого 2013-2023 | Итого 2005-2023 |
|--------------------------------|----------------------------|---|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
|                                |                            | 2013  | 2014      | 2015     | 2016      | 2017      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021      | 2022      | 2023      |                 |                 |
| <b>ИЗ-КАРТЭКС</b>              |                            |   |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           |                 |                 |
| ЭКГ-10                         | 10-12 м <sup>3</sup>       | 3   | 4         | 4        | 2         | 3         | 1         | 1         | 1         | 1         | 2         | 5         | 27              | 109             |
| ЭКГ-12К/12                     | 10-12 м <sup>3</sup>       | 3   | 2         |          | 1         | 1         | 1         | 6         | 3         | 6         | 4         | 12        | 39              | 50              |
| ЭКГ-15                         | 15-25 м <sup>3</sup>       | 1   | 2         | 2        | 2         | 2         | 4         | 6         | 1         | 2         | 2         | 7         | 31              | 34              |
| ЭКГ-18Р/20К/20КМ               | 15-25 м <sup>3</sup>       | 1   | 1         |          | 2         | 2         |           |           |           | 12        | 6         | 5         | 29              | 34              |
| ЭКГ-32Р                        | 30-35 м <sup>3</sup>       |   | 1         |          | 1         |           |           |           |           |           |           |           | 2               | 3               |
| <b>ИТОГО ИЗ-КАРТЭКС:</b>       |                            | <b>8</b>  | <b>10</b> | <b>6</b> | <b>8</b>  | <b>8</b>  | <b>6</b>  | <b>13</b> | <b>5</b>  | <b>21</b> | <b>14</b> | <b>29</b> | <b>128</b>      | <b>230</b>      |
| <b>Уралмашзавод</b>            |                            |   |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           |                 |                 |
| ЭКГ-12                         | 10-12 м <sup>3</sup>       | 1   |           |          | 1         |           |           |           |           |           |           |           | 2               | 15              |
| ЭКГ-18/20                      | 18-22 м <sup>3</sup>       | 1   | 1         |          | 6         | 9         | 11        | 8         | 8         | 6         |           | 2         | 52              | 53              |
| ЭКГ-35                         | 30-40 м <sup>3</sup>       |   |           |          |           |           | 1         | 1         | 1         | 1         |           |           | 4               | 4               |
| <b>ИТОГО Уралмаш:</b>          | <b>10-40 м<sup>3</sup></b> | <b>2</b>  | <b>1</b>  | <b>0</b> | <b>7</b>  | <b>9</b>  | <b>12</b> | <b>9</b>  | <b>9</b>  | <b>7</b>  | <b>0</b>  | <b>2</b>  | <b>58</b>       | <b>72</b>       |
| <b>Всего УЗТМ-КАРТЭКС в РФ</b> | <b>10-35 м<sup>3</sup></b> | <b>10</b>   | <b>11</b> | <b>6</b> | <b>15</b> | <b>17</b> | <b>18</b> | <b>22</b> | <b>14</b> | <b>28</b> | <b>14</b> | <b>31</b> | <b>186</b>      | <b>302</b>      |
| <b>Р&amp;Н</b>                 |                            |   |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           |                 |                 |
| Р&Н 2300                       | 15-25 м <sup>3</sup>       | 2   |           |          |           |           |           | 1         | 5         | 1         |           |           | 9               | 16              |
| Р&Н 2800                       | 30-40 м <sup>3</sup>       | 1   |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           | 1               | 13              |
| Р&Н 4100                       | 45-60 м <sup>3</sup>       |   |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           | 0               | 2               |
| <b>ИТОГО Р&amp;Н:</b>          |                            | <b>3</b>  | <b>0</b>  | <b>0</b> | <b>0</b>  | <b>0</b>  | <b>0</b>  | <b>1</b>  | <b>5</b>  | <b>1</b>  | <b>0</b>  |           | <b>10</b>       | <b>31</b>       |
| <b>Caterpillar</b>             |                            |   |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           |                 |                 |
| Вусурус 495                    | 45-60 м <sup>3</sup>       |   |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           | 2               | 2               |
| <b>ИТОГО Caterpillar:</b>      |                            |   | <b>0</b>  | <b>0</b> | <b>0</b>  | <b>0</b>  | <b>0</b>  | <b>1</b>  | <b>5</b>  | <b>1</b>  | <b>0</b>  |           | <b>2</b>        | <b>2</b>        |
| <b>Taiyuan</b>                 |                            |   |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           |                 |                 |
| WK-20                          | 15-25 м <sup>3</sup>       |   |           |          |           | 2         | 2         | 3         | 1         |           |           | 2         | 10              | 10              |
| WK-35                          | 30-40 м <sup>3</sup>       |   |           |          |           | 2         | 3         | 2         | 1         |           |           | 6         | 14              | 19              |
| <b>ИТОГО Taiyuan:</b>          |                            | <b>0</b>  | <b>0</b>  | <b>0</b> | <b>0</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>5</b>  | <b>2</b>  | <b>0</b>  | <b>0</b>  | <b>8</b>  | <b>24</b>       | <b>29</b>       |
| <b>ИТОГО:</b>                  |                            | <b>16</b>   | <b>11</b> | <b>6</b> | <b>15</b> | <b>21</b> | <b>23</b> | <b>29</b> | <b>26</b> | <b>30</b> | <b>14</b> | <b>39</b> | <b>222</b>      | <b>364</b>      |

Таблица 5. Динамика поставок карьерных гидравлических экскаваторов на рынок РФ в 2013-2023 гг.

|                                  | 2013       | 2014      | 2015      | 2016       | 2017       | 2018       | 2019       | 2020       | 2021       | 2022       | 2023       | 2013-23     | 2000-23     |
|----------------------------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| ГЭ 70 т 4-5 м <sup>3</sup>       | 50         | 32        | 63        | 59         | 210        | 92         | 89         | 68         | 158        | 117        | 161        | 1099        | 1496        |
| ГЭ110 т (7-8 м <sup>3</sup> )    | 31         | 18        | 19        | 48         | 117        | 111        | 68         | 21         | 109        | 84         | 98         | 724         | 1008        |
| ГЭ 200 т (10-11 м <sup>3</sup> ) | 16         | 7         | 4         | 14         | 20         | 22         | 28         | 3          | 20         | 16         | 1          | 151         | 245         |
| ГЭ 300 т (15-18 м <sup>3</sup> ) | 11         | 4         | 3         | 2          | 8          | 8          | 9          | 6          | 12         | 16         | 0          | 79          | 168         |
| ГЭ 400 т(21-22 м <sup>3</sup> )  | 7          | 9         | 2         | 4          | 10         | 12         | 9          | 9          | 15         | 2          | 0          | 79          | 95          |
| ГЭ 500 (25-28 м <sup>3</sup> )   | 4          | 2         | 0         | 0          | 0          | 1          | 0          | 0          | 1          | 4          | 0          | 12          | 30          |
| ГЭ>600 т > 36 м <sup>3</sup>     | 0          | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0           | 3           |
| <b>Всего</b>                     | <b>119</b> | <b>72</b> | <b>91</b> | <b>127</b> | <b>365</b> | <b>246</b> | <b>203</b> | <b>107</b> | <b>315</b> | <b>239</b> | <b>260</b> | <b>2144</b> | <b>3049</b> |

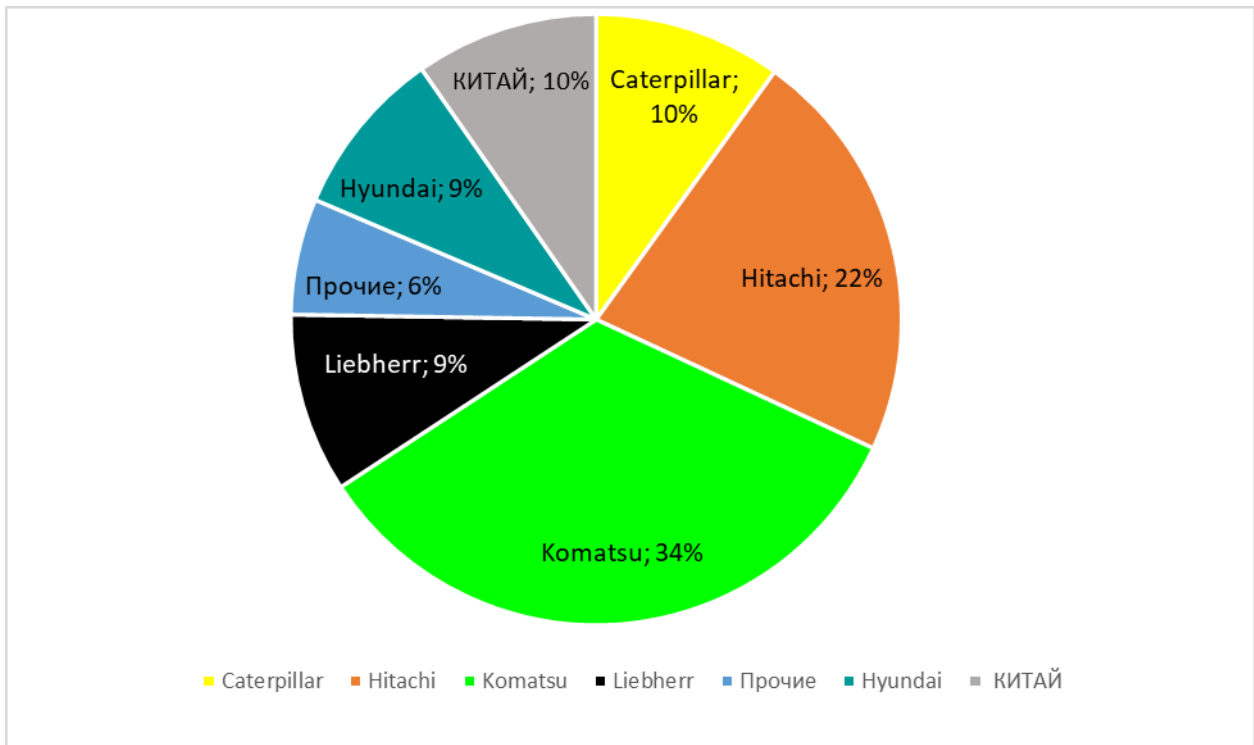


Рис. 12. Структура поставок карьерных гидравлических экскаваторов в Россию за период 2010-2023 гг. по производителям в количественном выражении

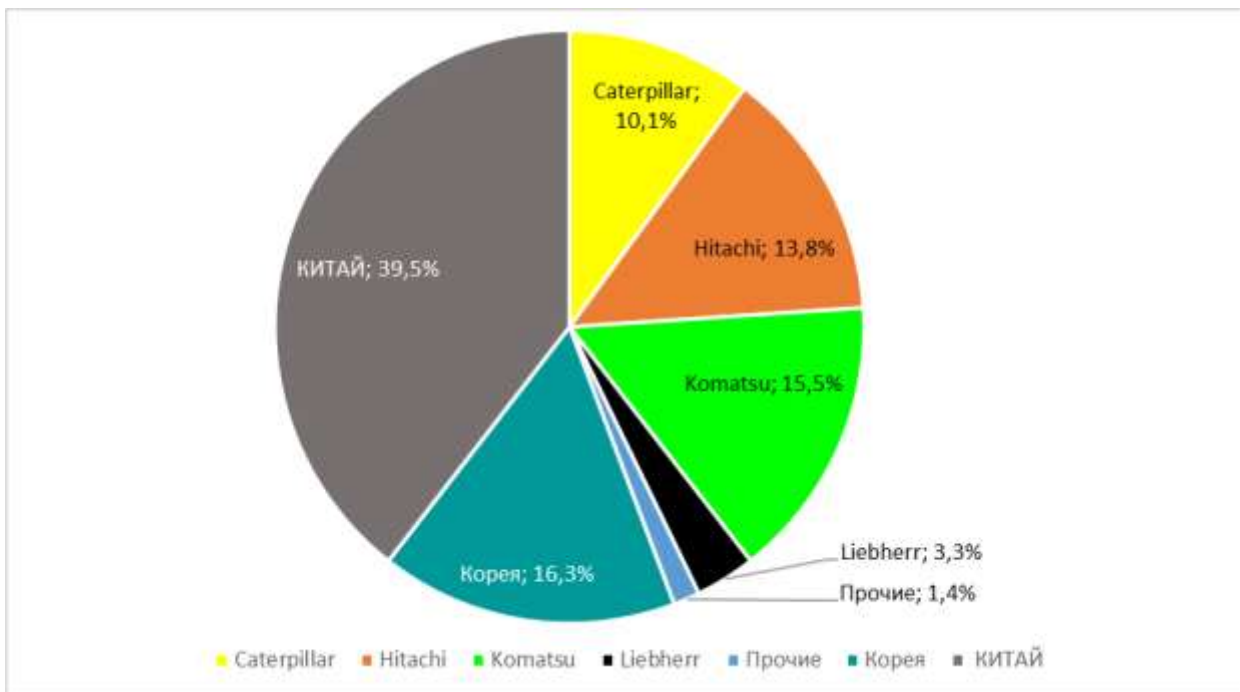


Рис. 13. Структура поставок карьерных гидравлических экскаваторов в Россию за период 2022-2023 гг. по производителям в количественном выражении

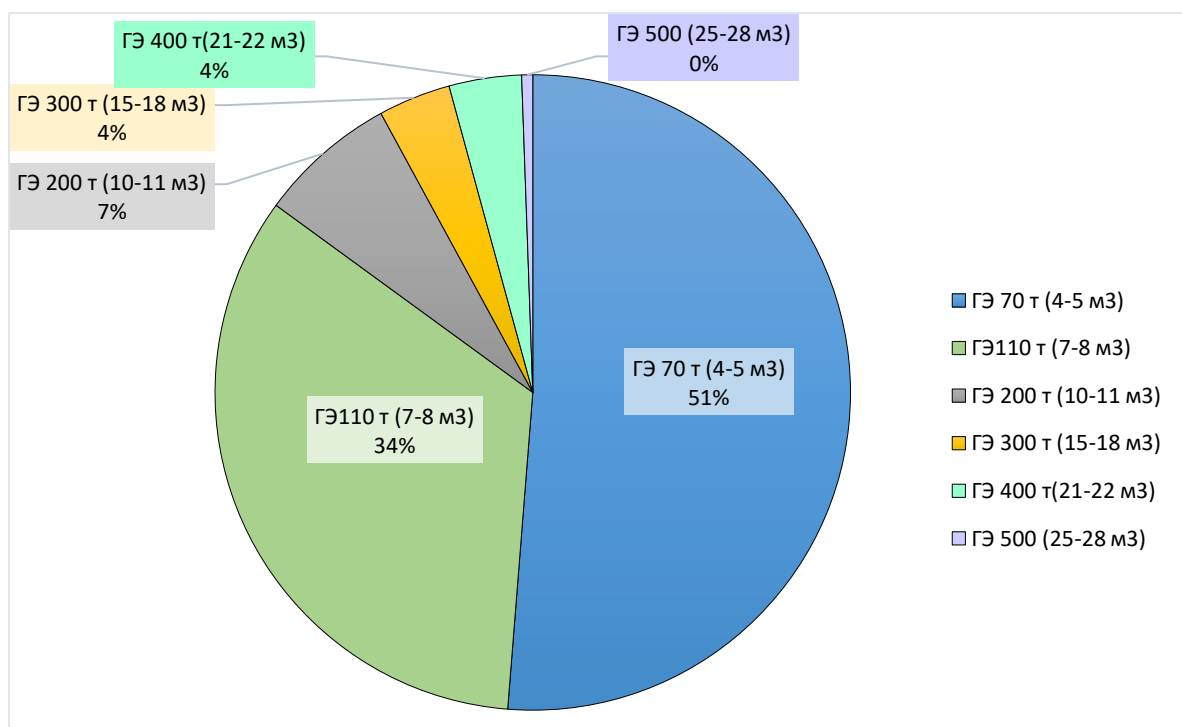


Рис. 14. Структура поставок карьерных гидравлических экскаваторов в Россию за период -2013-2023 гг. по классам вместимости ковша

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 2 / Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. и другие. Под ред. Анистратова К.Ю.: М., ООО «Система максимум», 2019. 872 с.: ил.
2. ГОСТ 26980-95 Экскаваторы одноковшовые. Общие технические условия.
3. Анистратов К.Ю., Лукашкин Д.В. Компания Viscurus Inc. История горного машиностроения. Мировая горная промышленность: история, достижения, перспективы. Сборник аналитических статей под редакцией К. Ю. Анистратова. – Т. 2. – М.: НПК «Горное Дело», 2013. С 365-379.
4. Кузнецов А.Л., Анистратов К.Ю., Карьерные экскаваторы ПАО «Уралмашзавод» – настоящее и будущее российской горнодобывающей промышленности. Уголь. 9, 2016 с. 77-81.
5. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю., Сытенков В.Н., Донченко Т.В. Разработка горных пород одноковшовыми механическими лопатами Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 1. Под ред. Анистратова К.Ю. М., ООО «Система максимум», 2019. С.233-259.
6. Анистратов К.Ю. Анализ эффективности применения экскаваторов УЗТМ-КАРТЭКС на карьерах. Горная промышленность №5, 2019 с.20-26. <https://mining-media.ru/ru/article/anonsy/15203-analiz-effektivnosti-primeneniya-ekskavatorov-uztm-karteks-na-karerakh>
7. Макаров В.Н., Анистратов К.Ю. Достижение наивысших рекордных показателей месячной производительности ЭКГ-18 на разреза ЗАО «Стройсервис». Уголь, январь 2019, с. 20-26.
8. Анистратов К.Ю. Тенденции в развитии техники и технологии открытых горных работ. . Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 1. Под ред. Анистратова К.Ю. М., ООО «Система максимум», 2019. С. 20-31.
9. Анистратов К.Ю. Мировые тенденции развития структуры парка карьерной техники / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. – 2011. – №6. – С. 22-24.
10. Карьерные экскаваторы XCMG [https://xcmgmining.ru/product/ekskavatory/ekskavatory-karernye/?PAGEN\\_1=2](https://xcmgmining.ru/product/ekskavatory/ekskavatory-karernye/?PAGEN_1=2)
11. Карьерные Экскаваторы Liugong, <https://liugongrussia.ru/catalog/category/ekskavatory>
12. Карьерные экскаваторы Sany. [https://sanyi.pro/vehicle\\_type/excavators/](https://sanyi.pro/vehicle_type/excavators/)
13. В Кузбассе начались испытания УГЭ-300 <https://sdelanounas.ru/blogs/121986/>
14. Экскаватор. BELAZ GLOBAL №1/2023 . С. 28-31. [file:///E:/Журнал%20Белаз%20Глобал/BELAZ-GLOBAL\\_3\\_2023.pdf](file:///E:/Журнал%20Белаз%20Глобал/BELAZ-GLOBAL_3_2023.pdf)
15. PARKER BAY SURFACE MINING EQUIPMENT INDEX <https://parkerbaymining.com/#>

16. Анистратов К.Ю., Анистратов М.К., Борщ-Компаниец Л.В., Петросян Р.Р. Анализ рынка карьерных экскаваторов и самосвалов в России и странах СНГ. Мировая горная промышленность: история, достижения, перспективы. Сборник аналитических статей под редакцией К. Ю. Анистратова. – Т. 2. – М.: НПК «Горное Дело», 2013. С 71-76.
17. Анистратов К.Ю., Донцов А.П., Кривощёков С.Н., LIEBHERR R-992 на Кайерканском разрезе Норильского Комбината. «Горная промышленность» №3 – 2001.
18. Mine 2022 A critical transition/ Июнь 22 PwC Global Mine report. file:///C:/Users/KONSTANTIN/Downloads/1368240-mine-2022-a-critical-transition-june-2022.pdf

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ В УСЛОВИЯХ ГУП «МОНЕТНЫЙ ЩЕБЕНОЧНЫЙ ЗАВОД»

ДУБСКИХ Ю. А.<sup>1</sup>, ЛЕЛЬ Ю. И.<sup>2</sup>, СТИХИН А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Протол», Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** Рассмотрены результаты испытания электронной системы инициирования зарядов (ЭСИ) AVidet компании AVGroup в условиях карьера ГУП «Монетный щебеночный завод». Произведено сравнение себестоимости взрывных работ при использовании ЭСИ и применяемой в настоящее время неэлектрической системы инициирования Искра. Установлено, что, несмотря на удорожание взрывных работ, ЭСИ имеет перспективы на отечественных карьерах в связи с улучшением качества дробления горной массы, снижением сейсмического воздействия взрыва и повышением производительности горнотранспортного оборудования.

**Ключевые слова:** карьер, буровзрывные работы, электронная система инициирования, гранулометрический состав, себестоимость взрывных работ, выход негабарита.

## TEST RESULTS OF THE ELECTRONIC CHARGE INITIATION SYSTEM IN THE CONDITIONS OF THE STATE UNITARY ENTERPRISE "COIN CRUSHED STONE PLANT"

DUBSKIKH YU. A.<sup>1</sup>, LEL Yu. I.<sup>2</sup>, STIKHIN A. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО "Protol", Yekaterinburg

<sup>2</sup>Ural State Mining University, Yekaterinburg

**Annotation.** The results of testing the AVGroup AVidet electronic charge initiation system (ESI) in the conditions of the GUP "Coin Crushed Stone Plant" quarry are considered. The cost of blasting operations using the ASI and the currently used non-electric Spark initiation system are compared. It has been established that, despite the increase in the cost of blasting, ESI has prospects in domestic quarries due to improved quality of crushing rock mass, reduced seismic impact of the explosion and increased productivity of mining equipment.

**Keywords:** quarry, drilling and blasting, electronic initiation system, granulometric composition, cost of blasting, oversized output.

В настоящее время на карьере Монетного щебеночного завода применяется неэлектрическая система взрывания Искра с использованием детонаторов с фиксированным значением замедления. Недостаток системы заключается в том, что она не позволяет регулировать грансостав взорванной горной массы, сейсмическое воздействие взрывов на окружающую среду и параметры развала горной массы. Эти проблемы, как показывает зарубежный опыт, решаются использованием электронных систем инициирования зарядов (ЭСИ). Электронная система инициирования AVidet компании AVGroup была использована подрядной организацией ООО «Протол» для производства опытного



взрыва на карьере Монетного щебеночного завода в августе 2023 г. Электронная система взрывания AVidet предназначена для инициирования боевиков в скважинных (шпуровых) зарядах с программируемым замедлением детонаторов. Точностью инициирования ( $\pm 0,02\%$ ) позволяет исключить одновременное взрывание скважинных зарядов и взрывание зарядов в зажатой среде. При этом каждому детонатору можно задать свой период замедления и менять его до осуществления взрыва. В отличие от классических средств взрывания, запрограммированных на определенный интервал срабатывания, действие AVidet регулируется непосредственно на месте проведения взрывных работ, что позволит производить взрыв поэтапно.

ЭСИ AVidet состоит из электронного детонатора, монтажного провода, регистратора «Логгер», взрывной машинки «Бластер 3000», программного обеспечения «Shot Plus» («Open Plus») и шашки детонатора ПТ-П500.

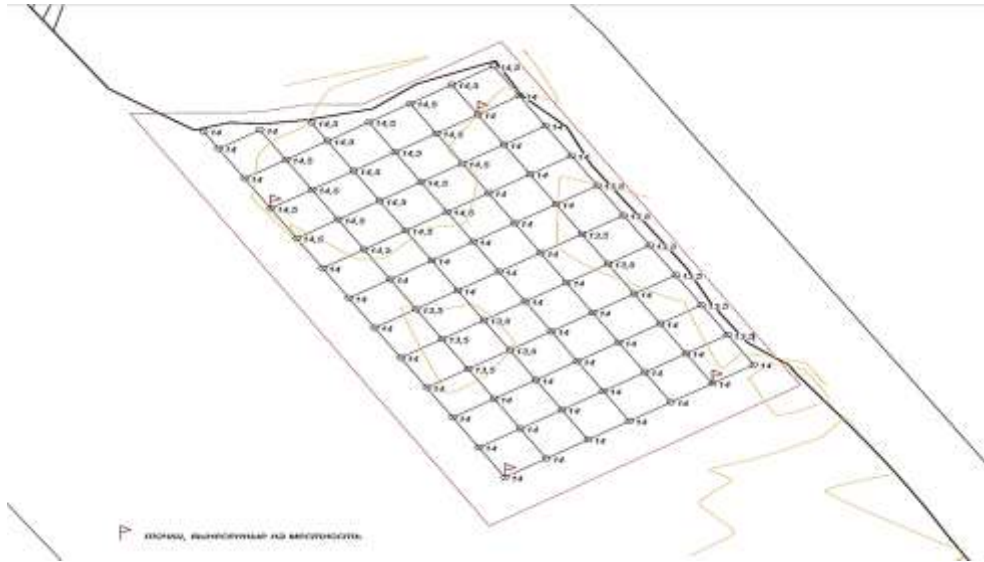
Преимущества ЭСИ AVidet заключаются в следующем:

1. Точная настройка и большой диапазон выбора замедлений (от 1 мс до 30 с) позволяет производить взрывы от самых быстрых до самых медленных.
2. Отсутствует поверхностная схема инициирования, а, следовательно, исключается вероятность подбоя.
3. Коррозионностойкая биметаллическая гильза обеспечивает надежность взрывных работ в самых тяжелых условиях.
4. Сопротивление воздействию ударной нагрузки увеличивается на 10 % по сравнению с применяемой гильзой из CuZn в НСИ, что снижает вероятность отказов из-за динамических ударов.
5. Оборудование ЭСИ способно проверять каждый детонатор на работоспособность, что исключает отказы.
6. Оборудование ЭСИ позволяет производить инициирование взрыва дистанционно. Оператор может находиться до 2000 м от взрывного блока.
7. Программа «Shot Plus» («Open Plus») обеспечивает возможность визуализации проекта взрыва. Можно создать эмпирическую модель фрагментации, вибрации от взрываемого блока, карту ударно-волнового и сейсмического воздействия от взрыва группы скважин.

Параметры взрываемого блока при испытании ЭСИ приведены в табл. 1 и на рис. 1.

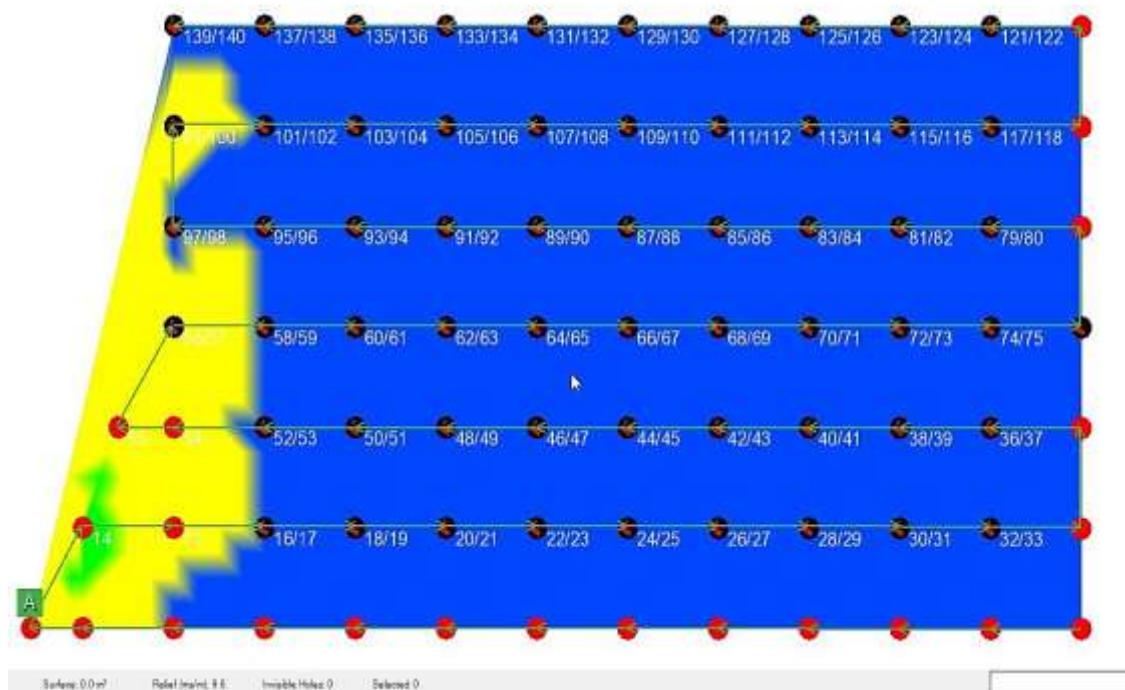
**Таблица 1. Параметры взрываемого блока**

| Параметр                                   | Значение       |
|--|----------------|
| Модель бурового станка                     | СБШ-200МНА     |
| Диаметр скважины, мм                       | 220            |
| Высота уступа, м                           | 12             |
| Взрываемые породы                          | Гранодиориты   |
| Крепость пород по шкале М.М. Протодяконова | 12             |
| Категория пород по трещиноватости          | IV             |
| Категория пород по взрываемости            | IV             |
| Длина перебура, м                          | 2              |
| Длина забойки, м                           | 4,5            |
| Длина заряда, м                            | 9,5            |
| Взрывчатое вещество                        | Протолит Э-100 |
| Плотность ВВ, г/см <sup>3</sup>            | 1,38           |
| Вместимость скважины, кг/м                 | 52,4           |
| Вес заряда в скважине, кг                  | 498,3          |
| Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>      | 1,5            |
| Расчетная сетка скважин, м×м               | 5,2×5,2        |
| Объем породы со скважины, м <sup>3</sup>   | 332,2          |
| Объем взрывного блока, м <sup>3</sup>      | 26 283         |
| Пробурено скважин на блоке, шт.            | 81             |
| Количество боевиков, шт.                   | 2              |



**Рис. 1. Паспорт экспериментального взрывного блока № 23-23**

На рис. 2 приведена схема программирования скважин при использовании ЭСИ.



**Рис. 2. Схема программирования скважин при использовании ЭСИ**

В табл. 2, 3, 4 и 5 приведены результаты расчета стоимости взрывных работ при использовании различных систем инициирования, а также их сравнительная экономическая оценка.

**Таблица 2. Расчет стоимости взрывных работ при использовании неэлектрической системы инициирования зарядов (НСИ) «Искра»**

| Статьи затрат                  | Ед. измерения | Количество | Цена, руб. | Стоимость, руб.  |                    |
|--------------------------------|---------------|------------|------------|--|--------------------|
|                                |               |            |            | на взрывной блок ( $V_{\text{бл}} = 26283 \text{ м}^3$ ) | на $1 \text{ м}^3$ |
| Эмульсионное ВВ Протолит Э-100 | кг            | 39424,5    | 55         | 2 168 347,50   | 82,50              |
| Средства взрывания:            |               |            |            |  |                    |
| тротиловые шашки               | шт.           | 168        | 571,0      | 96 114,14  | 3,66               |
| НСИ-скваж. – 5 м               | шт.           | 79         | 151,2      | 11 969,44  | 0,46               |
| НСИ-скваж. – 14 м              | шт.           | 79         | 210,41     | 16 656,69  | 0,09               |
| НСИ-скваж. – 6 м               | шт.           | 79         | 227,20     | 17 985,83  | 0,68               |
| НСИ-скваж. – 500 м             | шт.           | 2,0        | 5023,50    | 10 042,00  | 0,38               |
| Оплата труда персонала         |               |            |            | 60 092,00  | 2,29               |
| Доставка взрывчатых материалов |               |            |            | 2 2200,00  | 0,84               |
| Накладные расходы              |               |            |            | 367 962,00   | 14,00              |
| Планируемая прибыль            |               |            |            | 394 245,00   | 15,00              |
| <b>Итого: взрывные работы</b>  |               |            |            | <b>3 165 619,60</b>                                      | <b>120,44</b>      |

**Таблица 3. Расчет стоимости взрывных работ при использовании электронной системы инициирования зарядов (ЭСИ) AVidet**

| Статьи затрат                  | Ед. измерения | Количество | Цена, руб. | Стоимость, руб.   |                    |
|--------------------------------|---------------|------------|------------|---|--------------------|
|                                |               |            |            | на взрывной блок ( $V_{\text{бл}} = 26 283 \text{ м}^3$ ) | на $1 \text{ м}^3$ |
| Эмульсионное ВВ Протолит Э-100 | кг            | 39 424,5   | 55         | 2 168 347,50  | 82,50              |
| Средства взрывания:            |               |            |            |   |                    |
| тротиловые шашки               | шт.           | 168        | 571        | 96 114,14   | 3,66               |
| ЭСИ-скваж. – 5 м               | шт.           | 79         | 4000       | 316 000,00  | 12,02              |
| ЭСИ-скваж. – 14 м              | шт.           | 79         | 4000       | 316 000,00  | 12,02              |
| провод ВП+вытяжка 500 м        | м             | 916        | 42,30      | 38 763,61   | 1,47               |
| Оплата труда персонала         |               |            |            | 60 092,00   | 2,29               |
| Доставка взрывчатых материалов |               |            |            | 22 200,00   | 0,84               |
| Накладные расходы              |               |            |            | 367 962,00  | 14,00              |
| Планируемая прибыль            |               |            |            | 394 245,00  | 15,00              |
| <b>Итого: взрывные работы</b>  |               |            |            | <b>3 780 376,21</b>                                       | <b>143,83</b>      |

**Таблица 4. Расчет стоимости разделки негабарита при использовании различных систем инициирования зарядов**

| Показатели   | Система инициирования зарядов |              |
|--|-------------------------------|--------------|
|  | НСИ (Искра)                   | ЭСИ (AVidet) |
| Выбор негабарита, %  | 4,0                           | 1,5          |
| Объем негабарита при взрывании блока ( $V_{\text{бл}} = 26283 \text{ м}^3$ ), $\text{м}^3$ | 919,9                         | 394,2        |
| Стоимость разделки негабарита гидромолотом, руб/ $\text{м}^3$                              | 56,94                         | 56,94        |
| Затраты на разделку негабарита, руб.   | 52 382,46                     | 22 449,62    |

**Таблица 5. Сравнительная оценка различных систем инициирования зарядов в условиях карьера ГУП «Монетный щебеночный завод»**

| Показатели  | Система инициирования зарядов |              |
|---|-------------------------------|--------------|
|   | НСИ (Искра)                   | ЭСИ (AVidet) |
| Стоимость, руб.:  |                               |              |
| взрывных работ  | 3 165 619,60                  | 3 780 376,21 |
| разделки негабарита                                     | 52 382,46                     | 22 449,62    |
| Стоимость взрывных работ с учетом разделки негабарита : |                               |              |
| руб.  | 3 218 002,06                  | 3 802 825,83 |
| руб/ $\text{м}^3$                                       | 122,44                        | 144,69       |
| %   | 100                           | 118,2        |

## Выводы

1. Применение ЭСИ приводит к удорожанию взрывных работ на 18,2 %. Это в первую очередь обусловлено высокой стоимостью компонентов зарубежной системы. Стоимость их в 15,8 раз выше стоимости средств взрывания НСИ Искра. Если средства взрывания в себестоимости НСИ Искра составляет 1,3 %, то в себестоимости ЭСИ AVi-det – 25,4 %.

2. При использовании ЭСИ увеличивается время заряжания взрывного блока, так как после заряжания каждый детонатор подвергался проверке. В свою очередь отсутствие поверхностной схемы инициирования облегчает монтаж скважин.

3. Применение ЭСИ повышает качество дробления горной массы (выход негабарита сокращается в 2,7 раза), что приводит к увеличению производительности горно-транспортного оборудования и ДСК.

4. ЭСИ позволяет снизить сейсмическое воздействие взрыва в 1,5–2,0 раза, что обеспечивает повышение безопасности ведения взрывных работ в карьерных условиях.

5. Применение ЭСИ позволяет совершенствовать параметры БВР (увеличивать сетку скважин) без снижения качества дробления.

6. В целом опыт применения ЭСИ на карьере Монетного щебеночного завода можно считать положительным. Он свидетельствует о необходимости разработки и внедрения более дешевых отечественных аналогов системы, в том числе соответствующего программного обеспечения. ЭСИ является новым этапом совершенствования БВР, основанном на применении современных информационных технологий.

В первую очередь внедрение ЭСИ рекомендуется на карьерах с большой производительностью по горной массе, имеющих собственные взрывные подразделения.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ БУРОВОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

РЕГОТУНОВ А. С.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье приведены результаты сравнительного анализа распространенных моделей буровой техники шарошечного и ударно-вращательного действия российского и зарубежного производства, применяемых в настоящее время на карьерах России и СНГ. Сформулированы достоинства и недостатки рассмотренной техники. В целях наибольшей адаптации к сложившимся условиям ведения горных работ на карьерах обозначены основные направления совершенствования отечественного бурового оборудования.

**Ключевые слова:** адаптация, карьер, шарошечное бурение, ударно-вращательный способ бурения, технические показатели.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN DRILLING EQUIPMENT FOR OPEN- PIT MINING

REGOTUNOV A. S.

Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg

**Abstract.** The article presents the results of a comparative analysis of common models of drilling equipment of spherical and impact-rotational action of Russian and foreign production, currently used in quarries in Russia and the CIS. The advantages and disadvantages of the considered technique are formulated. In order to best adapt to the prevailing conditions of mining operations in quarries, the main directions for improving domestic drilling equipment are outlined.

**Keywords:** adaptation, quarry, roller drilling, down-the-hole drilling method, technical indicators.

При освоении открытым способом месторождений твердых полезных ископаемых широко применяется бурение взрывных скважин шарошечными буровыми станками. В России и СНГ объем шарошечного бурения составляет более 90 % и в перспективе указанный способ бурения сохранит свои позиции на открытых горных работах.

В условиях санкционных ограничений, введенных западными странами, в ближайшее время необходимо наладить производство шарошечных буровых станков по техническому уровню, превосходящему зарубежную буровую технику. Следует учитывать при проектировании буровых станков и инструмента новые физические эффекты и явления, стремясь таким образом устранить недостатки устаревшей техники и максимально адаптировать параметры новых буровых станков к сложившимся условиям на карьерах [1-2].

Таблица 1 – Технические характеристики отечественных и зарубежных шарошечных буровых станков для бурения на карьерах

| Характеристика                                | СБШ-250МНА-32 (СБШ250МН) | СБШ-250МНА-32 КП | СБШ -270ИЗ                     | SWDRT250                                | KY-200B            | DML                         | Pit Viper 270 |
|---|--------------------------|------------------|--------------------------------|---|--------------------|-----------------------------|---------------|
| Завод изготовитель                            | ОАО «Рудгормаш» (Россия) |                  | ОАО «Ижорские заводы» (Россия) | SUNWARD (Китай)                         | FIELDCHIEF (Китай) | EPIROC (Швеция)             |               |
| Диаметр скважины, мм                          | 244,5;269,9              | 250;270;311      | 250;270                        | 220-270                                 | 150-200            | 170-270                     | 200-270       |
| Длина штанги, м                               | 8                        | 18               | 11                             | 10                                      |                    | 9,1/10,7                    | 12,2/16,76    |
| Глубина бурения, м                            | 32                       | 34               | 32                             | 48                                      | 17                 | 54,9 или 53,3               | 60 или 30     |
| Усилие подачи, кН                             | 300                      | 350              | 450                            | 220-290<br>(есть пневмоударное бурение) | 160                | 272                         | 340           |
| Скорость подъема бурового снаряда, м/мин      | 15                       | 24               | 16                             | 63                                      | 20                 | 0-62,5                      | 0-48,2        |
| Скорость вращения, об/мин/момент вращения,кНм | 0-120/10                 | 0-120/13         | 0-120/13                       | 0-120                                   | 0-120              | 0-105/ 12,2;<br>105-160 /7, | 0-150/ 11,8   |
| Подача компрессора, м <sup>3</sup> /мин       | 32                       | 50               | 38                             | 36                                      | 32                 | 34,0;45,3;53,8              | 53,8          |
| Дизельный привод                              | нет                      | нет              | нет                            | да                                      | да                 | да                          | да            |
| Электропривод                                 | есть                     | есть             | есть                           | нет                                     | нет                | Нет                         | нет           |
| Скорость передвижения, км/час                 | 1,8                      | 1,8              | 1,5                            | 2                                       | 1                  | 0-2,7                       | 0-1,8         |
| Направление бурения к вертикали, градус       | 0;15;30                  | 0;15;30          | 0;15;30                        | 60-90                                   | 90                 | 0-30°                       | 0-30°         |
| Масса станка, т                               | 80                       | 110              | 136                            | 55-60                                   | 48                 | 50                          | 80            |

Таблица 2 – Технические характеристики отечественных и зарубежных станков ударно-вращательного действия для бурения на карьерах

| Характеристика             | D545          | ECD-45E                | CM358A (D)          | JD-800 ER            | KL511                 | KT11S                 | Буран 1                        | Буран 1А            | СБУ-100ГА-50     |
|----------------------------|---------------|------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|------------------|
| Производитель              | ZEGA<br>(КНР) | EVERDIGM<br>(Ю. Корея) | JINKE<br>(Ю. Корея) | JUNJIN<br>(Ю. Корея) | KAISHAN<br>(Ю. Корея) | KAISHAN<br>(Ю. Корея) | Амурский металлист<br>(Россия) |                     | КМО<br>(Россия)  |
| Частота ударов, Гц         | 43            | 50                     | 50                  | 33-50                | 41                    | 40                    | 23                             | 23                  | 22-25            |
| Мощность удара, кВт        | 25            | 21                     | 20                  | 20                   | 23,4                  | 23                    | 13,6                           | 13,6                | 2,8 -4           |
| Диаметр бурения (мм)       | 90-130        | 76 -115                | 90-165              | 65-102               | 76-127                | 105-125               | 130-165                        | 155-185             | 110-130          |
| Частота вращения, об/мин   | 0-105         | 140                    | 100                 | 190                  | 130                   | 63                    | 20-30                          | 20-30               | 46               |
| Крутящий момент, кНм       | 2,8           | -                      | 4,5                 | 0,862                | 1,59                  | 2,8                   | 3,5                            | 9                   | 0,83             |
| Осевое усилие, кН          | 15            | -                      | 30                  | -                    | 19                    | 32                    | 39                             | 40                  | 1-6              |
| Глубина бурения, м         | 20            | 22                     | 40                  | 19                   | 22                    | 18                    | 20                             | 25                  | 50               |
| Двигатель                  | Cummins       | Cummins                | Cummins             | Cummins              | Caterpillar C7        | Cummins               | Cummins, Caterpillar           | Cummins Caterpillar | Электродвигатель |
| Масса, т                   | 11,3          | 14,81                  | 6,1                 | 11,9                 | 15                    | 14,6                  | 21                             | 23                  | 5                |
| Скорость перемещения, км/ч | 3             | 3,5                    | 2                   | 3,8                  | 3,5                   | 2,2                   | 2                              | 2                   | 0,8              |
| Габариты, мм:              |               |                        |                     |                      |                       |                       |                                |                     |                  |
| Длина                      | 7550          | 9290                   | 6900                | 8680                 | 11100                 | 9300                  | 10500                          | 11500               | 4350             |
| Высота                     | 2500          | 2860                   | 2200                | 2860                 | 2520                  | 2580                  | 3200                           | 3000                | 2286             |
| Ширина                     | 3060          | 2305                   | 2200                | 2470                 | 3320                  | 3000                  | 4100                           | 3400                | 2220             |

Анализ табл. 1. показывает, что по сравнению с отечественной буровой техникой зарубежные станки имеют более высокие показатели по скорости спуско - подъемных операций (в 3-3,5 раза), передвижения станка (в 1,5 -2 раза). Конструкция мачты открытого типа с верхним расположением вращателя позволяет применять штанги большой длины, что в некоторых случаях позволяет обуривать выемочные блока без наращивания става.

Современный зарубежный станок имеет гидрофицированные приводы, мощный компрессор, электронную систему контроля и автоматического регулирования процесса бурения, деталей и узлов агрегатов станка, предусмотрено исполнение станка, как с электрическим приводом, так и с дизельным. Следует отметить, что некоторые станки зарубежного производства способны осуществлять бурение скважин с применением шарошечного, ударно-вращательного и гидроударного способов. На открытых горных работах для выполнения заоткосных работ, дробления негабарита, создания экранирующих щелей применяются буровые станки ударно-вращательного действия. Анализ технических параметров указанных буровых станков отечественного и зарубежного производства (табл. 2) показал, что распространенные на карьерах гидравлические буровые установки южно-корейского и китайского производства не только мобильны, но и обладают небольшими габаритами, что увеличивает возможные области применения. Вся буровая техника является гидрофицированной, что гарантирует высокие эксплуатационные характеристики. В большинстве случаев предусмотрено наличие автоматической подачи штанг, автоматизированного и дистанционного управления. Предлагаемые модели буровых станков являются, как правило, аналогами бурового оборудования Sandvik, EPIROC и других западных фирм, и производятся по лицензиям, приобретенным у этих компаний. Отечественные установки уступают зарубежным образцам по ударной мощности, скорости перемещения, времени выполнения вспомогательных и основных операций. Тем не менее, увеличение давления в пневмоударниках на отечественных буровых станках до 2,5 - 3,0 бар может обеспечить повышение производительности бурения и износостойкости буровых коронок в 3-5 раз в сравнении с ударными машинами низкого давления (0,5-0,7 бар). Необходимая удельная нагрузка на штырь для объемного разрушения породы должна составлять не менее 46,1 Дж [3]. Это обеспечит гарантированное снижение энергоемкости бурения скважин и шпуров в скальных горных породах.

Анализ технико-экономических показателей работы зарубежных и отечественных станков в одинаковых горно-технологических условиях показал, что, несмотря на высокий уровень сменной производительности и надежности, достигаемый зарубежными машинами, они не превосходят по расходу на обуривание 1 м<sup>3</sup> горной породы отечественные в условиях крупных карьеров [4].

На основе проведенного анализа сформулированы основные требования к отечественной шарошечной буровой технике, способствующие наиболее полной ее адаптации к сложившимся условиям на карьерах: использование облегченных материалов для снижения массы буровых станков; сокращение времени вспомогательных операций; блочно-модульная конструкция для совершенствования и упрощения доставки в разобранном состоянии; внедрение дистанционного управления, а в последующем полного автоматического управления; внедрение информационной системы для уточнения прочностных характеристик горных пород в локальных блоках; совершенствование системы выноса продуктов разрушения с забоя скважины; внедрение приборного контроля работоспособности основных деталей и узлов машины; гидрофикация основных приводов станка; разработка буровых станков и инструмента для условий добычи твердых полезных ископаемых в арктических условиях; применение комбинированного бурового инструмента; технических средств для предварительного ослабления прочностных свойств массива (магнотристора высокочастотной вибрации (100-400 Гц); использование теплового и комбинированного термомеханического воздействия на забой скважины; разработка и применение наддолотных или надштанговых амортизаторов; разработка и применение опор на высокую частоту вращения бурового долота (более 220 об/мин).



В результате анализа современного состояния буровой техники и инструмента установлено, что на карьерах России и СНГ основной объем бурения взрывных скважин производится шарошечными буровыми станками. Наибольшее применение получил станок отечественного производства типа СБШ-250МН. В небольшом объеме на карьерах используются станки ударно-вращательного действия отечественного и зарубежного производства.

Современный технический уровень применяемого отечественного бурового оборудования уступает зарубежным аналогам, а параметры эксплуатации не отвечают в полной мере сложившимся условиям ведения горных работ на карьерах. Это требует проведения соответствующих научно-исследовательских и конструкторских работ. Тем не менее, по удельным затратам отечественная техника не уступает современным зарубежным образцам. При этом стоимость импортной техники значительно выше отечественной.

Для укрупненного определения рациональной буровой техники в предлагаемых условиях ведения горных работ целесообразно использовать первичные оценочные показатели, указанные в рекламных каталогах. Итоговый выбор наиболее подходящей модели буровой техники для имеющихся горнотехнических условий может быть получен в соответствии с методическими разработками ИГД УрО РАН.

*Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00412-22 ПР, темы 1 (2022-2024): Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Реготунов А. С. Оценка современного состояния буровзрывных работ и необходимость осуществления переходных процессов на некоторых крупных горных предприятиях Урала и Сибири / А. С. Реготунов, С. Н. Жариков, Р. И. Сухов, В. А. Кутуев // Проблемы недропользования. – 2021. – № 2(29). – С. 52-62. – DOI 10.25635/2313-1586.2021.02.052. – EDN CPUXTD.
2. Карпов В. Н. О важности заблаговременной коррекции параметров главных рабочих органов ударно-вращательного бурения к условиям породного массива месторождений полезных ископаемых / В.Н. Карпов, В.В. Тимонин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – Т. 4. – № 1. – С. 15-22.
3. Реготунов А. С. Экспериментальное исследование режимов ударного бурения горных пород / А. С. Реготунов, В. А. Антонов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 61-69. – EDN VAYFCR.
4. Лель Ю. И. Эффективность эксплуатации новых моделей буровых станков на карьерах Урала / Ю. И. Лель, А. В. Захаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 6. – С. 199-206. – EDN ONBOXT. Лель Ю.И. Эффективность эксплуатации новых моделей буровых станков на карьерах Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – С.199 - 206.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ  
ТРЕХОСНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ  
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 30-90 ТОНН**

ФРОЛОВ С. Г., САНДРИГАЙЛО И. Н., АРЕФЬЕВ С. А., ОВЧИННИКОВА Т. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье описаны трехосные карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 30-90 тонн, использование которых целесообразно при разработке многих месторождений полезных ископаемых. Приведены основные параметры этих машин, а также их преимущества и недостатки в сравнении с двухосными карьерными автосамосвалами традиционной конструкции, используемыми сегодня на горных предприятиях.

**Ключевые слова:** месторождения полезных ископаемых, карьеры, трехосные карьерные автосамосвалы, внедорожные самосвалы, двухосные карьерные самосвалы традиционной конструкции, коэффициент тары.

**PROSPECTS FOR USE IN MINING ENTERPRISES OF THREE-AXLE DUMP  
TRUCKS WITH A LIFTING CAPACITY OF 30-90 TONS**

FROLOV S. G., SANDRIGAILO I. N., AREFYEV S. A., OVCHINNIKOVA T. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article describes three-axle dump trucks with a lifting capacity of 30-90 tons, the use of which is advisable in the development of many mineral deposits. The main parameters of these machines are given, as well as their advantages and disadvantages in comparison with two-axle dump trucks of traditional design used today in mining enterprises.

**Keywords:** mineral deposits, quarries, three-axle dump trucks, off-road dump trucks, two-axle dump trucks of traditional design, tare coefficient.

В последнее время многие горные предприятия все шире используют трехосные карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 30-90 тонн. Эти машины имеют особо прочную усиленную раму, специальные мосты и коробку передач, кузова особой конструкции, а также увеличенные по сравнению с самосвалами, работающими на стройках, размеры.

В Китае, где они получили значительное распространение, их называют широкофюзеляжными карьерными самосвалами. Большинство из них имеют бескапотную компоновку с одноместной кабиной, смещенной на левую сторону, но есть и модели с капотом. Над кабиной находится большой защитный козырек.

Имея грузоподъемность от 30 до 90 тонн, такие машины отличаются более простой конструкцией и дешевле в производстве, чем традиционные мощные двухосные карьерные самосвалы.

Сегодня широкофюзеляжные самосвалы производят крупные китайские компании LGMG, LiuGong, SANY, TONLY, XCMG, Weichai, Zoomlion и другие. Объем их продаж на внутреннем китайском рынке постоянно увеличивается. Растет интерес к таким машинам и в России. Всего за пять лет импорт трёхосных карьерных автосамосвалов данного класса в Российскую Федерацию увеличился в пять раз.

Причем поставляемые на российские горные предприятия машины изначально адаптированы для работы в холодном климате. Кабину максимально утепляют специальными материалами. Есть воздушный отопитель салона. Чтобы двигатели без проблем заводились в морозы, их оборудуют предпусковыми подогревателями. Машины оборудованы электрическим обогревом стёкол кабины и подогревом обоих зеркал заднего вида, а также другими опциями, необходимыми для работы в условиях самых низких температур.

Лидирующие позиции в поставках трехосных карьерных автосамосвалов в Россию занимают компании LGMG, SANY и TONLY.

Так доля компании Lingong Heavy Machinery Co., Ltd., (или сокращенно LGMG) составляет сегодня 30% в общем объеме продаж. Первые самосвалы были выпущены в 2010 году, а уже с 2015 года машины компании LGMG поставляются на рынок России. Модельный ряд трехосных карьерных самосвалов данного бренда представлен 12 моделями грузоподъемностью от 35 до 90 тонн.

Одними из наиболее востребованных в России трехосных карьерных автосамосвалов компании LGMG, являются машины моделей MT96H и CMT66.

Карьерный автосамосвал LGMG модели MT96H имеет грузоподъемность 65 тонн. Вместительность его универсального кузова составляет 38 м<sup>3</sup>, а скального — 33 м<sup>3</sup>. Масса машины 34 тонны. Кабина бескапотная. Двигатель Weichai рядный, шестицилиндровый, с непосредственным впрыском, водяным охлаждением и турбонаддувом с промежуточным охлаждением. Мощность двигателя равна 530 л.с. а объем 12,5 л. При 2100 об/мин максимальный крутящий момент достигает 2300 Нм. Возможна комплектация с механической коробкой передач от китайского производителя Shaanxi Fast Gear или по желанию заказчика автоматической. Мосты поставяет компания Shandong Pengxiang Automobile, но отдельные самосвалы могут быть укомплектованы продукцией завода Shaanxi Hande Axle (Weichai Group).

Существует модификация данного автосамосвала MT106H с увеличенной до 70 тонн грузоподъемностью и объемом кузова 49 м<sup>3</sup>. Эта машина комплектуется усиленными мостами и передней гидропневматической подвеской.

Другой популярный карьерный автосамосвал LGMG модели CMT66, имеет грузоподъемность 45 тонн. Объем кузова – до 28,5 м<sup>3</sup> в универсальном исполнении и около 26 м<sup>3</sup> – в скальном. Масса машины составляет 30 тонн. В отличие от модели MT96H, у модели CMT66 кабина капотного типа. Двигатель компании Weichai имеет мощность 460 л.с. рядный, 6-цилиндровый, с непосредственным впрыском, водяным охлаждением и турбонаддувом с промежуточным охлаждением. Объем двигателя 11,6 литра. Максимальный крутящий момент достигает 2110 Нм при 2100 об/мин. Коробка передач китайского производителя Shaanxi. При желании можно заказать машину не с механической КПП, а с автоматической. Доступны мосты двух производителей – Shandong Pengxiang Automobile или Shaanxi Hande Axle (Weichai Group).

Новым и одновременно одним из самых тяжелых и мощных в ряду машин компании LGMG является автосамосвал модели RT90. Он имеет грузоподъемность 90 тонн. Объем универсального кузова – до 71 м<sup>3</sup>, скального – до 64 м<sup>3</sup>. Масса самосвала – 46 тонн. Мощность двигателя Weichai составляет 770 л.с. Двигатель рядный 8-цилиндровый с непосредственным впрыском, водяным охлаждением и турбонаддувом с промежуточным охлаждением. При 1900 об/мин максимальный крутящий момент достигает 3000 Нм. Коробка передач механическая восьмиступенчатая от Shaanxi Fast Gear. Мосты поставяет китайская компания Hebei Hengsheng Technology. Устанавливаются автоматическая центральная система смазки и радиальные шины. Среди преимуществ данной модели можно также назвать наличие гидропневматических подвесок и усиленную цельнолитую конструкцию рамы.

Еще одной интересной моделью компании LGMG является трехосный карьерный автосамосвал модели CMT60A, грузоподъемностью 35 тонн с скальным кузовом объемом 26 м<sup>3</sup>. Компания отмечает, что благодаря колёсной формуле бхб эта машина может эксплу-

атироваться в условиях бездорожья и стать альтернативой шарнирно-сочленённым самосвалам. На данный автосамосвал установлен 6-цилиндровый экономичный двигатель Weichai с непосредственным впрыском, водяным охлаждением и турбонаддувом с промежуточным охлаждением. Мощность двигателя 460 л.с. Крутящий момент — 2000 Нм при 2100 об/мин. Коробка передач механическая 7-ступенчатая FAST FULLER от производителя Shaanxi Fast Gear. Самосвал оборудуют мостами компании Shandong Pengxiang Automobile. Возможна также установка мостов Shaanxi Hande Axle (Weichai Group). В базовой комплектации предусмотрена защита заднего моста. Машина имеет центральную автоматическую систему смазки.

Технические характеристики наиболее популярных карьерных автосамосвалов компании LGMG, приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Технические характеристики карьерных автосамосвалов компании LGMG**

| Показатель                         | Модель автосамосвала |       |       |       |        |
|------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|--------|
|                                    | MT96H                | CMT66 | CMT96 | RT90  | CMT60A |
| Грузоподъемность, т                | 65                   | 45    | 65    | 90    | 35     |
| Масса, т                           | 34                   | 30    | 34    | 46    | 28     |
| Вместимость кузова, м <sup>3</sup> | 33                   | 26    | 33    | 64    | 26     |
| Длина, м                           | 9,50                 | 9,10  | 9,67  | 10,50 | 9,50   |
| Ширина, м                          | 3,67                 | 3,73  | 3,97  | 4,48  | 3,55   |
| Высота, м                          | 4,45                 | 4,02  | 4,25  | 4,30  | 4,30   |
| Колесная формула                   | 6 x 4                | 6 x 4 | 6 x 4 | 6 x 4 | 6 x 6  |
| Дорожный просвет, мм               | 370                  | 340   | 370   | 485   | 500    |
| Мощность двигателя, л.с.           | 530                  | 460   | 530   | 770   | 460    |

Значительное распространение на горных предприятиях России получили машины крупнейшего в Китае и пятого по величине в мире производителя тяжелой строительной техники SANY Heavy Industry Company Limited.

Самой популярной моделью в линейке трехосных карьерных машин этой компании на российском рынке сегодня является автосамосвал SANY SKT90S грузоподъемностью 60 т. Масса этого самосвала составляет 32 т. Колесная формула 6x4. На машине установлен двигатель Weichai WP13 мощностью 530 л.с. и коробка передач FAST FC6A 250. Такое сочетание позволяет легко преодолевать уклоны в карьерах при относительно небольших затратах на топливо.

Машина может комплектоваться кузовом с задним бортом объемом 38 м<sup>3</sup> или скальным кузовом без заднего борта объемом 35 м<sup>3</sup>. Кузова изготовлены из износостойкой стали и хорошо себя показывают в тяжелых условиях эксплуатации. Передняя подвеска самосвала SANY SKT90S пневмогидравлическая с азотом. Задняя подвеска – простая рессорная. У самосвала надёжная рама — клёпаная, из высокопрочных двойных цельногнутых продольных балок. Инженеры компании SANY проводили на специальном стенде испытания рамы на прочность и усталостные повреждения металла, в результате которых был получен показатель непрерывной работы до 8 лет.

Технические характеристики наиболее популярных карьерных автосамосвалов компании SANY, приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Технические характеристики карьерных автосамосвалов компании SANY**

| Показатель                         | Модель автосамосвала |         |         |         |
|------------------------------------|----------------------|---------|---------|---------|
|                                    | SKT90S               | SKT90SL | SKT105S | SKT115S |
| Грузоподъемность, т                | 60                   | 57      | 70      | 70      |
| Масса, т                           | 32                   | 37      | 35      | 35      |
| Вместимость кузова, м <sup>3</sup> | 33                   | 46      | 35      | 38      |
| Длина, м                           | 9,10                 | 8,97    | 9,20    | 9,20    |
| Ширина, м                          | 3,66                 | 3,66    | 4,00    | 4,00    |
| Высота, м                          | 4,53                 | 4,53    | 4,10    | 4,10    |
| Колесная формула                   | 6 x 4                | 6 x 4   | 6 x 4   | 6 x 4   |
| Дорожный просвет, мм               | 325                  | 325     | 330     | 330     |
| Мощность двигателя, л.с.           | 530                  | 530     | 530     | 530     |

Компания Shaanxi Tonly Heavy Industries Co., Ltd. обладает крупнейшими мощностями по производству спецтехники в Китае. С самого начала выпуска карьерных автосамосвалов в 2004 году объемы поставок росли и в настоящее время, предприятие занимает ведущие позиции в их производстве. На внутреннем рынке Китая на долю этой компании приходится 35% продаж таких машин. За 2023 год компания TONLY, более чем в шесть раз увеличила объём поставок своих трехосных карьерных автосамосвалов в Россию. В данный момент модельный ряд компании включает самосвалы грузоподъемностью до 70 тонн.

Компания TONLY запатентовала конструкцию рамы на гибком соединении. Рама имеет в своей основе усиленный трёхслойный швеллер из высокопрочной стали WISCO W610L, а передний и задний сегменты рамы соединены высокопрочной гибкой конструкцией. Задняя подвеска с листовыми рессорами и балансиром оборудована V-образными направляющими, которые обеспечивают подвижность осей относительно друг друга. Особенность конструкции гибкой рамы, а также конструкция задней подвески позволяют карьерному самосвалу выдерживать высокие нагрузки в условиях бездорожья. Благодаря этому, самосвал имея значительную грузоподъемность обладает хорошими внедорожными свойствами. Возможны несколько вариаций кузова: с задним бортом или без заднего борта, прямоугольного или U-образного сечения, различного объёма в зависимости от назначения самосвала (для вскрыши, руды или угля), гладкий, с дополнительными ребрами жёсткости или с футеровкой.

Большой интерес представляет внедорожный трёхосный карьерный самосвал TONLY TL859 грузоподъемностью 40 тонн. Этот самосвал оснащён двигателем Weichai мощностью 460 л.с. и автоматической коробкой передач. Колесная формула бхб, повышенный дорожный просвет равный 525 мм, а также увеличенные шины обеспечивают этому полноприводному самосвалу возможность уверенного передвижения по слабому грунту и надежной работы в условиях бездорожья. Благодаря своим техническим характеристикам и в первую очередь высокой проходимости TONLY TL859 может заменить шарнирно-сочленённые самосвалы.

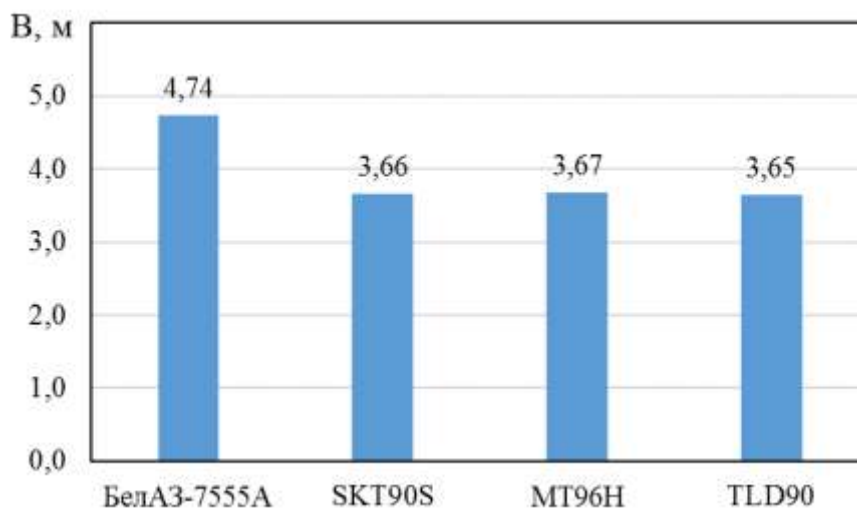
Новинкой TONLY являются внедорожные самосвалы с автоматической коробкой передач для транспортирования горной породы и угля грузоподъемностью от 40 до 70 тонн серии TLD, созданной с учетом опыта работы моделей предыдущей серии. У машин серии TLD увеличен срок службы, а также снижен расход топлива за счёт применения новых технологий и использования лёгких, но прочных материалов в конструкции. Особенностью данной серии является возможность её заказа в двух комплектациях: для перевозки угля и вскрышных пород.

Технические характеристики наиболее популярных карьерных автосамосвалов компании TONLY, приведены в таблице 3.

**Таблица 3. Технические характеристики карьерных автосамосвалов компании TONLY**

| Показатель                         | Модель автосамосвала |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | TL849                | TL859 | TL855 | TL875 | TLD65 | TLD90 |
| Грузоподъемность, т                | 35                   | 40    | 40    | 60    | 40    | 60    |
| Масса, т                           | 22                   | 26    | 25    | 30    | 25    | 30    |
| Вместимость кузова, м <sup>3</sup> | 20                   | 22    | 24    | 30    | 24    | 36    |
| Длина, м                           | 8,93                 | 9,2   | 8,89  | 9,15  | 8,89  | 9,5   |
| Ширина, м                          | 3,20                 | 3,65  | 3,22  | 3,67  | 3,22  | 3,65  |
| Высота, м                          | 3,81                 | 4,10  | 3,80  | 3,97  | 3,80  | 3,71  |
| Колесная формула                   | 6x6                  | 6x6   | 6x4   | 6x4   | 6x4   | 6x4   |
| Дорожный просвет, мм               | 512                  | 525   | 350   | 385   | 305   | 305   |
| Мощность двигателя, л.с.           | 430                  | 460   | 430   | 460   | 430   | 530   |

Большой интерес к трехосным карьерным автосамосвалам объясняется тем, что они при сопоставимой грузоподъемности имеют ряд преимуществ перед двухосными карьерными машинами традиционной конструкции. Одним из таких преимуществ является меньшая ширина автосамосвала (Рис. 1).



**Рис. 1. Ширина автосамосвалов грузоподъемностью 55-65 тонн**

Из рисунка 1 видно, что ширина трехосных карьерных автосамосвалов меньше на 23 %, чем ширина самосвала БелАЗ-7555А, имеющего традиционную конструкцию, а значит меньшей будет ширина карьерной автодороги и транспортной площадки. Благодаря этому появится возможность увеличить угол нерабочего борта и сократить объемы вскрыши, снизить затраты на ее выемку.

Трехосные карьерные автосамосвалы имеют меньшую массу по сравнению с двухосными машинами (Рис. 2).

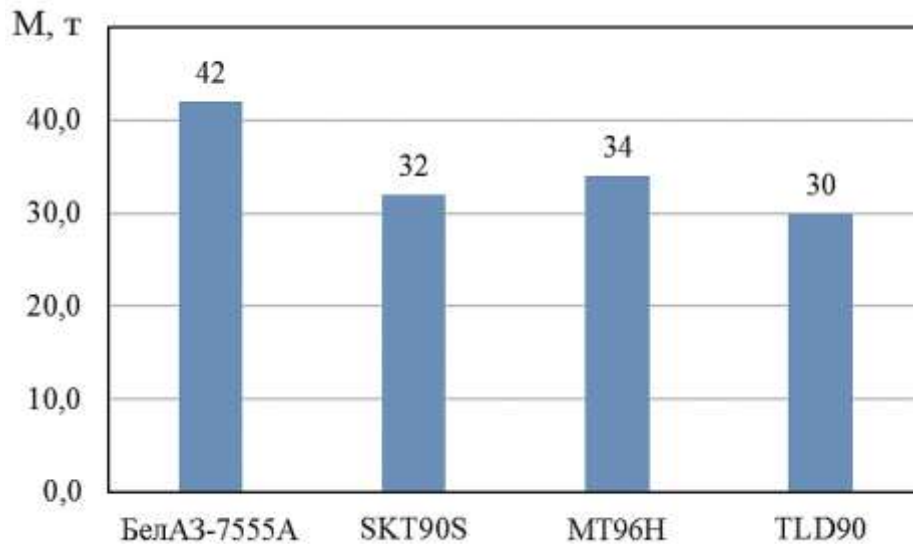


Рис.2. Масса автосамосвалов грузоподъемностью 55-65 тонн

Из рисунка 2 видно, что масса трехосных карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 60-65 тонн меньше на 20-25 %, чем масса самосвала БелАЗ-7555А имеющего грузоподъемность 55 тонн.

На рисунке 3 приведены значения коэффициента тары сравниваемых карьерных автосамосвалов.

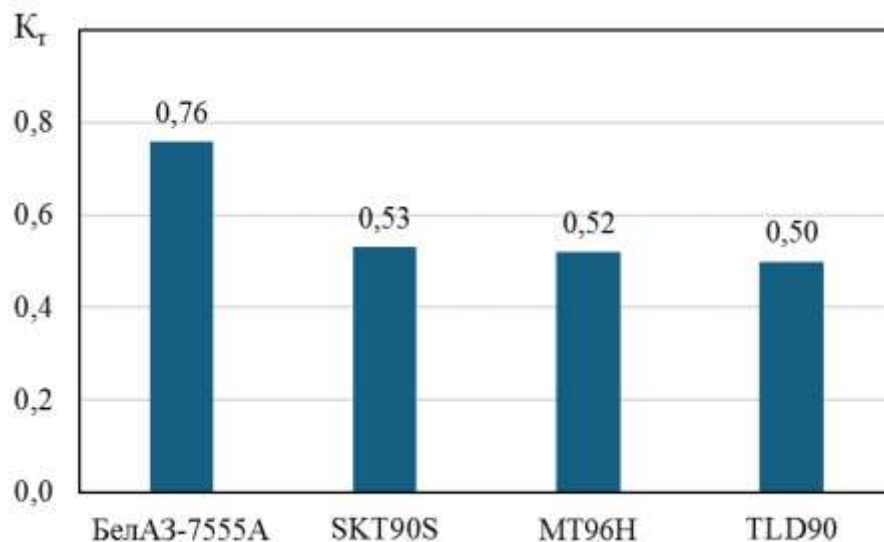


Рис. 3. Коэффициент тары автосамосвалов грузоподъемностью 55-65 тонн

Из рисунка 3 видно, что коэффициент тары у трехосных карьерных автосамосвалов равен 0,5-0,53 против 0,76 у самосвала БелАЗ-7555А.

Имея существенно меньшую массу, трехосные карьерные автосамосвалы характеризуются меньшим расходом топлива при практически одинаковой грузоподъемности с двухосными машинами. Как показал опыт эксплуатации автосамосвала SANY SKT90S грузоподъемностью 60 т расход топлива на один кубический метр перевезенной горной массы у него в 2 раза ниже, чем у самосвала БелАЗ, грузоподъемностью 55 т.

Цена одной шины трехосного самосвала грузоподъемностью 60 тонн в 7,5 раз ниже цены шины для БелАЗ-7555А. А комплект шин для трехосной машины грузоподъемностью 60 тонн обойдется в 4,5 раза дешевле комплекта шин для самосвала БелАЗ-7555А. Примерно такая разница в цене между основными узлами и агрегатами сравниваемых машин.

В результате себестоимость транспортирования горной массы трехосным автосамосвалом ниже в 1,5-2 раза, по сравнению с двухосной машиной традиционной конструкции.

Таким образом, к преимуществам трехосных карьерных автосамосвалов перед двухосными машинами традиционной конструкции относятся:

- более низкий расход топлива;
- более дешевые (в 7-8 раз) шины;
- более дешевые запчасти;
- значительно более низкая себестоимость транспортирования горной массы;
- меньшая ширина машины, (соответственно, нужны менее широкие технологические дороги и транспортные площадки);
- меньшая собственная масса;

К недостаткам трехосных самосвалов можно отнести:

- большую длину машины (на 2-7%), что снижает маневренность;
- большой радиус поворота;
- недостаточную ширину кузова, что выступает ограничением при загрузке большими карьерными погрузчиками и экскаваторами.

Кроме перечисленных факторов следует учитывать, что двухосные карьерные автосамосвалы традиционной конструкции (такие как БелАЗ, Caterpillar, Komatsu, Liebherr, Hitachi), спроектированы для тяжелых условий эксплуатации в карьерах, имеющих значительную глубину и затяжные подъемы, где при погрузке скальной горной массы наблюдаются высокие ударные нагрузки, где высокая запыленность и загазованность атмосферы. У таких машин специальная, кардинальным образом отличающаяся от обычных самосвалов компоновка и рама. Они имеют особую форму кузова, особую подвеску, особую коробку передач, особые тормоза, особую систему фильтрации и т.п. Эти карьерные самосвалы, спроектированы для круглосуточной работы в тяжелых условиях. В связи с этим они имеют довольно высокую цену.

Трехосные карьерные автосамосвалы, имеющие грузоподъемность 30-90 тонн также способны перевозить значительные объемы горной массы, но при более простых условиях работы в карьерах, имеющих относительно небольшую высоту подъема полезного ископаемого и вскрыши автотранспортом, где нет тяжелых затяжных подъемов, и высоких ударных нагрузок. В таких условиях эти машины, которые значительно дешевле традиционных карьерных самосвалов, являются хорошей альтернативой.

Трехосные карьерные автосамосвалы китайских производителей успешно эксплуатируются во многих странах мира: в Индии, Индонезии, Казахстане, Китае, Конго, Кыргызстане, Лаосе, Малайзии, Монголии, Мьянме, Пакистане, Таиланде, ЮАР, Вьетнаме и ряде других.

В России значительное количество таких машин эксплуатируется в суровых условиях Якутии, Сибири, Хабаровского края и на Сахалине.

Так в АО «Янолово», которое осуществляет добычу олова в Якутии, с февраля 2023 года эксплуатируются четыре самосвала SANY SKT90S. Машины работают в Усть-Янском улусе, на месторождении Ручей Тирехтях в тяжелых условиях участка, расположенного в 2400 километрах от Якутска. Они транспортируют оловосодержащий песок на фабрику и перевозят вскрышные породы.

Самосвалы аналогичной модели SANY SKT90S в течение нескольких лет работают в Якутии на Кобяйском угольном разрезе.

ООО «Дарасунский рудник» на Талатуйском месторождении золота, находящемся в Забайкальском крае, также эксплуатирует SANY SKT90S. Они транспортируют руду на Дарасунскую золотоизвлекательную фабрику. Причем работать приходится в суровых условиях, так как в районе Талатуйского месторождения средняя температура января ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ .



Новые трехосные карьерные автосамосвалы SANY SKT90S работают в Сибири на «Шахте №12» АО «Стройсервис». Они транспортируют горную массу на участке открытых горных работ «Северный Маганак». Возможность преодолевать самые сложные участки дорог позволяет безопасно использовать их при транспортировании угля. Всего на разрезы компании поступило 15 таких автосамосвалов.

На Сиваглинском месторождении, находящемся в пределах Алданского нагорья, на добыче железной руды, в Якутии успешно работают автосамосвалы LGMG MT86H.

Аналогичные машины модели LGMG MT86H также приступили к работе на крупном Малмыжском месторождении в Хабаровском крае.

На острове Сахалин в Углегорске на Солнцевском разрезе в течение пяти лет эксплуатируются трехосные карьерные автосамосвалы TONLY TL875 грузоподъемностью 60 тонн, с объемом кузова 54 м<sup>3</sup>. Они транспортируют уголь.

В Хабаровском крае 24 трехосных карьерных самосвала-вездехода TL849 с колесной формулой 6х6 работают на строительстве железной дороги Эльга-Чумикан, от Эльгинского месторождения угля к побережью Охотского моря. Опыт их работы показал, что они успешно выдержали суровые зимние условия дальневосточного региона.

Машины модели TONLY TLD65 используются при разработке ряда месторождений золота в Сибири.

На Айхальском ГОКе в Якутии на карьере «Юбилейный» проходит опытно-промышленные испытания автосамосвал TONLY TL859 грузоподъемностью 40 тонн. Он транспортирует горную массу из карьера на рудный склад и отвалы. По результатам эксплуатации машины в условиях якутских морозов, на узких дорогах и крутых подъемах в карьере, планируется принять решение о целесообразности использования подобных автосамосвалов с колесной формулой 6х6 в других подразделениях компании АЛРОСА.

Автосамосвалы TONLY TLD90 грузоподъемностью 60 тонн хорошо зарекомендовали себя на объектах РУСАЛа, на угольных разрезах Дальнего Востока и Кемеровской области.

Эффективная работа трехосных карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 30-90 тонн способствует дальнейшему росту спроса на них. В связи с этим, а также на основе анализа их достоинств и недостатков, можно сделать вывод о целесообразности создания машин аналогичной конструкции и начала их производства в России, на отечественных автотаволах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П. Л. Мариев, А. А. Кулешов, А. Н. Егоров и др. - СПб.: Наука, 2004. -429 с.
2. Мариев П. Л., Анистратов К. Ю. «БелАЗ» и современные тенденции развития карьерного автотранспорта // Горная промышленность. 2001, №6
3. Шешко Е. Е. Горно-транспортные машины и оборудование для открытых работ. – М.: МГТУ, 2003.-389 с.
4. Захаров А. Ю. Основы расчета карьерного транспорта: учебное пособие. - КузГТУ. - Кемерово, 2012.- 110 с.
5. Квагинидзе В. С., Козовой Г. И., Чакветадзе Ф. А., Антонов Ю. А., Корецкий В. Б. Автомобильный транспорт на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: учебное пособие. — М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 408 с.

## СПОСОБ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ РУДНЫХ ТЕЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО СТРЕЛОВОГО КОМБАЙНА

ЧЕБАН А. Ю.

Хабаровский Федеральный исследовательский центр  
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск

**Аннотация.** Предлагается комбинированная технология глубококоселективной выемки крутонаклонных тонких рудных тел при открытой разработке сложноструктурных месторождений ценного минерального сырья. Дезинтеграция вскрышных и вмещающих пород ведется посредством взрыва с оставлением предохранительного целика, рыхление тонкого рудного тела и зон прожилкования осуществляется с применением стрелового комбайна предлагаемой конструкции. Усовершенствованный стреловой комбайн снабжен сортировочным агрегатом для выделения обогащенных мелких фракций из рудной массы, а также двухсекционным накопительным бункером, обеспечивающим безостановочную работу стрелового комбайна при смене автосамосвалов под загрузкой. Применение предлагаемого в статье технико-технологического решения позволит повысить эффективность разработки сложноструктурных маломасштабных месторождений.

**Ключевые слова:** золоторудные месторождения, тонкие рудные тела, взрывное и механическое рыхление, фреза, мелкие фракции, автосамосвал, производительность.

## METHOD FOR DEVELOPING COMPLEX-STRUCTURAL ORE BODIES WITH USING AN IMPROVED BOOM COMBINE

CHEBAN A. YU.

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Khabarovsk

**Abstract.** A combined technology for deep-selective extraction of steeply inclined thin ore bodies during open-pit mining of complex-structured deposits of valuable mineral raw materials is proposed. Disintegration of overburden and host rocks is carried out by means of an explosion leaving a safety pillar; loosening of the thin ore body and veining zones is carried out using a boom miner of the proposed design. The improved boom miner is equipped with a sorting unit for separating enriched fine fractions from the ore mass, as well as a two-section storage hopper, which ensures non-stop operation of the boom miner when changing dump trucks under loading. The use of the technical and technological solution proposed in the article will improve the efficiency of development of complex-structured small-scale fields.

**Keywords:** gold deposits, thin ore bodies, explosive and mechanical loosening, milling cutter, fine fractions, dump truck, productivity.

В связи с отработкой наиболее качественных запасов минерального сырья непрерывно происходит ухудшение горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых [1-3]. По этой причине недропользователи вынуждены рассматривать вопросы по вовлечению в эксплуатацию месторождений

или их отдельных участков, ранее не представлявшие значительного интереса для промышленного освоения в связи с их сложной геологической структурой или относительно небольшими запасами. Технико-экономическое обоснование возможности разработки зачастую показывает, что освоение подобных объектов с применением традиционных технологий является нерентабельным. Таким образом, актуальным является вопрос совершенствования горного оборудования и технологических схем его применения для обеспечения рентабельной отработки маломасштабных сложноструктурных месторождений ценного минерального сырья [4-5].

При разработке месторождений наиболее эффективным способом подготовки прочных горных пород к выемке являются взрывные работы [6-7]. Однако рыхление вмещающих пород и тонких рудных тел сложной формы с изменяемым углом падения, мощностью первые десятки сантиметров с помощью взрыва ведет к перемешиванию ценного минерального сырья с пустыми породами [8]. Это усложняет процесс последующей переработки и обогащения руды, увеличивает стоимость работ и снижает рентабельность горно-обогатительного производства [9]. На многих жильных золоторудных месторождениях значительные запасы металла сосредоточены в весьма тонких рудных телах мощностью 0,2-0,4м при этом жилы часто ветвятся, при средних содержаниях золота в жилах 10-20г/т имеются отдельные богатые зоны с содержаниями металла сотни грамм на тонну руды [10].

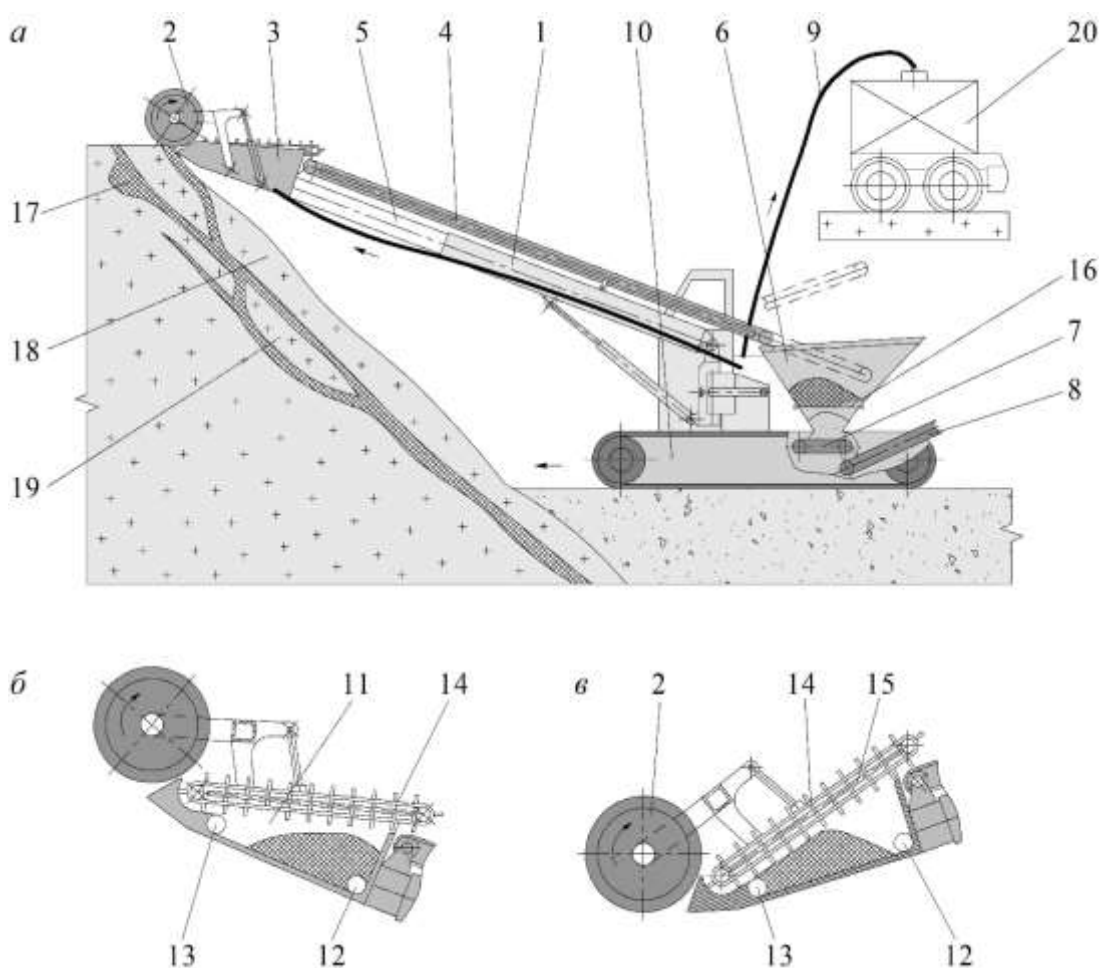
Для повышения селективности выемки разработку тонких рудных тел, сложенных относительно прочными горными породами целесообразно осуществлять с использованием механических средств рыхления [11-12]. Выбор типа горного оборудования зависит от мощности и угла падения рудного тела, прочности горных пород и необходимого уровня селекции [13]. Механическое рыхление горизонтальных, пологих и наклонных рудных тел осуществляется посредством бульдозеров-рыхлителей, фрезерных машин и карьерных комбайнов послойного фрезерования [14-16]. Разработка относительно прочных тонких рудных тел крутого падения по уступной технологии может осуществляться стреловыми комбайнами, а также одноковшовыми экскаваторами со сменным навесным оборудованием в виде рыхлителя, гидромолота и фрез разных конструкций [17-18]. У стреловых комбайнов рабочий орган располагается на стреле, при этом отработка массива ведется уступами, разрыхленная горная масса осыпается на загрузочный стол и далее подается на разгрузочный конвейер комбайна. Данное конструктивное решение приводит к повышению энергоемкости погрузки, поскольку всю разрыхленную горную массу приходится поднимать с уровня подошвы забоя в транспортное средство. Разрыхленная сменным навесным оборудованием экскаватора горная масса также ссыпается к подошве забоя, после чего осуществляется замена рыхлящего органа на ковш и производится погрузка горной массы в транспорт, либо используется дополнительное погрузочное средство. Необходимо отметить, что при осыпании и частичном аккумуляции горной массы на подошве забоя может происходить ее перемешивание, в результате уменьшается качество селекции. Кроме того, при разработке тонких рудных тел с углами падения 40-50° разрыхленная горная масса не полностью осыпается к подошве забоя, а в значительной мере задерживается на откосе уступа, что затрудняет процесс рыхления и выемки тонких рудных тел.

Известны конструктивные схемы карьерных экскаваторов (стреловых комбайнов) со специальным рабочим оборудованием, исключающим ссыпание разрыхленной горной массы на поверхность забоя, за счет совмещенной схемы выемки и перемещения горной массы в транспортное средство с ее подачей от рабочего органа на приемный конвейер также установленный на стреле [19-20]. Недостатками горных машин, представленных в работах [19-20] является необходимость их остановки при замене автосамосвалов под погрузкой, а также при переходе к отработке другого типа горных пород, что снижает производительность выемки. Также необходимо отметить, что при выемке руды и ее последующей перегрузке по транспортерам и конвейерам, погрузке транспортных средств и их перемещении к месту разгрузки происходит частичное просыпание и выдувание мелких фрак-

ций руды. Особенностью руд благородных металлов в процессе их взрывного или механического рыхления является концентрация полезного компонента в мелких фракциях, содержащих металла в несколько раз больше, чем крупные фракции этой же рудной массы [5, 21]. Известны технологические решения по сбору рудной мелочи, оставшейся в очистном пространстве рудника в трещинах и неровностях выработок посредством вакуумных установок. Так на руднике Ирокинда применение вакуумного сбора рудной мелочи позволило на 4% повысить коэффициент извлечения полезных ископаемых из недр, при этом срок окупаемости установок составил всего 4 месяца [21].

Целью исследования является разработка технико-технологического решения по выемке тонких крутонаклонных рудных тел с применением модернизированного стрелового комбайна, обеспечивающего глубокоселективную выемку руд, а также уменьшение простоев горного оборудования и снижение потерь мелких фракций руды.

В Институте горного дела ДВО РАН разработано технико-технологическое решение по выемке тонких крутонаклонных рудных тел с применением усовершенствованного стрелового комбайна 1, включающего фрезу 2, сортировочный агрегат 3 и промежуточный конвейер 4, установленные на телескопической стеле 5, а также бункер 6 с питателем 7, разгрузочный конвейер 8, вакуумную систему транспортирования 9 рудной мелочи и гусеничную ходовую часть 10 (рис. 1).



**Рис. 1. Схема обработки тонкого рудного тела усовершенствованным стреловым комбайном:**  
а – общий вид; б, в – фреза и сортировочный агрегат, соответственно, в верхнем и нижнем рабочих положениях

Сортировочный агрегат 3 состоит из корпуса 11 с всасывающими патрубками 12, 13 вакуумной системы 9, скребкового транспортера 14 и классификационной решетки 15 с перекрывающимися щелями. Бункер 6 заслонкой 16 делится на верхнюю и нижнюю секции.

Рыхление вскрышных и вмещающих горных пород сложноструктурного рудного блока производится с применением буровзрывных работ. Участок пустых пород, примыкающий к висячему боку тонкого рудного тела 17, ослабляется путем взрывания зарядов малого диаметра с оставлением предохранительного целика 18 для исключения примешивания рудной массы к пустым породам, взорванные пустые породы удаляются одноковшовым карьерным экскаватором или погрузчиком (на рис. не показаны). Выемка предохранительного целика 18, тонкого рудного тела 17, а также зон прожилкования 19 осуществляется усовершенствованным стреловым комбайном 1 посредством вращающейся фрезы 2.

Первоначально комбайн 1 фрезой 2 осуществляет рыхление пустых пород предохранительного целика 18, при этом разрыхленная горная масса сыпается на скребковый транспортер 14. Щели классификационной решетки 15 перекрыты, и весь объем горной массы подается на промежуточный конвейер 4, затем в бункер 6, а оттуда через питатель 7 и разгрузочный конвейер 8 – в автосамосвал (на рисунке не показан). Затем начинается обработка тонкого рудного тела 17 (рис. 1а), при этом щели классификационной решетки 15 открываются, в результате чего из рудной массы, перемещаемой скребковым транспортером 14 начинают просеиваться мелкие фракции, обогащенные полезным компонентом. Мелкие фракции сыпаются в корпус 11, откуда через всасывающие патрубки 12, 13 по гибкому трубопроводу вакуумной системы 9 перемещаются в бункер специального транспортного средства 20. При поднятой телескопической стреле 5 рудная мелочь будет преимущественно скапливаться в задней части корпуса 11 и удаляться через всасывающий патрубок 12 (рис. 1б). При опускании телескопической стрелы 5 рудная мелочь удаляется через всасывающий патрубок 13 (рис. 1в). От скребкового транспортера 14 рудная масса поступает на промежуточный конвейер 4, при этом после окончания движения пустых пород по промежуточному конвейеру 4 заслонка 16 закрывается и разделяет бункер 6 на две секции (рис. 1а). Рудная масса начинает сыпаться в верхнюю секцию бункера 6, а оставшаяся пустая порода из нижней секции по питателю 7 и разгрузочному конвейеру 8 в полном объеме перемещается в автосамосвал. Происходит замена автосамосвала, при этом заслонка 16 открывается, и накопленная в бункере 6 рудная масса начинает подаваться в автосамосвал. При встрече с пустыми породами в зоне прожилкования 19 вновь производится перекрытие щелей классификационной решетки 15 и заслонки 16, а также смена автосамосвала под погрузку, таким образом, обеспечивается безостановочная работа комбайна 1 при замене загруженных самосвалов.

Реализация предлагаемого технико-технологического решения позволит обеспечить необходимую глубину селекции при разработке сложноструктурных выемочных блоков, снизит потери полезного компонента с рудной мелочью, а также увеличит производительность горных работ при одновременном снижении себестоимости добычи руды, что позволит вовлечь обработку ряд сложноструктурных месторождений или их участков, освоение которых ранее считалось нерентабельным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений. М.: Недра, 1993. 272 с.
2. Оганесян Л. В. Экологические и технико-технологические проблемы освоения нетрадиционных источников минерального сырья // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 2. С. 48-52.
3. Чебан А.Ю., Секисов Г.В. Обоснование использования комбинированной подготовки к селективной выемке руд сложноструктурных месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18. № 3. С. 4-12.
4. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная разработка рудных месторождений. М.: Горная книга, 2012. 344 с.

5. Секисов Г.В., Чебан А.Ю. Малоотходная технология освоения сложноструктурных месторождений с применением комбинированных схем выемки и переработки руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. № 6. С. 110-118.
6. Секисов А.Г., Шевченко Ю.С., Лавров А.Ю. Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию // В сборнике: Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. 2012. С. 125-132.
7. Чебан А.Ю. Техническое оснащение предприятий по добыче нерудных строительных материалов в Хабаровском крае // Механизация строительства. 2017. № 2. С. 23-26.
8. Рогизный В.Ф., Хромов В.М. Селективная выемка маломощных рудных тел с применением малогабаритного самоходного оборудования // Рациональное освоение недр. 2019. № 2-3. С.88-98.
9. Лавров А.Ю., Секисов А.Г. Фотохимическая и электрохимическая активация процессов выщелачивания и сорбции дисперсных форм благородных металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 6. С. 179-183.
10. Атлас многофакторных моделей золоторудных месторождений Дальнего Востока / А.П. Ван-Ван-Е и [др.]. – Хабаровск. Издательство ДВИМС, 2000. – 202 с.
11. Чебан А.Ю. Технология доработки рудных тел добычной установкой, оборудованной автономным выемочным модулем // Маркшейдерия и недропользование. 2019. № 4. С. 22-28.
12. Чебан А.Ю. Способ подготовки прочных горных пород к выемке при ведении строительных и добычных работ // Механизация строительства. 2017. № 9. С. 20-23.
13. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация. – М.: Недра, 1985. – 549 с.
14. Сандригайло И.Н., Арефьев С.А., Чеботарев С.И. Определение параметров и показателей работы карьерных комбайнов при добыче мрамора // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2016. Т.15. № 21. С. 362-366.
15. 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.
16. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia // Zement-Kalk-Gips Int. 2014, vol. 67, no. 10, pp. 18-19.
17. Чебан А.Ю., Хрунина Н.П. Использование горного оборудования для механического разрушения скальных и полускальных пород // Горная промышленность. 2014. № 2. С. 104-107.
18. Чебан А.Ю. Экспериментальные исследования процесса разрушения породы резцами фрезерного рабочего органа // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. № 1. С. 125-128.
19. Секисов Г.В., Таскаев А.А. Раздельная выемка руд на карьерах. – Фрунзе: Илим, 1986. – 173 с.
20. Пат. 2296860 Российская Федерация, МПК E21C 47/04. Карьерный экскаватор.
21. Павлов А.М., Семенов Ю.М. Применение вакуумной технологии при зачистке руды в условиях криолитозоны рудника «Ирокинда» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 11. С. 24-29.

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРОВ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

МАМАНОВА А. А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** Рассмотрены актуальные проблемы разработки карьеров нерудных строительных материалов, лицензии как объекта инвестирования и возможные пути решения по улучшению ситуации бесперебойного обеспечения строительных площадок нерудным минеральным сырьем.

**Ключевые слова:** нерудное минеральное сырье, лицензия как объект инвестиций, стадии разработки месторождения, экономические и технологические параметры разработки.

## CURRENT ISSUES OF QUARRYING NON-METALLIC BUILDING MATERIALS

MAMONOVA A. A.

Ural State Mining University, Yekaterinburg

**Annotation.** The current problems of the development of quarries of non-metallic building materials, licenses as an object of investment and possible solutions to improve the situation of uninterrupted provision of construction sites with non-metallic mineral raw materials are considered.

**Keywords:** non-metallic mineral raw materials, license as an object of investment, stages of field development, economic and technological parameters of development.

За последние несколько лет наблюдается активная реализация государственных программ по развитию регионов, в связи с чем увеличиваются темпы развития строительной отрасли, объемы строительства, реконструкции и капитального ремонта разнообразных объектов. Сжатые сроки выполнения задач по государственным программам в крупных строительных организациях выявляют проблемы обеспечения материалами, в том числе нерудным минеральным сырьем, а также несвоевременность их поставок на строительные объекты, что непосредственно вызывает на них простои и приводит к необходимости покупки нерудного минерального сырья у посредников даже при наличии собственной сырьевой базы. Естественно, необходимость привлечения посредников приводит к увеличению затрат строительных организаций на возводимые объекты. Особенно остро эта проблема затрагивает предприятия, выполняющие строительство объектов на основании государственных контрактов, так как увеличение проектной сметной стоимости объекта ввиду удорожания строительных материалов не допускается. Данная проблема актуальна, в частности, при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте линейных объектов - автомобильных дорог. Для бесперебойного обеспечения строительных площадок по возведению линейных объектов строительными материалами требуется форсированное развитие в сфере добычи и производства нерудного минерального сырья. Так как добыча общераспространенных полезных ископаемых – лицензируемая деятельность и регламентируется законодательными актами на всех уровнях, при разработке карьеров нерудного сырья, начиная от стадии предпроектного анализа возможности отработки месторождения, возникает множество факторов, влияющих на целесообразность вложения средств в инвестиционный проект по разработке месторождения.

Если рассматривать разработку месторождения в призме сроков реализации инвестиционного проекта можно выделить несколько стадий ее развития (см. таблицу).

В приведенной таблице не учтены все особенности стадий разработки месторождения; указаны основные этапы без детального рассмотрения для схематичного понимания порядка оформления добычи общераспространенных полезных ископаемых.

Проанализировав выделенные стадии разработки месторождения, можно сделать основные выводы относительно лицензии как объекта инвестирования.

#### Стадии развития разработки месторождения

| Наименование  | Ввод в эксплуатацию  | Развитие и разработка   | Затухание  |
|---|--|---|--|
| Основной правоустанавливающий документ (нематериальный актив) | Лицензия (на право недропользования)   | Проектная документация на разработку карьера (Технический и рабочий проекты)  | Проект рекультивации и/или проект ликвидации карьера   |
| Основные этапы  | 1.Выбор участка под лицензионный контур – подача заявки на участок<br>2.Аукцион<br>3.Геологическое изучение участка и утверждение балансовых запасов месторождения<br>4.Разработка и согласование технического проекта (в составе проект рекультивации)<br>5.Оформление и согласование горного отвода<br>6.Оформление и согласование земельного отвода<br>7.Регистрация ОПО<br>8.Ввод в эксплуатацию | 1.Решение вопроса инфраструктурной обеспеченности участка (параллельно с первым этапом)<br>2.Разработка технического и при необходимости рабочего проекта разработки карьера<br>3.Разработка и согласование плана развития горных работ (ежегодно)<br>4.Разработка и согласование экологических проектов разработки карьера<br>5. Разработка карьера в соответствии со всеми правоустанавливающими документами и законодательством, регламентирующим деятельность по добыче полезных ископаемых | 1.Уточнение технических условий приемки участка от владельца<br>2.Рекультивация и/или ликвидация карьера<br>3.Сдача рекультивированных земель / согласование ликвидации карьера органами Ротсехнадзора |
| Главный фактор оценки инвестиционного проекта                 | Освоенность и перспектива развития участка   | Утвержденные балансовые запасы и годовая производственная мощность карьера  | Срок службы карьера  |

Проанализировав выделенные стадии разработки месторождения, можно сделать основные выводы относительно лицензии как объекта инвестирования.

Согласно статье «Особенности организации инвестиционного процесса для горнодобывающего предприятия», опубликованной в журнале «Рациональное освоение недр» № 6 за 2013 г. (авторы А. В. Каплан, Л. П. Лейдерман, М. А. Терешина) лицензия на право пользования недрами является весьма специфическим активом, что обусловлено определенными причинами:

- владелец лицензии не имеет право продать или передать актив иному юридическому лицу;
- срок действия лицензии ограничен и в основном не превышает 15-20 лет, вне зависимости от объема и качества запасов минерального сырья;
- потенциальный недропользователь не может получить в полном объеме информацию о выставляемом на аукцион объекте;
- при выдаче лицензий регулярно допускаются ошибки и погрешности, не позволяющие полноценно отрабатывать запасы минерального сырья;
- лицензией на пользование недрами прописаны обязанности недропользователя перед государством по срокам проведения геологоразведочных и проектных работ, объемам добычи, направлению использования сырья.



Естественно, все вышеперечисленное можно применять и к оценке рациональности лицензирования месторождений общераспространенных полезных ископаемых, так как деятельность таких карьеров также регламентируется федеральными нормативно-правовыми актами.

Таким образом, потенциальный недропользователь, прежде чем подавать заявку на участие в аукционе, должен полностью оценить целесообразность приобретения такого специфического актива.

По огромному запросу строительных организаций, занимающихся выполнением государственных контрактов по строительству автомобильных дорог, с 2018 года вступил в силу новый законодательный акт, упрощающий получение лицензии на право пользования недрами для строительных нужд. С началом действия Федерального закона № 188-ФЗ от 26.07.2018 г. «О внесении изменений в Закон о недрах» применяется практика упрощения порядка предоставления права пользования участками недр местного значения в целях строительства автомобильных дорог, заключающаяся в предоставлении участков недр из перечня участков, находящихся на территориальном балансе запасов. Однако, применительно к Свердловской области анализ балансовых запасов, предлагаемых Министерством природных ресурсов к отработке из имеющегося перечня общераспространенных полезных ископаемых, показал, что территориальный баланс запасов представлен в основном месторождениями глин, находящихся на достаточном удалении от строящихся или проектируемых объектов строительства. Строительные компании предлагали предусматривать в составе проектной документации на строительство автомобильных дорог федерального значения выделение участков недр, находящихся вблизи от проектируемых объектов, с запасами нерудных строительных материалов, их последующее согласование с ведомственными министерствами, а также разведкой и постановкой на территориальный запас балансов с оформлением лицензии победителю аукциона на строительство объекта. В противном случае, учитывая недостаточный территориальный баланс запасов общераспространенных полезных ископаемых, строительным организациям, планирующим использовать собственную сырьевую базу, необходимо проходить стандартную процедуру длительного и материально затратного процесса оформления лицензии с выходом на аукцион.

Однако, на деле, внесение изменений в законодательство по упрощению порядка предоставления лицензий для строительных организаций, занимающихся выполнением государственных программ, не принесло должного эффекта по улучшению ситуации и бесперебойного обеспечения нерудным минеральным сырьем строительных площадок.

Таким образом, данную проблему необходимо решать другим способом, поэтому, в зависимости от стратегических целей предприятий, использующих собственную сырьевую базу и перед всеми иными недропользователями поставлена задача – технически и экономически эффективно разрабатывать месторождение, соблюдая законодательство в области недропользования.

В практике работы крупных строительных организаций при принятии решений о возможности формирования собственной сырьевой базы предприятием не проводится предпроектный анализ оценки месторождения общераспространенного полезного ископаемого для выявления экономической целесообразности его разработки. Заявка на участок недр подается по единственному принципу определения месторасположения данного участка.

Для решения основной задачи необходимо еще на стадии получения лицензии оценить все возможные риски при отработке месторождения, а именно – провести детальный предпроектный анализ возможности разработки месторождения, в котором будут учтены все возможные проблемы и найдены максимально эффективные пути их решения. Проводимая в настоящее время предпроектная оценка эффективности инвестиционных проектов оказывается недостаточной. Во время проведения аукциона на право пользования недрами участники не получают практически никакой информации, помимо характеристики предоставляемого участка, в которой указывается географическое местоположение, топография

участка, близлежащие объекты, размеры участка и прогнозные ресурсы запасов полезного ископаемого. При этом, геология участка в описании приводится по аналогии с соседними участками, что может значительно исказить реальную картину. Подсчет запасов месторождения производится после оформления лицензии в рамках выполнения отчета по оценке запасов полезного ископаемого для постановки их на государственный баланс. Но оформление лицензионного контура карьера не является полным разрешением на дальнейшее проведение работ, так как в ходе разработки появляются спорные вопросы, решение которых не зависит от государственного органа, выдавшего лицензию. Одним из главных спорных вопросов является вопрос земельного отвода, который особенно актуален для участков месторождений, расположенных в пределах городских округов. В последнее время решение спорных вопросов в оформлении границ земельного отвода часто приводит к изменению первоначального лицензионного контура и объемов запасов в меньшую сторону.

Конечно, невозможно принять в расчет все возможные риски и потери при первоначальной заявке на участок, при том, что большая доля рисков приходится на факторы, зависящие от качества технической подготовленности к освоению участка. В настоящий момент эти факторы невозможно учесть, поскольку все разрабатываемые модели на стадии оценки проекта отталкиваются от заданных параметров участка и предполагаемого объема запасов, и в таком случае каждое изменение значительно меняет дальнейшую картину, а разработка всех возможных вариантов трудоемка и требует времени. Поэтому так актуально пересмотреть старые модели оценки и создать новую, где на первоначальной стадии можно отталкиваться не от заданных параметров участка, а от своих экономических параметров целесообразности разработки. То есть решить обратную задачу – по заданным экономическим параметрам (к примеру, требуемой себестоимости) выявить параметры участка месторождения, а также технические особенности его разработки, которые обеспечивают заданные параметры. Подобное решение задачи позволит еще на этапе заявки на участок выявить целесообразность вложения инвестиций в данное месторождение.

Для решения такой задачи требуется огромная работа по выявлению обратных зависимостей экономических параметров от технических, их взаимосвязь, а также все факторы, влияющие на их зависимости.

УДК 622.2

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ НА ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

АФАНАСЬЕВ А. И. БОЧКОВ В. С., ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В., БОЧКОВА К. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье рассматривается исследование измельчения бедной сульфидной руды до и после воздействия на куски электрического пробой позволяющего получить существенное ослабление механической прочности горной породы. Руда подвергалась ударному разрушению до крупности -25 мм с последующим ситовым анализом. После ударного разрушения горная масса помещалась в отдельные камеры мельницы и измельчалась в течение 20 минут. При экспериментах замерялись: время( $t$ ), величина тока ( $I$ ) в якорной цепи и шунтовой обмотке, величина напряжения( $U$ ), средний расход энергии (по ваттметру) и величину выхода готового продукта за определенное время. Установлено, что энергоемкость процесса измельчения электрообработанной руды практически на 20% меньше, чем не электрообработанной. Также установлено, что в процессы взаимодействия перерабатываемой горной породой в мельнице происходит износ футеровок и мелищих тел, так как в пробе измельченной руды появился металл.

**Ключевые слова:** электрообработка руды, мельница, футеровка, изнашивание, дробление, горная порода, энергоемкость процесса.

## INFLUENCE OF ELECTRICAL TREATMENT ON THE GRINDING OF MATERIAL IN A BALL MILL

AFANASIEV A. I. BOCHKOV V. S., POTAPOV V. Y., POTAPOV V. V., BOCHKOVA K. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article discusses the study of grinding low-grade sulfide ore before and after exposing the pieces to electrical breakdown, which allows for a significant weakening of the mechanical strength of the rock. The ore was subjected to impact destruction to a particle size of -25 mm, followed by sieve analysis. After impact destruction, the rock mass was placed in separate chambers of the mill and crushed for 20 minutes. During the experiments, the following were measured: time ( $t$ ), current value ( $I$ ) in the armature circuit and shunt winding, voltage value ( $U$ ), average energy consumption (by wattmeter) and the output value of the finished product for a certain time. It has been established that the energy intensity of the grinding process of electrically treated ore is almost 20% less than that of non-electrified ore. It was also established that during the processes of interaction with the processed rock in the mill, wear of the linings and grinding bodies occurs, since metal appeared in the sample of crushed ore.

**Keywords:** electrical processing of ore, mill, lining, wear, crushing, rock, energy intensity of the process.

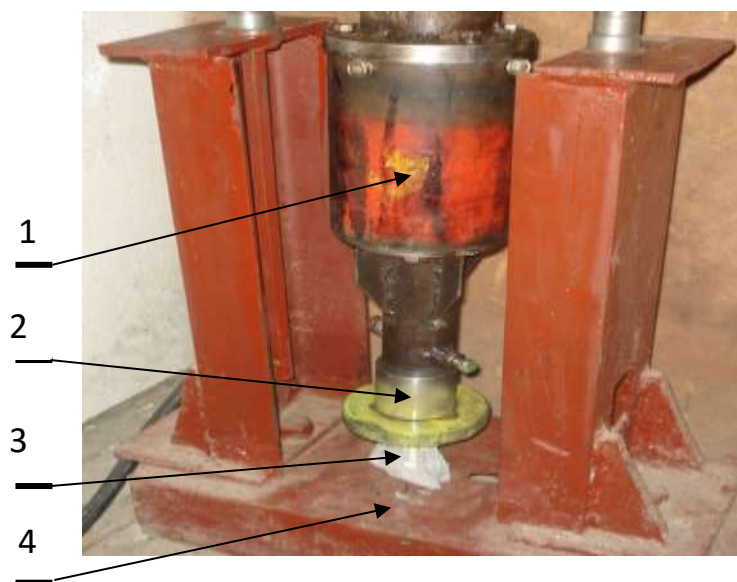
Дробление и измельчение минерального сырья являются относительно энергоёмкими процессами. Они потребляют почти пятую часть всей вырабатываемой электроэнергии [1].

Это связано с тем, что в горнодобывающей промышленности увеличивается глубина карьеров, возрастает прочность добываемой руды, снижается её измельчаемость, что приводит к существенному увеличению удельного расхода электроэнергии на добычу и обогащение [2-5].

Барабанные мельницы являются основным технологическим оборудованием для измельчения сульфидных руд до крупности меньше 5 мм. Этот размер является условным и может изменяться в зависимости от способа разрушения и вида горной породы [2,6-8.].

В статье рассматривается исследование измельчения бедной сульфидной руды до и после воздействия на куски электрического пробой в двух плоскостях позволяющего получить существенное ослабление механической прочности горной породы[2]. В результате эксперимента вся горная масса разделялась на две части: пробиваемая током и непробиваемая током. Обе части взвешивались и подвергались ударному разрушению до крупности - 25 мм с последующим ситовым анализом. Удар по куску руды наносился плоским торцом рабочего инструмента 2 магнитно-индукционного ударника (рис.1) с конденсаторным накопителем энергии. Величина энергии удара изменялась в зависимости от крупности кусков. Необходимая величина энергии удара устанавливалась путем изменения напряжения заряда конденсаторной батареи [5].

После ударного разрушения обе порции горной массы помещались в отдельные камеры мельницы (см. рис.2) и измельчались в течении 20 минут. Затем опять производился ситовый анализ продуктов измельчения. Готовый продукт (класс -0,15мм) отправлялся на анализ в специализированную лабораторию для определения содержания основного полезного ископаемого – меди.



**Рисунок 1. Магнитно-индукционный импульсный ударный механизм:**

1 - корпус ударника; 2 - рабочая часть ударника; 3 - кусок горной породы; 4 - рама установки



**Рисунок 2. Опытно-промышленная мельница:**

1- корпус мельницы; 2- подшипниковая опора; 3- червячный редуктор; 4- клиноременная передача, 5 – двигатель постоянного тока

По своим конструктивным и технологическим характеристикам параметры этой мельницы превышают в два раза параметры лабораторных мельниц Табл.1. [10-12]

Шаровая мельница имеет две дробильные камеры. Разгрузка, а также загрузка руды и шаров производится через люк, расположенный на цилиндрической поверхности мельницы. Мельница может работать с различной угловой скоростью, которая регулируется при помощи двигателя постоянного тока.

**Таблица 1 - Техническая характеристика шаровой мельницы МШ-600**

| № п/п | Наименование параметра  | Значение            |
|-------|---|---------------------|
| 1     | Внутренний диаметр барабана D, мм   | 600                 |
| 2     | Длина одной камеры барабана L, мм   | 260                 |
| 3     | Номинальный объем барабана V, дм <sup>3</sup> , ±5%                                     | 54                  |
| 4     | Номинальная частота вращения барабана, % от критической                                 | 70-75               |
| 5     | Степень заполнения барабана мелющими телами, %, не более                                | 35                  |
| 6     | Мощность электродвигателя привода, кВт, не более  | 1,5                 |
| 7     | Габаритные размеры мельницы в сборе с приводом, мм, не более: длина<br>ширина<br>высота | 1500<br>800<br>1200 |
| 8     | Масса мельницы без, мелющих тел, кг, не более   | 670                 |

При экспериментах замерялись: время( $t$ ), величина тока ( $I$ ) в якорной цепи и шунтовой обмотке, величина напряжения( $U$ ), средний расход энергии (по ваттметру) и величину выхода готового продукта за определенное время. При измерениях использовались соответствующие средства измерения, которые были проверены и тарированы в установленном порядке. Для замера тока последовательно с обмоткой включался шунт (75 мВ), с которого подавался сигнал на осциллограф С1-68.

Напряжение в якорной цепи и шунтовой обмотке замерялось при помощи вольтметра. Фракционный состав руды перед и после измельчения определялся при помощи стандартных сит. Масса шаровой нагрузки определялась путем взвешивания каждого шара на аналитических весах. Класс точности измерительных средств был первый и второй.

Согласно общепринятым нормам, объем шаровой нагрузки составлял 35% от объема камеры измельчения. Крупность исходной руды составляла -40+20 мм. Масса ша-

ров в пять раз превышала массу руды, что принято в практике измельчения. Угловая скорость вращения барабана принималась равной 0,8 от критической, которая составляла для данной мельницы

$$\omega_{кр} = (0,75g/r)^{0,5} = (0,75 * g/0,3)^{0,5} \approx 4,9 \text{ рад/с} \quad (1)$$

где  $r$  – внутренний радиус мельницы, м;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Данная скорость вращения барабана ( $n \approx 47$  об/мин) обеспечивала один из эффективных для данной руды водопадный режим движения шаров.

В табл. 2 приведены результаты определения фракционного состава забалансовой руды до и после измельчения.

**Таблица 2 - Гранулометрический состав за балансовой медно-цинковой руды Молодежного месторождения**

| №  | Класс, мм  | Содержание класса до измельчения, % | Содержание класса после измельчения, % | Содержание класса до измельчения, % | Содержание класса после измельчения, % |
|----|------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| 1  |            | Электрообработанная                 |  | Необработанная                      |  |
| 2  | +20        | 14,9                                | 8,0                                    | 31,0                                | 22,7                                   |
| 3  | -20+10     | 33,6                                | 20,8                                   | 35,2                                | 24,6                                   |
| 4  | -10+5      | 21,5                                | 8,5                                    | 6,3                                 | 8,3                                    |
| 5  | -5+2       | 11,9                                | 2,2                                    | 8,0                                 | 2,8                                    |
| 6  | -2+1       | 5,6                                 | 0,9                                    | 3,8                                 | 1,1                                    |
| 7  | -1+0,5     | 4,7                                 | 1,0                                    | 2,5                                 | 1,4                                    |
| 8  | -0,5+0,25  | 3,6                                 | 2,2                                    | 1,2                                 | 2,5                                    |
| 9  | -0,25+0,15 | 0,9                                 | 6,5                                    | 0,5                                 | 6,3                                    |
| 10 | -0,15      | 3,3                                 | 49,9                                   | 1,5                                 | 31,5                                   |

Предварительно нами были определены затраты энергии на холостой ход мельницы с шарами, без шаров, с рудой и шарами. В результате испытаний установлено, что уровень потребления мельницей определяется главным образом величиной шаровой нагрузки. Так как обе порции горной массы были одинаковы и одновременно измельчались в двухкамерной мельнице, то затраты энергии на измельчение каждой части можно принять одинаковыми. Поэтому, оценку эффективности электрообработки забалансовой руды можно производить по выходу мелких и крупных классов. Данные таблицы показывают, что электрообработка горной массы приводит к существенному возрастанию выхода мелких классов, в которых, как правило, находятся сульфиды. В частности, выход класса -0,15 мм возрос на 18,4%, а выход класса +5мм сократился на 28,3%.

В таблице 3. приведены результаты эксперимента по измельчению электрообработанной и необработанной бедной сульфидной руды.

**Таблица 3 - Результаты эксперимента по измельчению сульфидной руды**

| № | Ток, А | Напряжение, В | Выход готового продукта, кг | Полезная мощность, Вт | Время измельчения, мин. | Средний размер кусков, мм | Индекс работы по Бонду, кВт*ч/т | Примечание                  |
|---|--------|---------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 11     | 84            | 2,59                        | 140                   | 20                      | 10,4                      | 18,0                            | Руда электрообработанная    |
| 2 | 11     | 84            | 2,1                         | 140                   | 20                      | 13,6                      | 22,2                            | Руда не электрообработанная |
| 3 | 10,5   | 84            | 0,46                        | 110                   | 15                      | -40мм                     | 59,8                            | Руда электрообработанная    |
| 4 | 5,5    | 120           |                             | 660                   |                         |                           |                                 | Холостой ход                |

Данные таблицы 3. показывают, что энергоёмкость процесса измельчения электрообработанной руды практически на 20% меньше, чем не электрообработанной. Увеличение начальной крупности продукта (третья строка таблицы) существенно повышает индекс работы по Бонду [12], что свидетельствует о неправильном для данной мельницы выборе размеров исходного питания. Повышение производительности мельницы за счет увеличения выхода готового продукта при одинаковом времени работы свидетельствует о эффективности электрообработки бедной сульфидной руды.

Нами были определены суммарные затраты ( $E_c$ ) энергии на сортировку (грохочение ( $E_{\Gamma}$ ) и электрообработку ( $E_o$ )), дробление ( $E_{y/m}$ ) и измельчение забалансовой медноцинковой руды ( $E_{изм}$ ) :

$$E_c = E_{\Gamma} + E_o + E_{y/m} + E_{изм}$$

В качестве критерия удаления куска породы в хвосты было принято минимальное (граничное) содержание сульфидов, которое определяет напряжение на электродах необходимое для пробоа.

Результаты расчетов в виде графика приведены на рис.3.

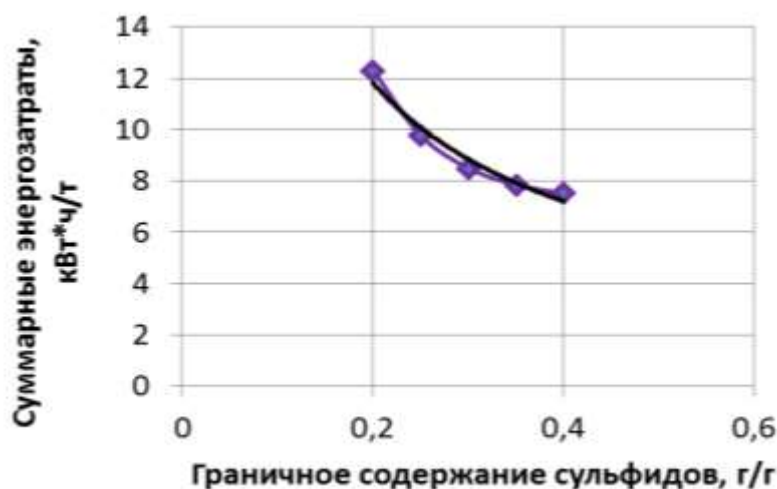


Рисунок 3. Зависимость суммарных энергозатрат от граничного содержания сульфидов

Корреляционное отношение, равное  $R^2 = 0,96$  [9], свидетельствует о наличии существенной связи суммарных энергозатрат на сортировку, дробление и измельчение с граничным содержанием сульфидов.

Статистическая зависимость суммарных энергозатрат ( $E_c$ , кВт\*ч/т) на грохочение, электрообработку, дробление и измельчение бедной сульфидной руды имеет вид:

$$E_c = 3,74 * [\alpha]^{-0,715} \quad (2)$$

где  $[\alpha]$  – граничное (допустимое) содержание сульфидов, г/г.

Расчеты показывают, что при выборе граничного содержания меньше 0,2 г/г суммарные энергозатраты возрастают до такого уровня, что данный способ сортировки теряет преимущества перед радиорезонансным способом предварительного разделения.

При прочих равных условиях, снижение времени измельчения руды за счет её разупрочнения, позволяет пропорционально увеличению выхода мелких классов уменьшить расход мелющих тел. После проведения испытаний, измельченный продукт был отдан на химический анализ). В результате анализа установлено, что содержание меди в электрообработанной руде в 4,1 раза больше, чем в необработанной.

Особенности взаимодействия рабочих органов (рис. 2) мельницы с частицами абразива определяются физико-механическими свойствами системы: горная порода - частица абразива – металл. Нами установлено что в мельнице происходит износ футеровок и мельничих тел, так как в пробе измельченной руды появился металл[13].

### **Выводы**

Относительно тесная связь содержания сульфидов с электрической проводимостью (корреляционное отношение близко к единице) позволяет с достаточной степенью точности установить их границу, по которой можно удалять в хвосты пустую породу.

Оценку эффективности процесса разрушения кусков сульфидной руды целесообразно производить по отношению удельной энергии к степени дробления. Она уменьшается с увеличением среднего диаметра куска.

Электрическая сортировка бедной сульфидной руды приводит к удалению в хвосты пустой породы, уменьшению относительной энергии разрушения в 1,3 раза и соответствующему снижению непроизводительных затрат энергии на дробление.

Электрообработка позволяет увеличить выход мелких классов и, соответственно, вскрытие вкраплений сульфидов, что в дальнейшем позволит повысить извлечение полезных ископаемых. Величина напряжения пробоя для забалансовых медно-цинковых руд должна быть 8...9 кВ, что обеспечит надежное выделение класса -80 +20 мм.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гончаров С. А. Физико-технические основы ресурсосбережения при разрушении горных пород. - М.: Изд-во Московского государственного горного университета - 2007. -211 с.
2. Гольдин М. Л. «Контроль и автоматизация процессов дробления и измельчения руд» М.: Атомиздат. 1971. 388с.
3. Баранов В. Ф. Обзор мировых достижений и проектов рудоподготовки новейших зарубежных фабрик. - М.
5. Ревнивцев В. И. Современные направления совершенствования развития рудоподготовки. - Совершенствование рудоподготовки, Ленинград, 1980, с. 3-7. |
4. Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. - М.: Недра, 1986.-231с.
5. Афанасьев А. И., Костенчук С. Ф., Чиркова А. А. Исследование энергоемкости рабочего процесса импульсного двигателя в приводе рабочего органа горной машины // Известия ВУЗов. Горный журнал.- 2006.- № 1 С.110-115.
6. Ржевский В. В., Протасов Ю. И. Электрическое разрушения горных пород. М.: Недра.1972. 205 с.
7. Емелин М. А., Морозов В. Н., Новиков Н. П. Новые методы разрушения горных пород: Учебное пособие для Вузов. М.: Недра, 1990, 240с.
8. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1978, 359с.
9. Митропольский А.К. Техника статистических исследований. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
10. Андреев С. Е., Петров В. А., Зверевич В. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. 3-е изд. М.: Недра, 1980, 215с.
11. Левенсон Л. Б. Дробление, грохочение полезных ископаемых / Л.Б. Левенсон, Б.И. Прейгерзон. – М.-Л. : Гостоптехиздат, 1940. – 771 с.
12. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. Под ред. О.С.Богданова и др. М.: Недра, 1982, 365с.
13. Бочков В. С., Лагунова Ю. А. Обзор и перспективы развития конусных дробилок, разрушающих горную породу "в слое" / Бочков В.С., Лагунова Ю.А./ В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности Сборник трудов XVI международной научно-технической конференции в рамках Уральской горнопромышленной декады. Под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. 2018. С. 143-147.



## АППАРАТЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗДУХА

ПОТАПОВ В. Я., АФАНАСЬЕВ А. И., ПОТАПОВ В. В., АНОХИН П. М., КУЗНЕЦОВ А. М.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье выполнен анализ существующих аппаратов для разделения горных пород с использованием направленного потока воздуха. Анализ приведенных конструкции аппаратов для разделения горных пород показал, что в качестве разделительных признаков для их разделения используется один. Это трение, упругость, форма или твердость полезного компонента и вмещающих пород. Внедрение новых аппаратов по одному признаку разделения лишь частично обеспечивает возможности качественного разделения горных пород. Наиболее перспективным направлением в совершенствовании и проектировании разделительных аппаратов является создание аппаратов, использующих комплекс физико-механических свойств горных пород, что обеспечивает более полное разделение полезных ископаемых в одном аппарате.

**Ключевые слова:** анализ, конструкции аппаратов, горные породы, разделительные признаки, трение, упругость, форма, твердость.

## APPARATUS FOR SEPARATING ROCK USING AIR

POTAPOV V. YA., AFANASYEV A. I., POTAPOV V. V., ANOKHIN P. M., KUZNETSOV A. M.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article analyzes existing devices for separating rocks using directed air flow. An analysis of the given designs of apparatus for separating rocks showed that one is used as separating signs for their separation. These are friction, elasticity, shape or hardness of the useful component and host rocks. The introduction of new devices based on one separation criterion only partially ensures the possibility of high-quality separation of rocks. The most promising direction in improving and designing separation devices is the creation of devices that use a complex of physical and mechanical properties of rocks, which ensures a more complete separation of minerals in one device.

**Keywords:** analysis, apparatus designs, rocks, separating features, friction, elasticity, shape, hardness.

Разделительные устройства для сухого разделения обычно классифицируют по различным признакам, в частности, например по характеру движения воздушного потока, способу подачи материала, конструктивным особенностям рабочего органа и т.д. Эта классификация не содержит характеристик завершенности процессов разделения кусков горной массы. Известно, что разные по конструкции аппараты обладают различной разделительной способностью, что должно быть определяющим в любой их классификации и оценке эффективности [1]. Рассмотрим конструкционные особенности аппаратов для разделения горных пород с использованием направленного потока воздуха

На рис. 1( а, б) приведена схема сепаратора «Ведаг» с выносными циклонами и внешним вентилятором [1]. Характерной особенностью этого аппарата следует признать каскадную перечистку крупного продукта, организованную в нижней части корпуса. Это

предопределяет то, что аппаратам с выносными циклонами свойственны несколько более высокие производительность и эффективность разделения.

Аппараты эти достаточно сложны и громоздки. Применяются для тех же целей, что и сепараторы с внутренней циркуляцией.

Плоскостной сепаратор для обогащения по форме и парусности (рис. 2, з) снабжен разгонной площадкой 1 разгрузочной щелью, отражательным выступом. Особенностью сепаратора является наличие перфорированной площадки 2 у отражательного выступа 3 и соединение этой площадки с разгрузочной щелью канала 5, в котором установлен вентилятор б.

Подача воздуха через перфорации площадки позволяет исключить удары частиц пластинчатой формы (слюды) об отражающий выступ, а забор воздуха из щели 4 при герметизации разгрузочного устройства 7 приводит к селективному увлечению в щель 4 частиц, имеющих повышенную парусность, т. е. частиц слюды. Округлые частицы ударяются о выступ 3 и проходят над щелью 4 выше плоских частиц и выводятся в хвостовой продукт [2].

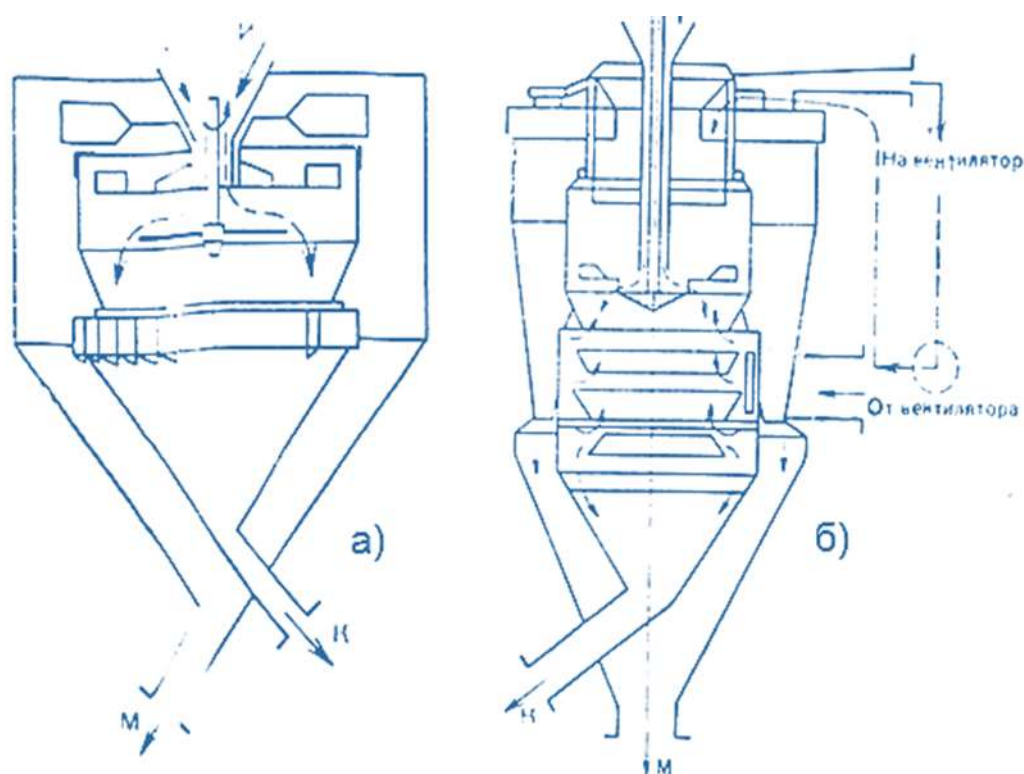


Рисунок 1. Центробежные сепараторы с внутренней циркуляцией конструкции Л.И. Фетисова (а), с выносными циклонами «Ведаг» (б)

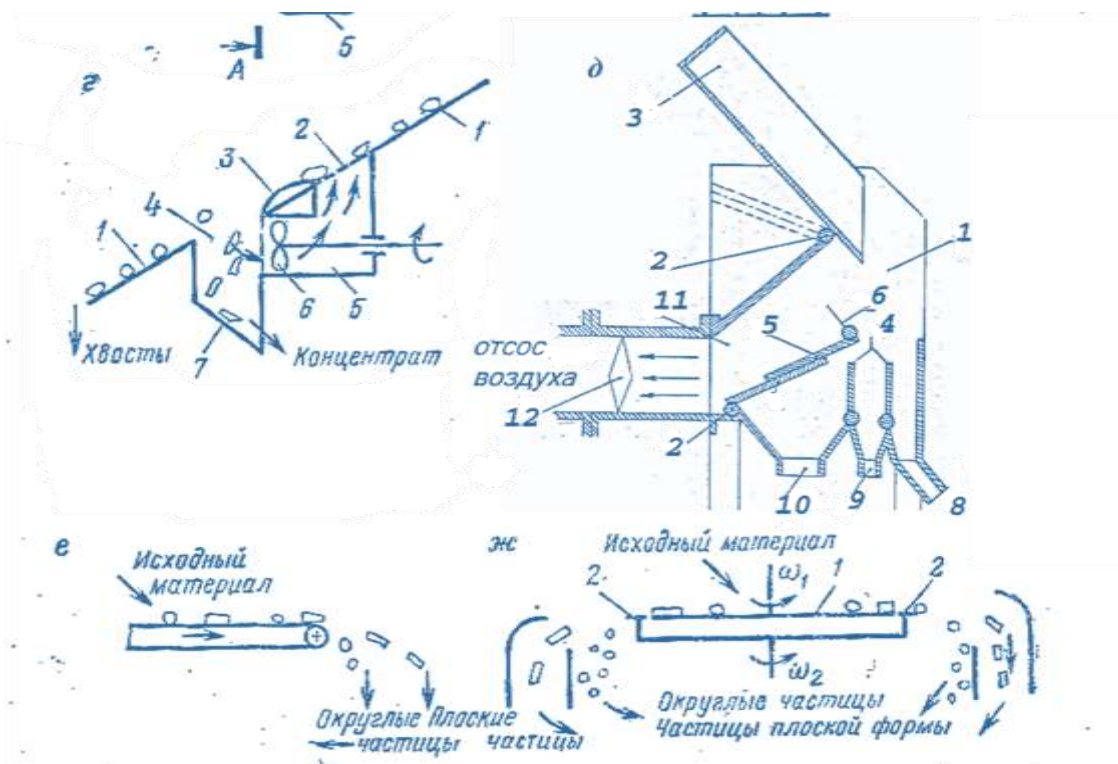


Рисунок 2. Плоскостной сепаратор для обогащения по форме и парусности

Различие в коэффициентах трения плоских и округлых частиц и их парусности реализовано в полочном сепараторе (см. рис.2, д), предназначенном для обогащения смеси слюда-гранит-кварц крупностью менее 5 мм. В корпусе 1 установлена наклонная полка 3 с трамплином, параметры которого (угол поворота, длину) регулируют валом-рычагом 2, приемники продуктов разделения с регулировочными шиберами 4, выдвижная шторка 5, наклонная заслонка 6, поворотная нижняя стенка 7 воздушной камеры, желоба для разгрузки породы 8, 9, 10. Приемник для слюды соединен воздушной камерой для отсоса слюды 11 с всасывающим патрубком вентилятора и перекрывается поворотной заслонкой 12. При подаче материала на полку 3 сепаратора округлые частицы на подходе к трамплину достигают более высоких скоростей, чем плоские частицы слюды, вследствие значительных различий в коэффициентах трения качения и скольжения слюды. На трамплине скорости движения частиц гасятся селективно, и различия в скоростях движения частиц гранита 1 слюды возрастают. Из-за различий в траекториях движения округлых и плоских частиц и различии в их парусности частицы слюды отклоняются в бункер слюдяного концентрата и осаждаются в нем [5,6 – 16].

На ленточном сепараторе-конвейере (см. рис. 2, е) частицы плоской формы движутся по более пологой траектории и пролетают большее расстояние. Траектория частиц определяется также парусностью частиц. Из-за различий в форме частиц наблюдаются резкое изменение траектории их (кувыркание) и, как следствие, низкие показатели.

Поперечно-поточный сепаратор для классификации материалов, склонных к слипанию, приведен на рис. 3, а. С целью разрушения агломератов частиц в рабочей зоне установлен ряд однотипных отбойных угольников. Однако наряду с положительными воздействиями на процесс они вызывают появление отрицательного фактора, связанного с нарушением равномерности поля скоростей потока вследствие образования вихрей, что в свою очередь, вызывает усиление перемешивания частиц [1].

На рис. 3, б представлен поперечно-поточный сепаратор. Процесс сепарации осуществляется следующим образом.

От исходного материала, поступающего на первую пересыпную полку, отделяется поперечным потоком воздуха часть тонких фракций. Образовавшийся при этом полуфабрикат крупного продукта, ссыпаясь на вторую полку, в очередной раз продувается воздушным потоком, причем от него отделяется еще некоторое количество тонких фракций и т. д. Процесс продолжается до необходимой степени обеспыливания грубого продукта (для чего устанавливается нужное число сепарационных ступеней).

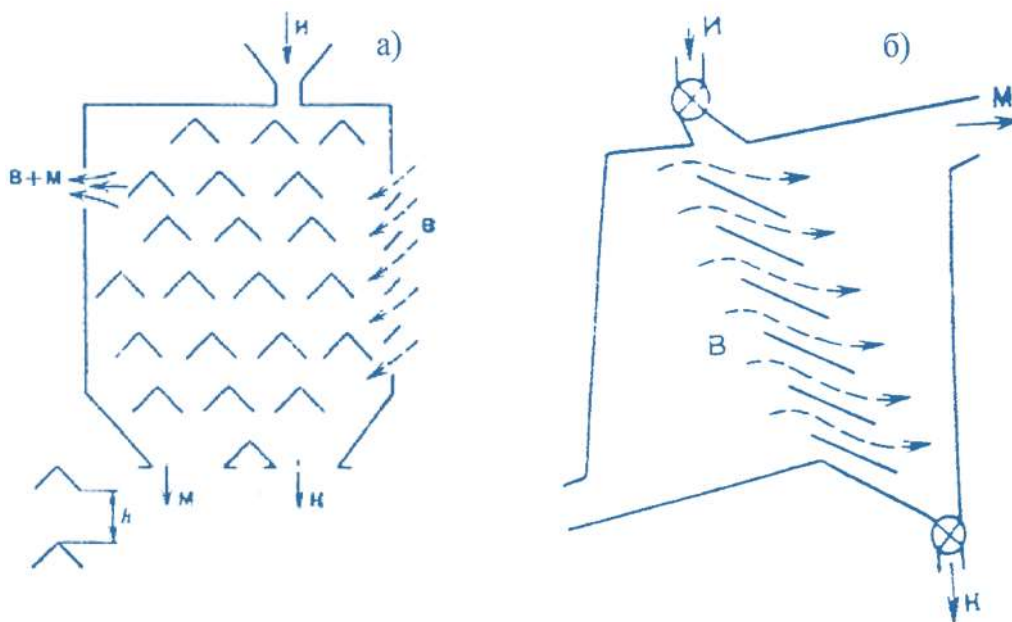


Рисунок 3. Поперечно-поточный сепаратор для классификации материалов, склонных к слипанию (а), каскадный поперечно-поточный сепаратор (б)

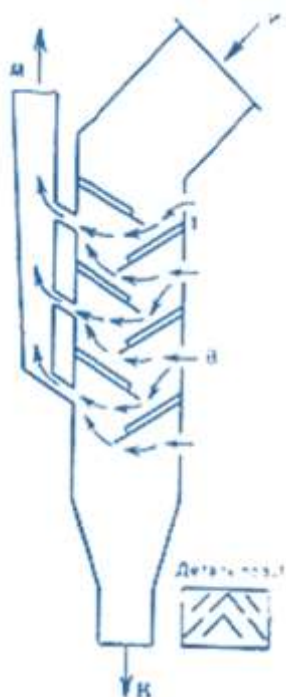


Рисунок 4. Каскадный сепаратор с горизонтальным потоком воздуха

Безусловно, качество сепарации в данном случае выше, чем при одноактном разделении в аналогичном процессе. Из недостатков аппарата отмечено два. Во-первых, трудно организовать равномерный расход питания всех ступеней каскада воздухом, что влечет за собой реализацию разных границ разделения на этих ступенях и общее понижение эффективности сепарации. Во-вторых, в данном аппарате, в отличие от крупного продукта, мелкий не подвергается многократной пересортировке, что также отражается на эффективности сепарации неблагоприятным образом [1].

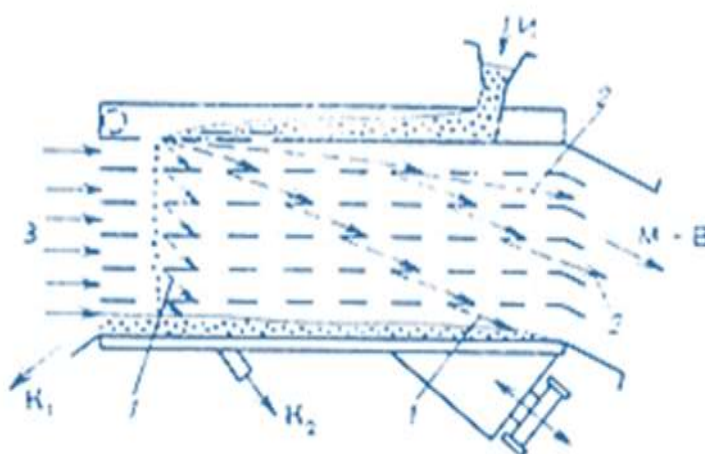
Каскадный сепаратор с горизонтальным потоком воздуха (рис.4.).

Он очень похож на каскадный поперечно-поточный сепаратор, принципиально ничем от него не отличается.

Пересыпные полки последнего аппарата для лучшего распределения классифицируемого материала и рабочей зоне снабжены специальными ребрами (поз. 1). Установка пересыпных полок в шахматном порядке создает более благоприятные условия для разрушения агломератов, кроме того предотвращается явление проскакивания части крупных частиц через несколько классификационных ступеней. Последнее отличие рассматриваемого аппарата, только уже не в выигрышную сторону, заключается в меньшей

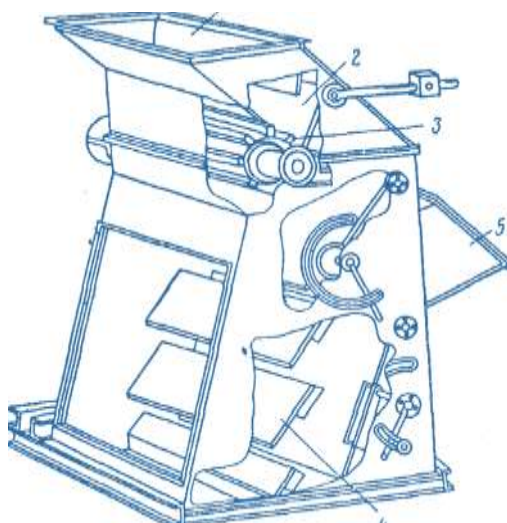
протяженности зоны сепарации и горизонтальном (по ходу воздуха) направлении, предопределяющей при прочих равных условиях большее загрязнение мелкого продукта.

К каскадным аппаратам относится сепаратор фирмы «Иост» (рис. 5).



**Рисунок 5. Вибрационный каскадный классификатор с горизонтальным потоком воздуха**

Исходный материал, предварительно освобожденный от классов, крупность которых превышает максимально допустимую (продукт  $K_2$ ), поступает в сепарационное пространство, где под действием силы сопротивления потока и гравитационной силы частицы начинают двигаться по индивидуальным траекториям, определяемым их размерами. На рисунке в качестве примера приведены упрощенные траектории движения крупных 1 и мелких 2 частиц. При попадании материала на пересыпные полки происходит разрушение агломератов. После схода с полок твердая фаза вновь подвергается действию воздушного потока. С целью обеспечения удовлетворительного питания классификатора исходным материалом, выгрузки крупности фракции, а также незатрудненного схода с пересыпных полок аппарат подвергается вибрационным колебаниям. Для увеличения производительности данные конструкции соединяются в компактные разделительные блоки. Основной недостаток каскадных сепараторов: диапазон крупности разделяемых зерен это порядка 50 – 10000 мкм. Для разделения асбеста крупности  $-50 \times 0$  мм, применяются каскадные воздушно-проходные сепараторы ВПС (рис. 6), в которых асбестовое волокно (условно легкая фракция) отсасывается горизонтальным потоком воздуха из вертикально падающей руды.



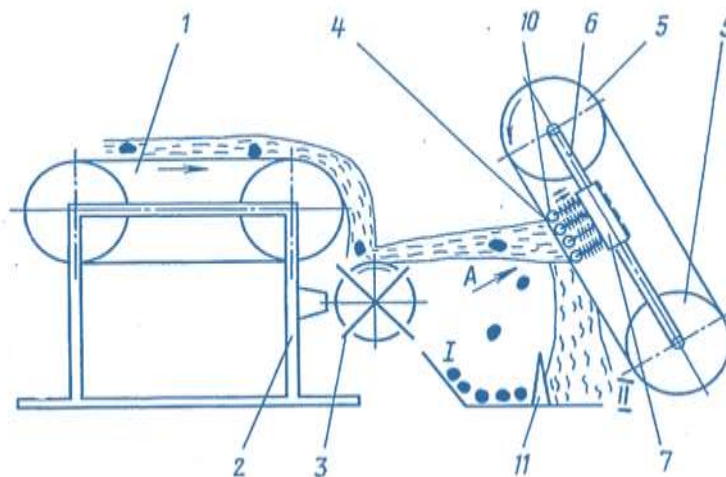
**Рисунок 6. Воздушно-проходной сепаратор ВПС:**

1 – приемная воронка; 2 – шибер; 3 – питатель; 4 – отбойные полки; 5 – патрубок всасывающего трубопровода

Сепаратор представляет собой вертикально расположенную камеру прямоугольного сечения, снабженную внутри отбойными полками, замедляющими падение загружаемой сверху руды. Отсасывание производится вентилятором. Извлекаемый материал (концентрат), состоящий из асбестового волокна со значительной примесью мелких частиц пустой породы и пыли, улавливается в циклонах и направляется на дальнейшую переработку [4].

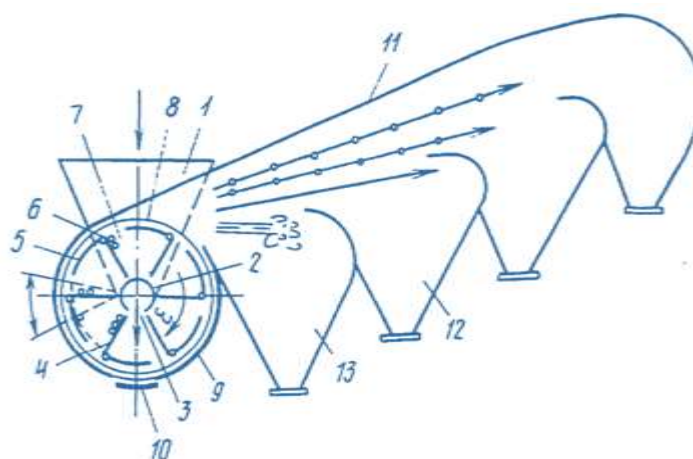
Для разделения горных масс по упругости используются также сепараторы метательного типа [6, 7].

В данных сепараторах разделения разнокомпонентных смесей осуществляется за счет отрагательной плоскости, с возможностью изменения пространственного положения, расположенной напротив метателя (рис.7.–11.).



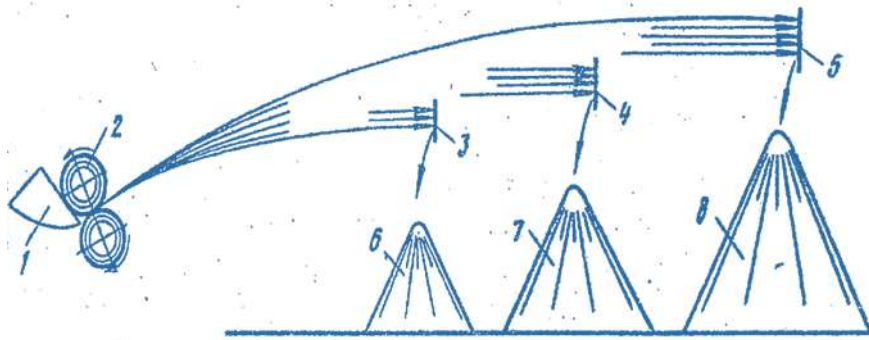
**Рисунок 7. Сепаратор для разделения смесей:**

1 – подающий конвейер; 2 – рама; 3 – лопастной метатель; 4 – разделяющий орган; 5 – обводные барабаны; 6 – рама; 7 – щит; 8 – направляющие; 9 – пружины; 10 – ролики

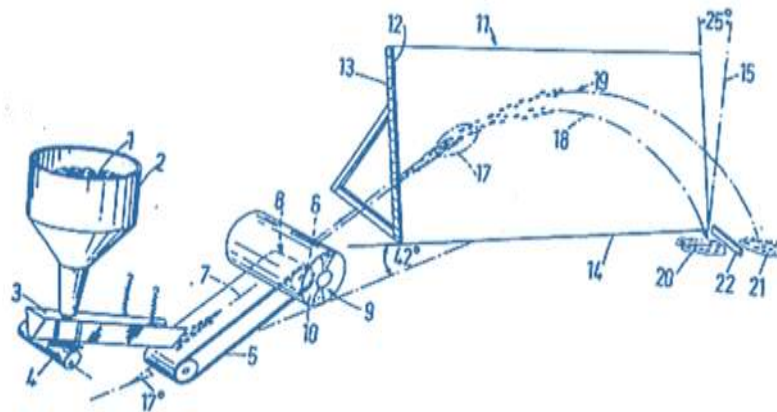


**Рисунок 8. Устройство для классификации зернистых материалов:**

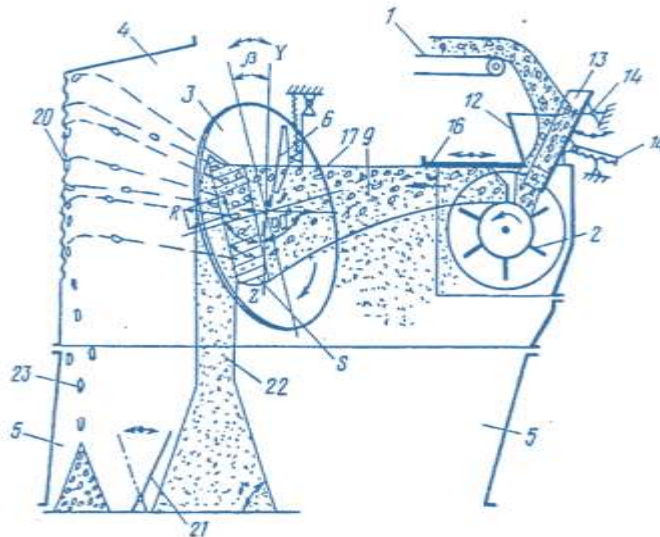
1 – бункер; 2 – трубопровод; 3 – щель; 4 – лопасти; 5 – криволинейная крышка; 6 – шарнирное закрепление; 7 – зазор; 8 – торцевые диски; 9 – корпус; 10 – отверстие для ликвидации просыпи материала; 11 – кожух; 12 – приемник для фиксации материала; 13 – приемник для пылевидных частиц



**Рисунок 9. Устройство для классификации сыпучих материалов:**  
 1 – загрузочное приспособление; 2 – двухроторный пневмобаллонный метатель;  
 3, 4, 5 – отбойные щиты; 6, 7, 8 – разделные фракции



**Рисунок 10. Устройство для разделения смесей по фрикционным свойствам:**  
 1 – загрузочная воронка с материалом 2; 3 – виброплоскость; 4 – привод виброплоскости; 5 – ленточный конвейер; 6 – метательный барабан с лопатками; 7 – линия траектории движения частиц; 8 – головка конвейера; 9, 10 – зоны разделения; 11 – плоскость, закрепленная на стойке 12 с упругими элементами; 13; 14 – разделительная зона; 15 – образующая угла наклона; 17 – 21 – траектории движения; 22 – шибер



**Рисунок 11. Устройство для разделения смесей по свойствам упругости компонентов:**  
 1 – разгрузочный транспортер; 2 – лопастной метатель; 3 – отражательная плита; 4 – рабочая камера;  
 5 – сборники; 6 – скребок; 7 – тележка; 8 – рама; 9 – струя; 10 – шарнир; 11 – тележка; 12 – узел регулирования сечения струи; 13 – лоток; 14 – шарниры регулировки угла наклона; 15 – поворотные закрылки; 16 – воротниковое прикрытие; 17 – верхняя зона; 18 – верхний контактный слой; 19 – подложка контактного слоя; 20 – вертикальная стенка; 21 – регулируемая заслонка; 22 – емкость для очищенного компоста; 23 – емкость для твердых балластных составляющих

Основной недостаток таких устройств – низкая эффективность классификации, невозможность использовать для разделения волокнистых асбеста и чешуйчатых материалов (слюд).

Выводы: Анализ приведенных конструкции аппаратов для разделения горных пород показал, что в качестве разделительных признаков для их разделения используется один. Это трение, упругость, форма или твердость полезного компонента и вмещающих пород.

Наиболее перспективным, на наш взгляд, направлением в совершенствовании и проектировании разделительных аппаратов является создание аппаратов, использующих комплекс физико-механических свойств горных пород, что обеспечивает более полное разделение полезных ископаемых в одном аппарате.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барский М. Д. Фракционирование порошков. М., Недра, 1980. 327 с.
2. Кравец Б. Н. Специальные и комбинированные методы обогащения. М.: Недра, 1986. 340 с.
3. Олюнин В. В. Переработка нерудных строительных материалов
4. Справочник по обогащению руд. В 3-х т. Гл. ред. О. С. Богданов. Т. 2 «Основные и вспомогательные процессы», ч. II «Специальные и вспомогательные процессы, испытания обогатимости, контроль и автоматика. М.: Недра, 1974. 452 с.
5. Седых В. Н. и др. Разработка и обогащение слюдяных руд. М.: Недра, 1965. 210 с.
6. А. с. 1323143 СССР, МКИЗ В07В7/04, 13/10. Устройство для разделения смесей по свойствам упругости компонентов/ Е. М. Колосов, В. И. Важнов. 5 с.
7. Separation method and apparatus: United States Patent Douglas et al. 3,876,074 Apr. 8, 1975. Edward Douglas, Christopher Harvey Duffell, Terence Walsh, Peter Mark Harris.
8. Исследование обогатимости пород внутренней вскрыши Кулетского месторождения мусковит – гранат – кварцевых сланцев с целью комплексного использования сырья: Отчет. Е. П. Александрова. Свердловск, 1981. 69 с.
9. Келина И. М. О коэффициентах трения минералов при обогащении слюдосодержащих сланцев на полочном воздушном сепараторе/ И. М. Келина, Е. Ф. Цыпин, Е. П. Александрова // Известия вузов. Горный журнал. 1983. № 4. С. 126-129.
10. Александрова Е. П., Тихонов О. Н. Анализ закономерностей разделения минералов и выбор оптимальных режимов для полочного воздушного сепаратора // Цветные металлы. 1986. № 6. С. 12-17.
11. Потапов В. Я. Комбинированная технология предварительного обогащения асбестовых руд: дисс. канд. техн. наук. Екатеринбург, 1999. 205 с.
12. Рабочий процесс полочного фрикционного сепаратора с криволинейным трамплином переменной кривизны/ П. М. Анохин, А. И. Афанасьев, В. Я. Потапов, Ю. М. Казаков // Известия УГГУ. 2016. Выпуск 2(42). С. 70-72.
13. Рабочий процесс трехстадийного фрикционно-воздушного сепаратора с криволинейным трамплином / П. М. Анохин, А. И. Афанасьев, В. Я. Потапов, Ю. М. Казаков // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 8. С. 49-54.
14. Математическое моделирование технологии классификации глиноземов в аэродинамических потоках фрикционных аппаратов/ В. Я. Потапов, В. Н. Макаров, Н. В. Макаров, В. В. Потапов, П. М. Анохин // Вестник Забайкальского государственного университета. 2017. Т. 23, № 1. С. 44-51.
15. Разработка фрикционных сепараторов использующих физико-механические характеристики материалов / В. Я. Потапов, В. В. Потапов, А. В. Семёнов, П. М. Анохин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 5. С. 57-67.



## ВЛИЯНИЕ СОСТАВОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СКЛАДИРУЕМЫХ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ

КОЛОГРИВКО А. А., КУЗЬМИЧ В. А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Представлен анализ исследований минералогического, химического и гранулометрического составов галитовых отходов обогащения руд Старобинского и Верхнекамского месторождений. Изложено влияние составов на изменение физико-механических свойств галитовых отходов в процессе их складирования.

**Ключевые слова:** калийные руды, галитовые отходы, обогащение калийных руд, минералогический, химический и гранулометрический составы.

## EFFECT OF COMPOSITIONS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF STORED HALITE WASTE

KOLOGRIVKO A. A., KUZMICH V. A.

Belarusian National University of Technology, Minsk, Belarus

**Abstract.** The analysis of studies of mineralogical, chemical and granulometric compositions of halite waste from ore enrichment of Starobinskoye and Verkhnekamskoye deposits is presented. The influence of the compositions on the change in the physical and mechanical properties of halite waste during their storage is described.

**Keywords:** potash ores, halite waste, enrichment of potash ores, mineralogical, chemical and granulometric compositions.

Галитовые отходы, складированные в солеотвалы, представляют рыхлую трехфазную систему, состоящую из смеси твердых минеральных частиц, насыщенных рассолов и различного рода газов.

Минералогический и химический составы галитовых отходов являются полиминеральными и в целом определяются минералами галопелитов, входящими в состав руды, которая подвергается флотационному обогащению. В связи с тем, что галопелиты Старобинского и Верхнекамского месторождений сложены в основном одними и теми же минеральными компонентами, минералогический состав хвостов обогащения на каждом из месторождений незначительно отличается по качественному и количественному составу. Структура минералов – кристаллически-зернистая. Размеры зерен – различны, преимущественно средние и крупные. Величина зерен в зависимости от степени дробления изменяется от нескольких до тысячных долей миллиметра. Форма их связана с происходящими деформациями в процессе обогащения, что предопределяет своеобразие их физико-механических свойств, отличных от свойств других несвязных пород.

Анализ изучения химического состава галитовых отходов при флотационном методе обогащения [1-7] показывает, что преобладающую роль в них играет NaCl с небольшими примесями KCl и других солей, нерастворимого остатка (н.о.), представленного преимущественно глинистой фракцией, в составе которой содержатся в основном гидрослюда, хлориты и иногда смешаннослойные образования хлорит-монтмориллонитового и хлорит-вермикулитового типов.

В целом, в химическом отношении галитовые отходы Старобинского и Верхнекамского месторождений при флотационном методе обогащения руд имеют усредненные показатели, представленные в таблицах 1 и 2. Так, руды Старобинского месторождения калийных солей характеризуются относительно невысоким содержанием KCl 23,0-28,7 % и повышенной концентрацией нерастворимых в воде примесей 3,9-5,6 %. Руды Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей содержат KCl от 5,8 до 60 %, MgCl<sub>2</sub> от 16,4 до 22,2 %, среднее содержание н.о. составляет порядка 2 % [8].

**Таблица 1 – Усредненные пределы химического состава галитовых отходов Старобинского месторождения (с учетом Нежинского участка)**

| Содержание компонентов, % |         |           |                   |                   |                   |         |
|---------------------------|---------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| NaCl                      | KCl     | CaCl      | CaSO <sub>4</sub> | MgCl <sub>2</sub> | MgSO <sub>4</sub> | н.о.    |
| 85-95                     | 3,0-5,0 | 0,02-0,35 | 0,10-1,27         | 0,04-0,2          | 0,1-0,15          | 2,0-4,5 |

**Таблица 2 – Усредненные пределы химического состава галитовых отходов Верхнекамского месторождения (с учетом Усольского участка)**

| Содержание компонентов, % |           |                   |                   |                   |           |                  |
|---------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|------------------|
| NaCl                      | KCl       | CaSO <sub>4</sub> | MgCl <sub>2</sub> | MgSO <sub>4</sub> | н.о.      | H <sub>2</sub> O |
| 85,27-98,00               | 0,11-3,40 | 1,3-3,0           | 0,01-0,20         | 0,05-0,07         | 0,07-3,00 | 0,1-8,0          |

Анализ изучения минералогического состава галитовых отходов для условий Старобинского и Верхнекамского месторождений, в значительной мере определяемый составом исходной руды и флотационным методом обогащения, показывает, что для условий Старобинского месторождения наблюдается повышенное содержание н.о., обусловленное присутствием в руде галопелитов и имеющее глинистую составляющую. По основной же части NaCl принципиальных отклонений не прослеживается [4].

Свежие галитовые отходы, поступающие в солеотвал с флотационной обогатительной фабрики, содержат рассолы в пределах 6-22 % [1-3, 5]. В химическом отношении они представлены рапой [1]. Анализ степени ее минерализации [2, 3, 5], позволяет заключить ее показатели в пределах 340-375 г/л.

Процесс отжатия жидкой фазы с одновременным уплотнением галитовых отходов продолжается не более 18 ч, после чего интенсивность его снижается. Выход первичной рапы составляет 50-70 % от исходной влажности галитовых отходов (12-18 %), что составляет 6-8 % от веса складированных солеотходов [1], достигая влажности 5-8 %. Влажность галитовых отходов Усольского калийного комбината составляет 8 % [8]. Действие статических нагрузок от веса вышележащих слоев галитовых отходов вызывает отток жидкой фазы и собственно уплотнение пород солеотвала. Их влажность снижается до 0,9-2,8 %. В гранулометрическом отношении галитовые отходы представляют собой рыхлую песчаную массу, крупность частиц которой зависит от степени помола руды. Если галитовые отходы рассматривать как обычные дисперсные образования, то они представляют собой легкие супеси или разнозернистые пески.

Анализ исследований гранулометрических составов галитовых отходов Старобинского месторождения [1-3, 5, 9], получаемых при флотационном методе обогащения, позволяет представить их следующий усредненный состав при среднем диаметре частиц 0,45 мм (таблица 3). Усредненный гранулометрический состав, определенный стандартным ситовым методом для свежееотсыпанных и слежавшихся галитовых отвалов Верхнекамского месторождения представлен в таблице 4.

Галитовые отходы можно характеризовать как неоднородные со степенью неоднородности их зернового состава более 3 и равной 3,8 (для свежееотсыпанных галитовых отходов) и 8,5 (для слежавшихся галитовых отходов). На свежееотсыпанном солеотвале с глубиной наблюдается снижение количества частиц размером 3,0-0,5 мм и рост доли мелкой и

средней фракции 0,5-0,1 мм, что может быть обусловлено растворяющим действием атмосферной влаги и рассолов на галитовые отходы.

**Таблица 3 – Усредненный гранулометрический состав галитовых отходов Старобинского месторождения**

| Фракция (диаметр частиц), мм |         |         |          |          |           |             |
|------------------------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-------------|
| 5,0-2,0                      | 2,0-1,0 | 1,0-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,1 | 0,1-0,005 | менее 0,005 |
| Содержание частиц, %         |         |         |          |          |           |             |
| 0,38                         | 1,47    | 38,83   | 28,09    | 14,79    | 12,58     | 3,48        |

**Таблица 4 – Усредненный гранулометрический состав галитовых отходов Верхнекамского месторождения**

| Фракция (диаметр частиц), мм                              |     |     |       |          |          |           |
|---|-----|-----|-------|----------|----------|-----------|
| более 3   | 3-2 | 2-1 | 1-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,1 | менее 0,1 |
| Среднее содержание частиц свежееотсыпанного солеотвала, % |     |     |       |          |          |           |
| 2   | 7   | 33  | 27    | 23       | 6        | 2         |
| Среднее содержание частиц слежавшегося солеотвала, %      |     |     |       |          |          |           |
| 2   | 5   | 27  | 25    | 22       | 9        | 10        |

Анализ значений минералогической плотности галитовых отходов [1-3, 10] позволяет определить значения плотности слагающих их минералов в устойчивых пределах 2,0-2,2 г/см<sup>3</sup>, что может рассматриваться с позиции постоянства их минерального состава (NaCl, KCl, глинистые минералы). Более высокие значения плотности объясняются большим содержанием тяжелого глинистого материала.

Химический состав, пористость, влажность, рассолосодержание определяют плотность галитовых отходов. Так, анализ значений плотности складываемых свежих галитовых отходов [2-5] показывает их устойчивые значения в пределах 1,2-1,4 г/см<sup>3</sup> (при пористости 35-40 %). Анализ исследований [5] образцов техногенных соляных отложений, отобранных на различных глубинах в солеотвалах, позволяет характеризовать их пористость в пределах от 12 до 15 %, а значения их плотности в пределах от 1,75 до 1,90 г/см<sup>3</sup>.

Анализ исследований влажности складываемых галитовых отходов [1, 3, 5] позволяет считать ее колебания в весьма широких пределах. Так, для условий Старобинского месторождения средние значения влажности колеблются в пределах 8-14 %, при минимальных ее значениях 5 %, максимальных – 22 %. Анализ значений колебаний влажности верхней зоны солеотвалов позволяет характеризовать ее колебания как весьма значительные – от воздушно-сухой, когда влажность близка значениям гигроскопической влажности 0,5-1,0 % до влажности 20-25 % в период выпадения осадков.

Анализ результатов исследований образцов галитовых отходов в условиях Старобинского месторождения [1, 10-12] позволяет установить, что величина гигроскопичности галитовых отходов находится в определенной зависимости от дефицита влажности окружающей атмосферы, времени соприкосновения с ней, степени уплотненности образцов, их удельной поверхности. Так, ниже порогов гигроскопичности 74-75 % и температурах 5-8 °С гигроскопическая влажность галитовых отходов находится в пределах 0,20-0,90 %, причем с ростом абсолютной влажности воздуха соответственно происходит медленно развивающееся во времени увеличение гигроскопичности. При относительной влажности воздуха 74-75 % и температурах 5-8 °С происходит резкое увеличение скоростей протекания гидросорбционных процессов и соответственно повышение гигроскопичности.

Анализ показателей плотности галитовых отходов [1, 5, 10-12] позволяет представить их колебания в весьма широких пределах – от 1,2-1,40 г/см<sup>3</sup> в рыхлом состоянии до 2,0 г/см<sup>3</sup> в уплотненных зонах солеотвалов.

Способность к растворению является доминирующей в развитии водно-эрозионных и карстовых процессов в теле солеотвала. Абсолютные значения растворимости для KCl составляют 283,7-362,5 г/л H<sub>2</sub>O, а для NaCl – 356,5-391,8 г/л H<sub>2</sub>O в диапазоне температур 0-100 °С. При совместном растворении KCl и NaCl значения растворимости каждой из солей значительно ниже, чем при раздельном, поскольку эти соли содержат общий ион Cl<sup>-</sup>.

При повышении минерализации увеличиваются плотность и вязкость рассолов NaCl. Плотность насыщенных рассолов на 20 % выше плотности пресной воды, а динамическая вязкость выше вязкости пресной воды почти на 200 % [1]. При повышении температуры вязкость рассолов NaCl падает, как и вязкость пресной воды.

Анализ результатов исследований коэффициентов фильтрации галитовых отходов различной плотности и влажности [1, 9, 12] при использовании в качестве фильтрующей жидкости высокоминерализованных рассолов из источников солеотвалов позволяет заключить, что диапазон рассолопроницаемости галитовых отходов различной плотности весьма велик (таблица 5).

**Таблица 5 – Показатели коэффициента фильтрации галитовых отходов различной степени уплотненности**

| Показатели                           | Степень уплотненности |                   |                    |                    |         |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------|
|                                      | рыхлые                | слабо-уплотненные | средне-уплотненные | сильно-уплотненные | монолит |
| Плотность, %                         | 0,70                  | 0,70-0,50         | 0,50-0,30          | 0,30-0,10          | 0,1     |
| Пористость, %                        | 45                    | 45-35             | 35-25              | 25-5               | 5       |
| Общая плотность, г/см <sup>3</sup>   | 1,50                  | 1,40-1,60         | 1,60-1,80          | 1,80-1,95          | 1,95    |
| Плотность скелета, г/см <sup>3</sup> | 1,25                  | 1,25-1,50         | 1,50-1,70          | 1,70-1,90          | 1,90    |
| Коэффициент фильтрации, м/сут        | 10,00                 | 0,5-10,0          | 0,05-0,50          | 0,0-0,0005         | 0       |

Так, по фильтрационным свойствам, в соответствии со средними статистическими показателями инженерно-геологических свойств горных пород как грунтов оснований и сооружений, рыхлые и слабо уплотненные галитовые отходы соответствуют водопроницаемости крупнозернистых песков. Фильтрация же рассолов средне- и слабо уплотненных подобна фильтрации в супесчаных породах. Сильноуплотненные разности галитовых отходов фильтруют аналогично глинистым грунтам. Монолитные и высокоуплотненные галитовые отходы являются рассолонепроницаемыми.

Анализ результатов исследований свойств галитовых отходов позволяет заключить, что в зависимости от фазового состава, состояния плотности и влажности в теле солеотвалов могут быть выделены соответствующие разности с различными классификационными показателями. Вместе с тем, следует заметить, что в некоторых случаях может отмечаться отсутствие четкой закономерности в увеличении плотности и уменьшения пористости с глубиной, что может объясняться, например, режимом складирования галитовых отходов, влияющего на зависимость уплотнения от скорости складирования, состояния среды, в которую они складываются, стохастическим воздействием во времени атмосферных условий.

Анализ влияния химического, минералогического и гранулометрического составов на физико-механические свойства складированных галитовых отходов позволяет представить следующие выводы: в процессе физико-механических изменений составов галитовых отходов формируется солеотвал с высокими значениями плотности в упроченных зонах и низкими значениями пористости, зависящих от степени литификации солеотвалов и связанной с наличием различных по форме и размерам промежутков между отдельными кристаллами и зёрнами солей, заполненных рассолом или воздухом; плотность и пористость, находятся, как правило, в тесной связи со временем существования галитовых отходов, глубиной и степенью литификации солеотвалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колпашников, Г.А. Техногенез и геологическая среда / Г.А. Колпашников. – Минск: БНТУ. – 2006. – 182 с.
2. Смычник, А.Д. Геоэкология калийного производства / А.Д. Смычник, Б.А. Богатов, С.Ф. Шемет. – Минск: ЗАО «Юнипак». – 2005. – 204 с.
3. Богатов, Б.А. Открытые горные работы калийного производства в Беларуси / Б.А. Богатов, А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет. – Минск: УП «Технопринт». – 2004. – 255 с.
4. Кологривко, А.А. Методики изучения физико-механических свойств солеотходов / А.А. Кологривко // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых, социальных и инженерных подходов : сб. материалов X Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 30 марта 2017 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; ред.: С.Ю. Солодовников [и др.]. – Минск, 2017. – С. 23–27.
5. Клементьев, В.П. Уплотнение галитовых отходов как фактор защиты подземных вод от проникновения в них рассолов / В.П. Клементьев, Ю.П. Еременко, Г.А. Колпашников // Доклады Академии наук БССР. – 1973. – Том XVII, №3. – С. 260–262.
6. Кологривко, А.А. Минералогический и химический состав солеотходов, получаемых при флотационном обогащении / А.А. Кологривко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 15-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14 апр. 2017 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюк, А.С. Калининиченко. – Минск, 2017. – Т. 3. – С. 234.
7. Строительный проект «2РУ. Развитие солеотвала на 2017-2018 г.г. Увеличение площади складирования галитовых отходов до 2045 года». Первая очередь. Т.1. Минск, ОАО «Белгорхимпром». – 54 с.
8. Исходные данные для проектной документации на складирование солеотходов на солеотвале Усольского калийного комбината. Договор №181/2009. Пермь: ОАО «Галургия», 2000. – 79 с.
9. Проектирование оснований сооружений на насыпных соляных грунтах: ВСН 14-85. – Введ. 01.01.1985 Минудобрений. – 1986. – 48 с.
10. Кологривко, А.А. Прогнозирование физико-механических характеристик складированных гидронамывом солеотходов Усольского калийного комбината / А.А. Кологривко // Новые идеи в науках о Земле: сб. материалов XIII междунар. науч.-практич. конф., Москва, 5-7 апр. 2017 г. : в 2 т. / Рос. гос. геологоразвед. ун-т им. С. Орджоникидзе ; редкол.: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. – Москва, 2017. – Т.1. – С. 356 – 357.
11. Кологривко, А.А. Влияние процессов конденсации в солеотвалах на прочностные свойства солеотходов / А.А. Кологривко // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : материалы 13-ой Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 2-3 нояб. 2017г. : в 2 т. / Тул. гос. ун-т ; ред. : Р.А. Ковалев. – Тула, 2017. – Т. 1. – С. 83 – 88.
12. Колпашников, Г.А. Уплотнение галитовых отходов при складировании в терриконы как фактор устойчивости отвалов калийного производства / Г.А. Колпашников, Д.В. Ромашко // Вестник БНТУ. – 2003. – №5. – С. 5–10.

УДК 622.621

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РУДНИЧНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

УГОЛЬНИКОВ А. В.<sup>1</sup>, ПОТАПОВ В. Я.<sup>1</sup>, ПОТАПОВ В. В.<sup>1</sup>, УГОЛЬНИКОВА А. Е.<sup>1</sup>,  
ПАРАМОНОВА А. А.<sup>2</sup>

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург  
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

**Аннотация.** Эффективность в эксплуатации любого объекта технической системы достигается путем поиска и принятия оптимальных решений на различных этапах функционирования объекта. Оценка критериев эффективности может быть получена путем математического моделирования альтернативных вариантов и использующего их сравнения или с помощью экспертных оценок.

При этом используют укрупненные критерии эффективности: стоимость, производительность, энергозатраты, выходной контролируемый показатель, надежность, которые, упорядочив по степени значимости, образуют векторный критерий. Для решения такой задачи представлено математической моделью в виде неоднородной системы линейных разностных уравнений.

**Ключевые слова:** компрессорные агрегаты, пневматическая сеть, потребители сжатого воздуха, критерии эффективности, алгоритм решения, математическая модель.

### A MATHEMATICAL MODEL OF THE OPERATION OF MINE COMPRESSOR UNITS

UGOLNIKOV A. V.<sup>1</sup>, POTAPOV V. YA.<sup>1</sup>, POTAPOV V. V.<sup>1</sup>,  
UGOLNIKOVA A. E.<sup>1</sup>, PARAMONOVA A. A.<sup>2</sup>

Ural State Mining University, Ekaterinburg  
St. Petersburg Mining University, St. Petersburg

**Abstract.** The efficiency in the operation of any object of the technical system is achieved by searching and making optimal decisions at various stages of the operation of the object. Evaluation of the effectiveness criteria can be obtained by mathematical modeling of alternative options and using their comparison or by using expert assessments.

At the same time, enlarged efficiency criteria are used: cost, productivity, energy consumption, output controlled indicator, reliability, which, ordered by degree of importance, form a vector criterion. To solve such a problem, a mathematical model is presented in the form of an inhomogeneous system of linear difference equations.

**Keywords:** compressor units, pneumatic network, compressed air consumers, efficiency criteria, solution algorithm, mathematical model.

Рудничную компрессорную установку можно рассматривать, как техническую систему, состоящую из различных объектов (компрессорные агрегаты, пневматическая сеть, потребители сжатого воздуха) (рис. 1.) [1-4].



Рисунок 1. Рудничная компрессорная установка, как техническая система

Эффективность в эксплуатации любого объекта технической системы достигается путем поиска и принятия оптимальных решений на различных этапах функционирования объекта.

На стадии исследования возможностей воздействия на объект эффект связан с поиском технически реализуемых вариантов из множества возможных. При этом используют укрупненные критерии эффективности: стоимость, производительность, энергозатраты, выходной контролируемый показатель, надежность, которые, упорядочив по степени значимости, образуют векторный критерий.

Оценка критериев эффективности может быть получена путем моделирования альтернативных вариантов и использующего их сравнения или с помощью экспертных оценок.

Задача принятия решения, как задача выделения эффективного подмножества  $X^*$  в множестве допустимых значений  $X$ , обладает некоторой степенью неопределенности, которая создает следующие факторы:

- расплывчатость ограничений, задающих множество допустимых решений  $X$ ;
- плохая определенность критериев выделения эффективного подмножества  $X^*$ ;
- неоднозначность результата выбора  $\hat{x} \in X^*$  при наличии неконтролируемых факторов;
- отсутствие полной информации или искажение при ее подаче.

При математическом анализе любой системы наряду с количественными характеристиками энергетических и материальных потоков, каждое воздействие рассматривается как сигнал – изменение во времени физической величины, которое отображает в соответствии с принятой условностью информацию, содержащуюся в воздействии.

Если воздействие на элемент системы влияет на регулирование, например, потока воздуха, то этот поток количественно характеризуется такими физическими величинами, как подача сжатого воздуха ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) и энергии ( $\text{Дж}/\text{с}$ ).

Если любая из этих величин изменяется во времени, то она может рассматриваться как сигнал, передающий информацию о данном воздействии.

Существенной особенностью технической системы является ее возможность влиять на потоки вещества или энергии большой мощности с помощью управляющего воздействия меньшей мощности.

Выходной сигнал объекта управления, который с помощью управляющего воздействия поддерживается на требуемом уровне или изменяется по заданному закону, есть управляемая величина.

Управляемой величиной может быть физическая величина, которая либо измеряется на выходе (например, температура, давление и др.), либо определяется через другие величины (например, коэффициент полезного использования энергетической установки).

Выходным контролируемым показателем шахтной компрессорной установки (КУ), функционирование которой обеспечивает совокупность компрессорных агрегатов (КА)  $\Omega = \{\Omega_i\}_{i=1}^m$ , является давление сжатого воздуха.

С целью построения математической модели, описывающей взаимосвязь технологических и эксплуатационных факторов, формирующих процесс пневмопотребления, и показателей, характеризующих возможности регулирования выработки сжатого воздуха, произведен детальный анализ функционирования рудничных компрессорных установок (РКУ), а также проведено ранжирование КА по наиболее значимым критериям воздействия на них и самих воздействий на основе лексикографического подхода (последовательного применения критериев).

Проведенные исследования дают основания сделать следующий вывод.

Изменение давления вырабатываемого сжатого воздуха в системе

$$\Omega = \bigcup_{i=1}^m \Omega_i \tag{1}$$

осуществляемое посредством воздействий  $\vec{x}_i(\tau) = (x_{i1}(\tau), x_{i2}(\tau), \dots, x_{in}(\tau))$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , на объект  $\Omega_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , может быть представлено математической моделью в виде неоднородной системы линейных разностных уравнений [2].

$$\begin{cases} p_1(\tau+1) = \sum_{j=1}^m a_{1j} \cdot p_j(\tau) + \sum_{k=1}^n b_{1k} \cdot x_{1k}(\tau), \\ p_2(\tau+1) = \sum_{j=1}^m a_{2j} \cdot p_j(\tau) + \sum_{k=1}^n b_{2k} \cdot x_{2k}(\tau), \\ \dots \\ p_m(\tau+1) = \sum_{j=1}^m a_{mj} \cdot p_j(\tau) + \sum_{k=1}^n b_{mk} \cdot x_{mk}(\tau), \end{cases} \tag{2}$$

где  $p_j(\tau)$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $\tau = 0, 1, 2, \dots$ , искомые решетчатые функции, задающие изменение давления сжатого воздуха на выходе объекта в состоянии  $\tau$ ;  $a_{ij}$ ,  $i, j = 1, 2, 3, \dots, m$ ,  $b_{ik}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots, n$  – весовые коэффициенты, устанавливаемые экспериментально

(с помощью экспертных оценок);  $\vec{x}_i(\tau)$  – входной сигнал, действующий на объект  $\Omega_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , системы  $\Omega$ , при заданных начальных условиях  $p_1(0) = p_{10}$ ,  $p_2(0) = p_{20}$ , ...,  $p_m(0) = p_{m0}$ .

Схема линейной системы будет иметь вид:



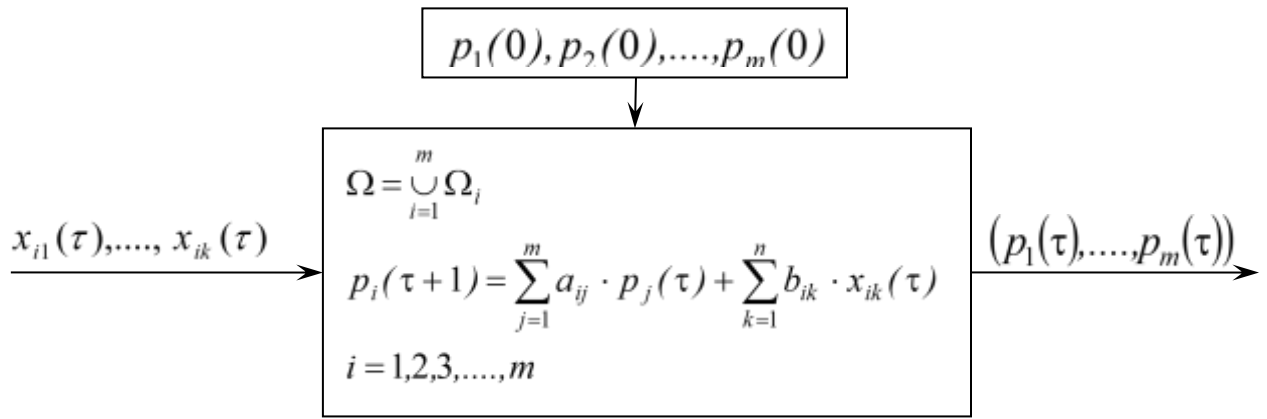


Рисунок 2. Схема линейной системы

Система уравнений (2) может быть решена с помощью  $Z$  – преобразования.

**Алгоритм решения задачи**

1. Найти  $Z$  – изображение входного сигнала

$$X_{ik}(z) = Z[x_{ik}(\tau)], \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (3)$$

2. Перейти от системы разностных уравнений (2) к системе уравнений в  $Z$  – изображениях.

3. Найти  $Z$  – изображение  $P(z)$  выходного сигнала  $p(\tau)$ .

4. По  $Z$  – изображению выходного сигнала  $P(z) = (p_1(z), p_2(z), \dots, p_m(z))$

найти выходной сигнал  $p(\tau) = (p_1(\tau), p_2(\tau), \dots, p_m(\tau))$ , используя обратное  $Z$  – преобразование:

$$p_i(\tau) = Z^{-1}[P_i(z)] = \frac{1}{2\pi j} \oint_C P_i(z) \cdot z^{\tau-1} dz, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (4)$$

где  $C$  – замкнутый контур, внутри которого лежат все особые точки функции комплексного переменного  $P_i(z)$ ;  $j$  – мнимая единица.

Для нахождения выходного сигнала можно воспользоваться также одной из формул нахождения оригинала по изображению:

$$p_i(\tau) = -\text{res}[P_i(z) \cdot z^{\tau-1}, \infty], \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (5)$$

или

$$p_i(\tau) = \sum_{v=1}^N \text{res}[P_i(z) \cdot z^{\tau-1}, z_v], \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (6)$$

где  $z_v, v = 1, 2, 3, \dots, N$  – особые точки функции  $P_i(z), i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $\text{res}[P_i(z) \cdot z^{\tau-1}, \infty]$  и  $\text{res}[P_i(z) \cdot z^{\tau-1}, z_v]$  – вычеты функции  $P_i(z) \cdot z^{\tau-1}, i = 1, 2, 3, \dots, m$ , относительно бесконечно удаленной точки ( $z = \infty$ ) и особой точки  $z_v, v = 1, 2, 3, \dots, N$ , соответственно.

**Решение задачи**

$$\text{Пусть } Z[x_{ik}(\tau)] = X_{ik}(z), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (7)$$

$$Z[p_i(\tau)] = P_i(z), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (8)$$

Тогда, пользуясь свойствами  $Z$  – преобразования, будем иметь

$$Z[p_i(\tau+1)] = z \cdot P_i(z) - z \cdot p_i(0), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (9)$$

Системе разностных уравнений (2) соответствует система в  $Z$  – изображениях:

$$\begin{cases} z \cdot P_1(z) - z \cdot p_1(0) = \sum_{j=1}^m a_{1j} \cdot P_j(z) + \sum_{k=1}^n b_{1k} \cdot X_{1k}(z), \\ z \cdot P_2(z) - z \cdot p_2(0) = \sum_{j=1}^m a_{2j} \cdot P_j(z) + \sum_{k=1}^n b_{2k} \cdot X_{2k}(z), \\ \dots \\ z \cdot P_m(z) - z \cdot p_m(0) = \sum_{j=1}^m a_{mj} \cdot P_j(z) + \sum_{k=1}^n b_{mk} \cdot X_{mk}(z) \end{cases} \quad (10)$$

или

$$\begin{cases} (z - a_{11}) \cdot P_1(z) - a_{12} \cdot P_2(z) - \dots - a_{1m} \cdot P_m(z) = \sum_{k=1}^n b_{1k} \cdot X_{1k}(z) + z \cdot p_1(0), \\ -a_{21} \cdot P_1(z) + (z - a_{22}) \cdot P_2(z) - \dots - a_{2m} \cdot P_m(z) = \sum_{k=1}^n b_{2k} \cdot X_{2k}(z) + z \cdot p_2(0), \\ \dots \\ -a_{m1} \cdot P_1(z) - a_{m2} \cdot P_2(z) - \dots + (z - a_{mm}) \cdot P_m(z) = \sum_{k=1}^n b_{mk} \cdot X_{mk}(z) + z \cdot p_m(0). \end{cases} \quad (11)$$

Эта система представляет собой систему  $m$  линейных алгебраических уравнений с  $m$  неизвестными  $P_i(z)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , которая может быть решена любым из известных методов, приводимых в курсе линейной алгебры.

Например, пользуясь формулами Крамера, получаем

$$P_i(z) = \frac{\Delta_i(z)}{\Delta(z)}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (12)$$

где  $\Delta(z)$  - определитель системы:

$$\Delta(z) = \begin{vmatrix} (z - a_{11}) & -a_{12} & \dots & -a_{1m} \\ -a_{21} & (z - a_{22}) & \dots & -a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{m1} & -a_{m2} & \dots & (z - a_{mm}) \end{vmatrix}. \quad (13)$$

Определитель  $\Delta_i(z)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , получается заменой  $i$ -го столбца определителя  $\Delta(z)$  на столбец свободных членов системы.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^n b_{1k} \cdot X_{1k}(z) + z \cdot p_1(0), \\ \sum_{k=1}^n b_{2k} \cdot X_{2k}(z) + z \cdot p_2(0), \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{k=1}^n b_{mk} \cdot X_{mk}(z) + z \cdot p_m(0). \end{array} \right. \quad (14)$$

Далее, в соответствии с п.4 алгоритма, по полученным  $Z$  – изображениям  $P_i(z)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , находим их оригиналы  $p_i(\tau)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ . Задавая  $\tau$  значения 1, 2, 3, ..., можно определить любые значения искомым решетчатых функций  $p_i(\tau)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , соответствующих состоянию  $\tau$ , по начальным данным  $p_{10}, p_{20}, \dots, p_{m0}$ .

#### **Выводы**

1. Разработана математическая модель функционирования рудничных компрессорных установок, которая описывает взаимосвязь технологических и эксплуатационных факторов, формирующих процесс пневмопотребления, и показателей, характеризующих возможности регулирования выработки сжатого воздуха. Произведен детальный анализ функционирования рудничных компрессорных установок, а также проведено ранжирование компрессорных агрегатов по наиболее значимым критериям воздействия на них и самих воздействий на основе лексикографического подхода (последовательного применение критериев).

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Миняев Ю. Н. Энергосбережение при производстве и распределении сжатого воздуха на промышленных предприятиях. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. 131 с.
2. Миняев Ю. Н., Исапилов Р.Б., Угольников А. В. Математическая модель функционирования рудничных компрессорных установок // Изв. ВУЗов. Горный журнал, 2004. № 4 С. 82-85.
3. Миняев Ю. Н., Зобнин Б. Б., Молодцов В. В., Копачев В. Ф., Угольников А. В. Реинжиниринг пневмохозяйства промышленных предприятий // Материалы Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург 2005. С. 2-3.
4. Закиров Д. Г., Рыбин А. И. Пути повышения эффективности работы и КПД шахтных поршневых компрессоров // Промышленная энергетика. 1975. № 6. С. 4-6.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСКАВИТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВОВ

ЮСУПОВ Т. И., УГОЛЬНИКОВ А. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** в статье рассматриваются кавитационные свойства шахтных насосов. Авторами представлен расчет фактического кавитационного запаса системы. По мнению авторов, главным условием, определяющим надежную и экономичную эксплуатацию водоотливных комплексов, является обеспечение бескавитационных режимов работы насосных установок водоотлива.

**Ключевые слова:** кавитационные свойства, шахтные водоотливные установки, центробежные насосы, кавитация, абразивное воздействие твердых примесей.

## PROVISION OF CAVITATION-FREE MODES OF OPERATION OF SHAFT PUMPS

YUSUPOV T. I., UGOLNIKOV A. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article discusses the cavitation properties of shaft pumps. The authors present the calculation of the actual cavitation reserve of the system. According to the authors, the main condition determining the reliable and economical operation of drainage complexes is to ensure cavitation-free operation modes of drainage pumping units.

**Keywords:** cavitation properties, mine drainage systems, centrifugal pumps, cavitation, abrasive effect of solid impurities.

При нормальной работе насоса шахтного водоотлива в стационарном режиме минимальное абсолютное давление, возникающее в потоке в области входа в колесо, больше давления насыщенного пара перекачиваемой жидкости [4]. Малеев В.Б., Кудрявцев А.А. отмечают, что избыточный напор всасывания представляет собой запас энергии потока шахтной воды над энергией вскипания. В противном случае жидкость «вскипает», возникает явление кавитации, что резко изменяет напорную характеристику насоса. Запас энергии обуславливается определённым полем скорости на входе в рабочее колесо и потерями энергии в элементах всасывающего тракта [4].

Как отмечают Долганов А.В., Тимухин С.А., шахтные лопастные насосы являются весьма долговечными машинами и при нормальных условиях эксплуатации могут работать более 20-30 лет [1, 2]. Однако в практике нередко встречаются случаи, когда насос изнашивается значительно быстрее, и через каждые 1-2 года, а иногда и чаще приходится производить его капитальный ремонт. Такой износ обычно вызывается кавитацией и абразивным воздействием твердых примесей, содержащихся в перекачиваемой жидкости, или совместным их действием. рабочего колеса с тыльной стороны, внутренняя поверхность входного обода и зазор уплотняющей кромки. В зазоре развивается особая форма кавитации, так называемая щелевая, вызываемая местными отжимами потока, где создается дополнительное понижение давления [1, 2].

Кавитационные свойства шахтных насосов определяются всасывающей способностью и геометрической высотой всасывания, отклонение которых от нормальных условий

приводит к появлению развитой кавитации в проточной части насоса, что способствует более быстрому разрушению рабочих частей насоса, на которых возникают и некоторое время существуют кавитационные пузыри, а также не возможности дальнейшей эксплуатации насосного агрегата. Отклонение напорной характеристики сети от расчетной вызывается различными факторами, которые приводят к увеличению (уменьшению) сопротивления трубопроводной сети и возникновению аварийных ситуаций. [3].

С целью обеспечения безкавитационной работы, допустимый кавитационный запас насоса  $\Delta h_{\text{доп}}$  должен быть меньше или равен кавитационному запасу системы  $\Delta h_{\text{сист}}$ , в которую он устанавливается

$$\Delta h_{\text{доп}} < \Delta h_{\text{сист}}, \text{ м}$$

Кавитационный запас системы  $\Delta h_{\text{сист}}$  определяется по формуле:

$$\Delta h_{\text{сист}} = \frac{P_1 - P_{\text{н.п}}}{\rho \cdot g} - [\pm z_1] - \Delta H_B - \Delta h_{\text{ВХ}}, \text{ м}$$

где  $P_1$  - абсолютное давление на свободную поверхность жидкости в емкости, из которой ведется откачивание, Па,  $P_1 = P_a = 101 \text{ кПа}$ ;  $P_{\text{н.п}}$  - давление насыщенного пара перекачиваемой жидкости при рабочей температуре, Па, по таблице при температуре  $10^0 \text{ С}$  давление насыщенного пара равно  $P_{\text{н.п}} = 880 \text{ Па}$ ;  $Z_1$  - расстояние по вертикали от оси вала до уровня жидкости в исходной емкости, м. Знак + определяется местоположением емкости относительно оси вала насоса (знак «+» - при емкости ниже оси вала насоса и наоборот), оно равно высоте всасывания  $h_{\text{вс}}$  м;  $h_{\text{ВХ}}$  - суммарные потери напора во всасывающем трубопроводе при максимально необходимой подаче, м, то есть это потери напора на входе в насос.

$$\Delta h_{\text{ВХ}} = 10 \cdot \left( \frac{n_H \cdot Q_H^{1/2}}{C} \right)^{4/3}, \text{ м}$$

где  $C$  - критерий кавитационного подобия насоса, характеризующий стойкость к кавитационным явлениям,  $C = 800 \dots 1000$ .

Таким образом, главным условием, определяющим надежную и экономичную эксплуатацию водоотливных комплексов, является обеспечение бескавитационных режимов работы насосных установок водоотлива [3,4,5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Долганов А.В. СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ // учебник. Уральский государственный горный университет. Москва, 2017. С. 195-213. Щербина Г.С. Горный англо-русский словарь // Изд-во: Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк). – 2014.
2. Долганов А.В., Тимухин Гидроабразивный износ насосов рудничного водоотлива // С.А. Москва, 2016. С. 38-42.
3. Ермакова В.А., Гавриленко Б.В. Анализ режимов работы шахтного водоотлива // В сборнике: Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных трудов XXI Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов (в рамках 7-го Международного научного форума "Инновационные перспективы Донбасса"). Донецк, 2021. С. 210-212.
4. Малеев В.Б., Кудрявцев А.А. Кавитация в насосах шахтного водоотлива в пусковом режиме // В сборнике: Горная энергомеханика и автоматика. Материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию ДонНТУ. Донецк, 2021. С. 43-49.
5. Паламарчук Т.Н. Кавитационные режимы шахтных насосов при положительной и отрицательной высоте всасывания // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 4. С. 204-219.

## ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ АППАРАТОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРЕНИЮ И УПРУГОСТИ

ПОТАПОВ В. Я., АФАНАСЬЕВ А. И., ПОТАПОВ В. В., ГРЕБЕНКИН С. М., ПАРАМОНОВ К. А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье дан обзор существующих конструкций аппаратов для разделения горных пород по трению и упругости. Анализ приведенных конструкции аппаратов для разделения горных пород показал, что в качестве разделительных признаков для их разделения используется трение, упругость, форма или твердость полезного компонента и вмещающих пород. Внедрение новых аппаратов по одному признаку разделения лишь частично обеспечивает возможности качественного разделения горных пород. Наиболее перспективным направлением в совершенствовании и проектировании разделительных аппаратов является создание аппаратов, использующих комплекс физико-механических свойств горных пород, что обеспечивает более полное разделение полезных ископаемых в одном аппарате.

**Ключевые слова:** анализ, конструкции аппаратов, горные породы, разделительные признаки, трение, упругость, форма, твердость.

## REVIEW OF DESIGNS OF DEVICES FOR SEPARATION OF ROCKS BY FRICTION AND ELASTICITY

POTAPOV V. Y., AFANASYEV A. I., POTAPOV V. V., GREBENKIN S. M.  
PARAMONOV K. A.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

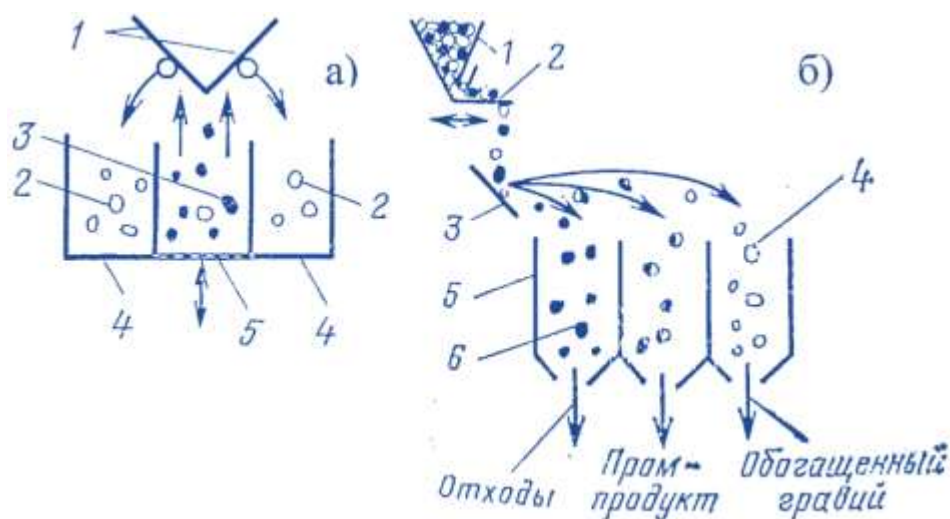
**Abstract.** The article provides an overview of existing designs of apparatus for separating rocks by friction and elasticity. An analysis of the given designs of apparatus for separating rocks showed that friction, elasticity, shape or hardness of the useful component and host rocks are used as separating characteristics for their separation. The introduction of new devices based on one separation criterion only partially ensures the possibility of high-quality separation of rocks. The most promising direction in improving and designing separation devices is the creation of devices that use a complex of physical and mechanical properties of rocks, which ensures a more complete separation of minerals in one device.

**Keywords:** analysis, apparatus designs, rocks, separating features, friction, elasticity, shape, hardness.

Прогресс горно-обогатительного производства, главным образом, связывают с разработкой и совершенствованием оборудования для разделения горной массы, что является определяющим фактором развития сырьевой базы.

Совершенствование горных машин в последние годы осуществляется за счет введения в рудоподготовительный передел аппаратов предварительного разделения горной массы, позволяющих после первых стадий дробления удалить из технологического процесса пустую породу. Рассмотрим конструкций аппаратов для разделения горных пород по трению и упругости. Машины этого принципа действия применяют в основном для разделения неметаллических полезных ископаемых, таких, как асбест, уголь, слюда и др.

Для разделения горной массы *по упругости* иногда применяют сепараторы с наклонной стальной плитой. Падая на плиту, более упругие частицы отражаются под большим углом с большей скоростью и отлетают дальше от конца плиты, а менее упругие и непрочные отражаются незначительно и попадают в конец плиты в соответствующие приемники (рис. 1) [1- 4]. При этом мерой упругого взаимодействия частиц при падении на горизонтальную плоскость являются коэффициенты восстановления и мгновенного трения [5-7]. Различия в коэффициентах восстановления компонентов полезного ископаемого при прямом центральном ударе частиц о разделяющую поверхность использовано в вибрационном сепараторе (см. рис. 1, а).



**Рисунок 1. Схемы сепараторов для разделения по упругости:**

а - схема вибрационного сепаратора с подвижной рабочей поверхностью для разделения по упругости;  
 б - схема сепаратора с неподвижной рабочей поверхностью для обогащения гравия

Сепаратор представляет собой трех секционный короб, днище центральной части которого выполнено из упругой сетки 5, играющей роль разделяющей поверхности. Над центральной секцией короба установлен уголкового отражатель 1. При сообщении вибраций сепаратору и подаче питания на упругую сетку куски 2, имеющие большую упругость, достигают уголкового отражателя и, отражаясь от него, попадают в приемники 4. Куски 3 полезного ископаемого, имеющие малую упругость, поднимаются на меньшую высоту и остаются в центральной секции сепаратора и разгружаются на спуске с нее. Результаты сепарации зависят не только от взаимодействия кусков с упругой сеткой, но и с уголкового отражателем.

Другой вариант использования эффектов ударного взаимодействия частиц полезного ископаемого с плитой получают при сбрасывании их с некоторой высоты на наклонно установленную плоскость (см. рис. 1, б).

Известны сепараторы с неподвижной разделительной плитой или несколькими плитами, установленными ярусно [1, 5, 6,7]. Материал плоским потоком подается на наклонную плиту. Веер отраженных частиц делится с помощью шибера на два продукта: упругую и неупругую часть. Для повышения эффективности разделения продукты подвергаются пересортировке. Один из недостатков этих устройств – невозможность оперативного управления процессом обогащения.

В некоторых технических решениях делается попытка перейти от плоскостного процесса к объемному [3,4,7,8], когда исходный материал на разделительную поверхность подается не монослоем, а сплошным объемным потоком. Но так как разделение идет в одну операцию, то данные устройства имеют довольно низкую эффективность разделения.

Схема сепараторов для разделения по упругости представлена на рис. 1.10, б. В этом сепараторе исходный материал с бункера 1 по вибропитателю 2 монослоем подают на плиту 3, отражаясь от которой, частицы 4 и 6 попадают в приемники продуктов разделения 5.

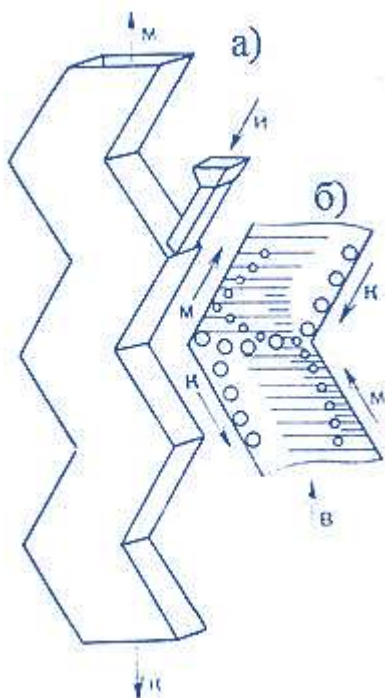
Использование процесса разделения по трению целесообразно только при значительных различиях разделяемых компонентов в коэффициентах трения. Процесс ведется в предположении, что коэффициент трения компонентов связан с показателем качества [1,2].

Разделение по трению осуществляется в две стадии: взаимодействие материала с поверхностью в целях селективного изменения параметров движения разделяемых частиц; выделение из потока материала частиц с заданными параметрами движения. Вторая фаза процесса разделения компонентов осуществляется с использованием различий в траекториях, скорости или направлении движения разделяемых компонентов и может осуществляться как на рабочей поверхности, так и в условиях свободного падения.

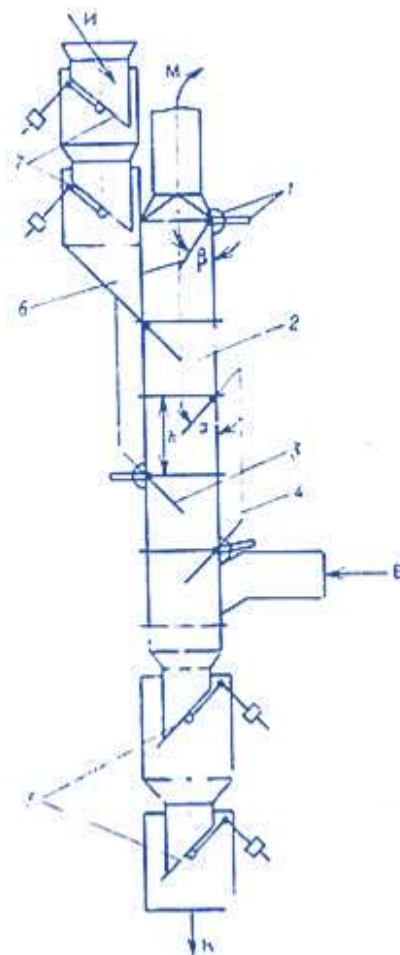
Требование взаимодействия с поверхностью каждой частицы приводит к организации процесса в монослойном потоке. При этом возможны варианты взаимодействия материала: с неподвижной, подвижной и вибрирующей поверхностью.

Большую группу составляют каскадные аппараты, состоящие из ряда соединенных секций, через которые последовательно проходит полидисперсный материал. В данных аппаратах разделение осуществляется по трению, упругости и за счет воздействия потока воздуха на частицу.

В этом отношении первыми были аппараты типа «Зигзаг» (рис. 2.) и шахтные аппараты с пересыпными полками (рис 3.).



**Рисунок. 2. Каскадный классификатор типа «Зигзаг»:**  
а - общая схема; б- характер перемещения различных классов

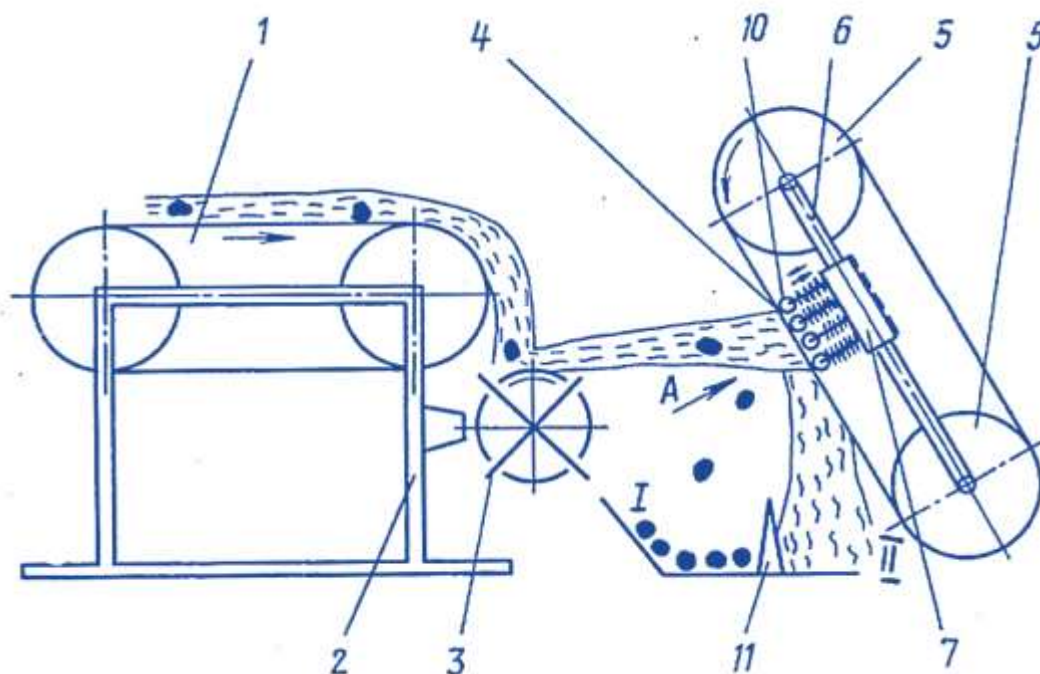


**Рисунок. 3. Каскадный классификатор с пересыпными полками:**  
1 - ручка; 2 - корпус; 3 - поворотные полки; 4 - тяга; 5, 7 - затворы; 6 - верхняя полка



Кроме организации каскадного принципа разделения, в этих аппаратах решались принципиально новые способы движения потоков в каждой ступени сепарации [1, 9].

В сепараторе конструкции ВНИИнеруда в качестве рабочего элемента используется вибрирующая наклонная плита. На сепараторе разделяли смеси песка и гравия, разнопрочных известняков, а также комовой глины и гравия. В устройстве для разделения смесей по упругости [10] в качестве разделительной поверхности используется вибрирующая лента конвейера (рис. 4).



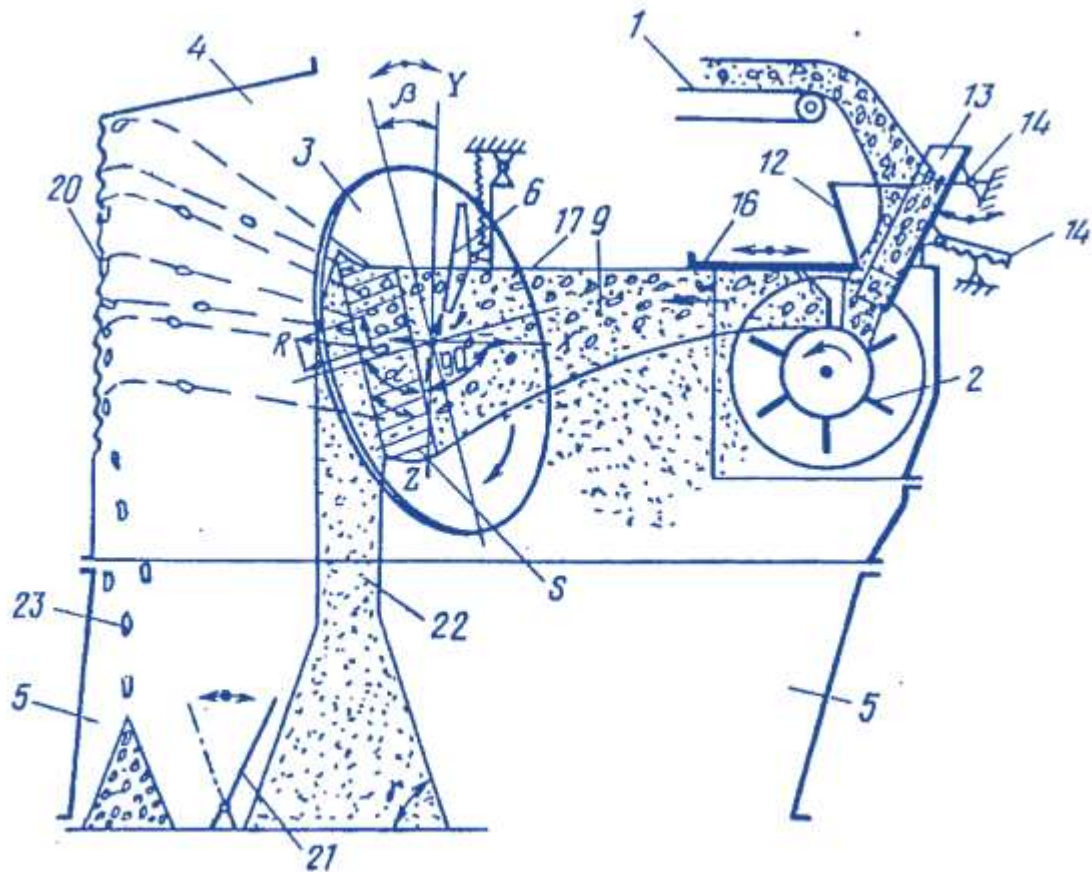
**Рисунок 4. Сепаратор для разделения смесей:**

1 – подающий конвейер; 2 – рама; 3 – лопастной метатель, 4 – разделяющий орган, 5 – обводные барабаны, 6 – рама, 7 – щит, 8 – направляющие, 9 – пружины, 10 – ролики

Для разделения горных масс по упругости используются также сепараторы металлического типа [1,4,9,14].

В данных сепараторах разделения разно компонентных смесей осуществляется за счет отражательной плоскости, с возможностью изменения пространственного положения, расположенной напротив метателя (рис. 5.).

Основной недостаток таких устройств – низкая эффективность классификации, невозможность использовать для разделения волокнистых асбеста и чешуйчатых материалов (слюд).



**Рисунок 5. Устройство для разделения смесей по свойствам упругости компонентов:**  
 1 – разгрузочный транспортер; 2 – лопастной метатель; 3 – отражательная плита;  
 4 – рабочая камера; 5 – сборники; 6 – скребок; 7 – тележка; 8 – рама; 9 – струя;  
 10 – шарнир; 11 – тележка; 12 – узел регулирования сечения струи; 13 – лоток;  
 14 – шарниры регулировки угла наклона; 15 – поворотные закрылки;  
 16 – воротниковое прикрытие; 17 – верхняя зона; 18 – верхний контактный слой;  
 19 – подложка контактного слоя; 20 – вертикальная стенка; 21 – регулируемая заслонка;  
 22 – для очищенного компоста; 23 – для твёрдых балластных составляющих

*Комбинированное разделение* горной массы по трению и упругости основано на использовании различия в коэффициенте восстановления и трения при ударе.

Разработано несколько конструкций таких сепараторов [2,4, 7, 9-13].

Сепаратор Н. К. Тимченко (рис. 6, а) состоит из бункера – питателя 1, из которого материал поступает в стабилизатор траектории 2, позволяющий смещать точку подачи материала на барабан 3 относительно его оси. Частицы, падая на барабан 3, взаимодействуют с ним. Глинистые частицы деформируются и уносятся барабаном в хвосты. Эффективное выделение в хвостовой продукт частиц, имеющих малую упругость, достигается подбором точки подачи и частоты вращения барабана. Для реализации основной и перечистной операции обогащения используют двухбарабанный сепаратор Н. К. Тимченко. Такой сепаратор находит применение на отечественных заводах по переработке неравнопрочного щебня [2].

На рис.6, б представлена схема сепаратора конструкции ВНИИнеруда, состоящего из питателя 1, стабилизатора траектории подачи частиц 2, вращающегося барабана 3 с зубьями 4, наклонной плоскости 5, рифленной в верхней части с регулируемым углом; наклона рифленной части, и приемников продуктов разделения. Гальк имеет меньшую контактную прочность и меньший коэффициент восстановления скорости, чем вмещающие породы. При подаче обогащаемого материала на вращающийся зубчатый барабан куски породы сильно закручиваются и отбрасываются на наклонную рифленую плоскость, двигаясь по которой, частицы попадают в приемник 6.

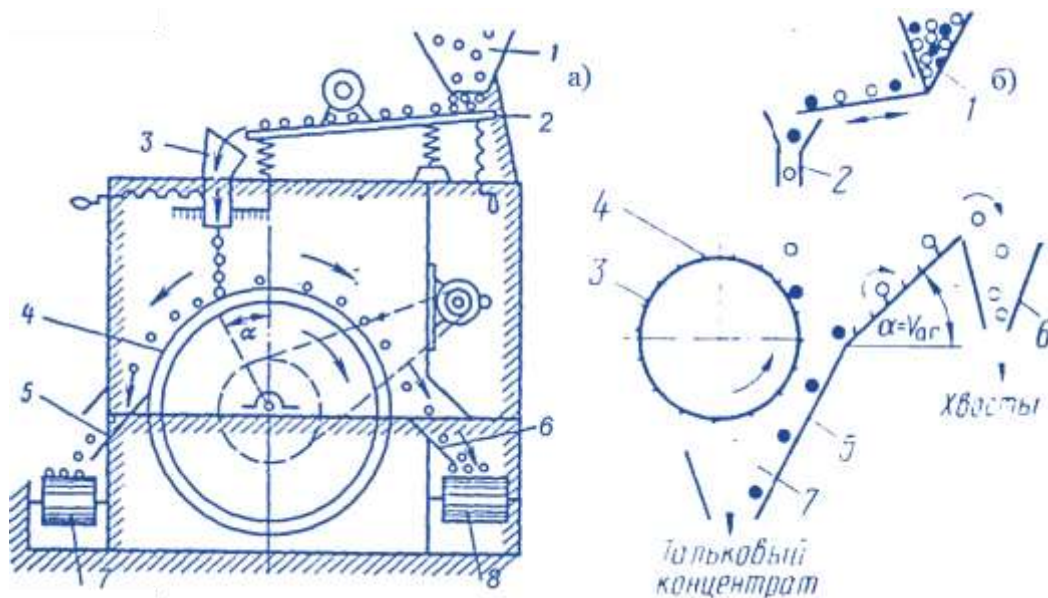


Рисунок 6. Схема однобарабанного сепаратора Н.К. Тимченко (а);  
схема сепаратора конструкции ВНИИнеруда (б)

При попадании на барабан частица талька получает меньшую скорость вращения, так как зуб 4 барабана сминает поверхность частицы талька и отбрасывает ее ниже, чем породные частицы, на наклонную плоскость 5, и частицы талька скатываются по плоскости 5 в приемник концентрата 7 [2].

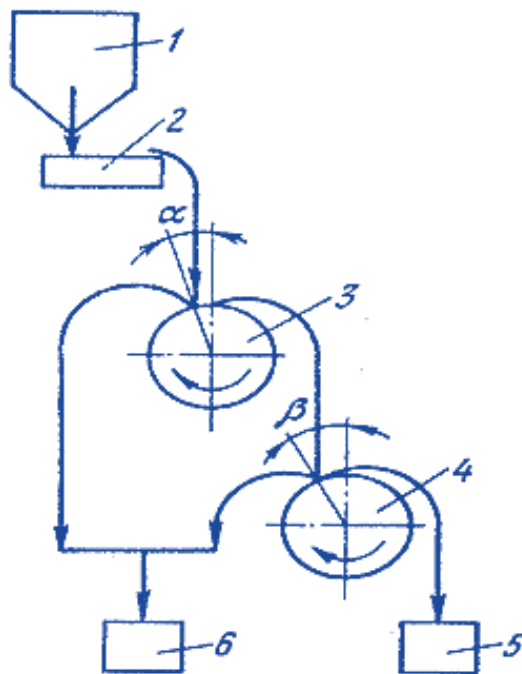


Рисунок 7. Схема двух барабанного классификатора ДБК-20:  
1–бункер, 2–питатель, 3–барабан, 4–второй барабан, 5, 6–сборник

На двух барабанном классификаторе ДБК-20 (рис. 7) исходный материал (разнопрочный карбонатный щебень) из бункера 1 питателем 2 подается равномерно монослоем на жесткую поверхность вращающегося барабана 3 со смещением. Прочные упругие зерна отскакивают от барабана влево и падают в сборник 6. Слабые зерна, сростки и зерна примесей увлекаются вращающимся барабаном вправо и поступают на перечистку во второй барабан 4. Прочные зерна отлетают влево и попадают в сборник 6, а слабые различия увлекаются вращающимся барабаном вправо и падают в сборник 5. В классификаторе предусмотрена

возможность регулирования углов падения зерен на барабаны. С целью сокращения потерь прочных зерен над барабанами в зоне отскока слабых зерен установлен вогнутый экран [2, 4, 12-14].

**Выводы:** Анализ конструкций существующих разделительных устройств с подвижной и неподвижной разделяющими поверхностями показал, что они используют одну или две физические характеристики горных пород, что приводит к относительно низкой эффективности классификации. Аппараты с неподвижными разделяющими поверхностями отличаются дешевизна изготовления, простота обслуживания и надежность в работе, но они обеспечивают невысокую эффективность разделения. Основным преимуществом обогатительных плоскостей является то, что они обеспечивают высокие технологические показатели при полном отсутствии механизмов и энергопотребления. Использование сепараторов с подвижными разделяющими поверхностями позволяет повысить эффективность разделения, но в тоже время появляются затраты, связанные с энергопотреблением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кравец Б. Н. Специальные и комбинированные методы обогащения. М.: Недра, 1986. 340 с.
2. Олюнин В. В. Переработка нерудных строительных материалов. М.: Наука, 1988. 232 с.
3. Потапов В. Я. Анализ, разработка и моделирование аппаратов для разделения горных пород: автореферат дисс. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2012. 30с.
4. Потапов В. Я., Афанасьев А. И., Ляпцев С. А. Аппараты для разделения горных пород по упругим и фрикционным характеристикам // Монография LAP (Lambert Academic Publishing). Германия. 2013.
5. Тимченко Н. К., Самейцев А. А. и др. Обогащение известнякового щебня с помощью механического классификатора // Строительные материалы. 1964. № 4. С.23-26.
6. Тимченко Н. К. Основы механического разделения зерен щебня и гравия по упругости и трению // Строительные материалы. 1964. № 4. С.17-19.
7. Тимченко Н. К., Матросов А. А. Механические классификаторы щебня и гравия по прочности // Строительные материалы. 1966. № 11. С.4-5.
8. А. с. 1232303 СССР, МКИ<sup>3</sup> В07В13/00, 7/04. Устройство для разделения смесей по упругости / Р. Р. Джапаров. 3 с. (СССР). 3 с.
9. А. с. 1323143 СССР, МКИ<sup>3</sup> В07В7/04, 13/10. Устройство для разделения смесей по свойствам упругости компонентов/ Е. М. Колосов, В. И. Важнов. 5 с.
10. Separation method and apparatus: United States Patent Douglas et al. 3,876,074 Apr. 8, 1975. Edward Douglas, Christopher Harvey Duffell, Terence Walsh, Peter Mark Harris.
11. Патент 1790458 СССР, МКИ<sup>3</sup> А3В07В13/00. Устройство для фракционирования сыпучих материалов по упругости/ В. В. Иванов, В. В. Умнова, П. Р. Филипп, Г. Г. Чечулина (СССР). 5 с.
12. Потапов В. Я. Теоретический анализ движения и удара частицы обогащаемого материала о наклонную плоскость / В.Я. Потапов [и др.]// Известия вузов. Горный журнал. 2007. № 1. С.110-113.
13. Конструкционное моделирование сепаратора для разделения руд по трению и упругости / В. Я. Потапов, В. В. Потапов, С. А. Ляпцев, Л. А. Семериков, П. М. Анохин // Математическое моделирование механических явлений: сборник. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. С. 51-57.
14. А. с. 839621 СССР, МКИ<sup>3</sup> В07В15/00. Способ обогащения кускового минерального сырья / В. Н. Воротеяк, Б. П. Литвинов и др. (СССР). 4 с.

## МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ СЖАТОГО ВОЗДУХА В КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

УГОЛЬНИКОВ А. В.<sup>1</sup>, ПОТАПОВ В. Я.<sup>1</sup>, ПОТАПОВ В. В.<sup>1</sup>, УГОЛЬНИКОВА А. Е.<sup>1</sup>,  
ПАРАМОНОВА А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

**Аннотация.** В результате обследования компрессорных установок установлено, что пневматические сети являются обычно местом наибольших потерь энергии при их эксплуатации. В статье рассматриваются три вида потерь энергии в пневмосетях: тепловые, гидравлические, объемные. Произведена минимизация всех видов потерь энергии с использованием дифференциальных уравнений для их расчета.

**Ключевые слова:** компрессорная станция, пневматическая сеть, потребители сжатого воздуха, потерь энергии, тепловые, гидравлические, объемные, критерий Нуссельта, критерий Грасгофа, дифференциальные уравнения.

## MINIMIZATION OF ENERGY LOSSES IN THE DISTRIBUTION OF COMPRESSED AIR IN THE COMPRESSOR STATION

UGOLNIKOV A. V.<sup>1</sup>, POTAPOV V. YA.<sup>1</sup>, POTAPOV V. V.<sup>1</sup>, UGOLNIKOVA A. E.<sup>1</sup>,  
PARAMONOVA A. A.<sup>2</sup>

**Abstract.** The efficiency in the operation of any object of the technical system is achieved by searching and making optimal decisions at various stages of the operation of the object. Evaluation of the effectiveness criteria can be obtained by mathematical modeling of alternative options and using their comparison or by using expert assessments.

At the same time, enlarged efficiency criteria are used: cost, productivity, energy consumption, output controlled indicator, reliability, which, ordered by degree of importance, form a vector criterion. To solve such a problem, a mathematical model is presented in the form of an inhomogeneous system of linear difference equations.

**Keywords:** compressor station, pneumatic network, compressed air consumers, energy losses, thermal, hydraulic, volumetric, Nusselt criteria, Grashof criterion, differential equations.

Транспортирование сжатого воздуха от компрессорной станции до пневмоприемников осуществляется по воздухопроводным сетям или пневмосетям.

В настоящее время именно пневматические сети являются обычно местом наибольших потерь энергии при эксплуатации компрессорных установок, поэтому правильное проектирование и особенно грамотная эксплуатация пневмосетей – неперемное условие эффективности работы всего пневмохозяйства промышленного предприятия.

Различают три вида потерь энергии в пневмосетях:

- тепловые, связанные с охлаждением воздуха, протекающего по пневмосети;
- гидравлические, связанные с преодолением различного рода сопротивлений при движении сжатого воздуха по пневмосети;
- объемные, связанные с утечками, обусловленными негерметичностью пневмосетей.

**Гидравлические потери.** В случае стабильного ламинарного течения сжатого воздуха по цилиндрической трубе (вдоль оси  $Oz$ , рисунок 1.) из условия неразрывности потока воздуха

$$\frac{dv}{dz} = 0 \quad (1)$$

и уравнения Навье-Стокса

$$\frac{dp}{dx} = \frac{dp}{dy} = 0, \quad (2)$$

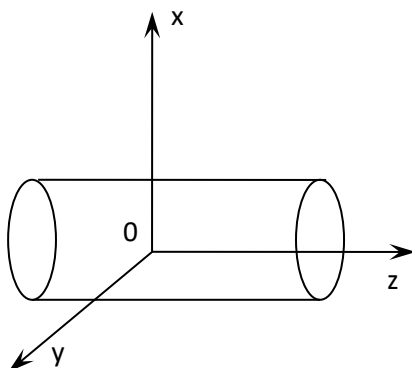


Рисунок.1. Схема движения сжатого воздуха в пневматической сети

следует, что распределение скоростей выражается формулой

$$v(r) = \frac{\Delta p}{4\pi l} (R^2 - r^2) \quad (3)$$

а секундный объемный расход, формулой Пуазейля [19]

$$V_{сек} = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \Delta p, \quad (4)$$

где  $\Delta p$  – перепад давлений сжатого воздуха,  $v$  – скорость течения сжатого воздуха,  $R$ ,  $r$  – соответственно внешний и внутренний радиус трубы,  $l$  – длина трубы,  $\eta$  – кинематическая вязкость воздуха.

Тогда потери давления сжатого воздуха можно определить через касательные напряжения

$$\tau = \eta \frac{dv}{dr}. \quad (5)$$

Однако, трубопровод не всегда цилиндрической формы, также при большой его длине сказывается температурный фактор, меняющий плотность сжатого воздуха. Необходимо учесть и потери на трение о стенки трубопровода от их шероховатости.

В связи с этим за основу расчетов потерь давления сжатого воздуха в трубопроводе за счет шероховатости стенок, используем уравнение [1-3]

$$\Pi_1 = \sum_{i=1}^n \Delta p_i = \sum_{i=1}^n \lambda \frac{l_i v_i^2}{2d_i} \rho_x, \quad (6)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлических сопротивлений;  $l_i$  – приведенная длина  $i$ -го участка, м;  $d_i$  – диаметр  $i$ -го участка, м;  $v_i$  – скорость движения сжатого воздуха на  $i$ -м участке, м/с;  $\rho$  – плотность сжатого воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Поскольку  $\rho$  зависит от температуры сжатого воздуха, а давление его можно принять примерно постоянным, то из уравнения Менделеева-Клапейрона  $p_1 = \rho_1 T_1 R$ ,  $p_1 = \rho_x T_x R$  следует

$$\rho_x = \frac{T_1}{T_x} \rho_1, \quad (7)$$

где  $\rho_1$  – плотность воздуха на входе,  $\rho_x$  – текущая плотность воздуха,  $T_1$  – температура на входе,  $T_x$  – текущая температура воздуха.

Таким образом, потери давления, связанные с шероховатостью стенок трубопровода будут определяться

$$\Pi_1 = \sum_{i=1}^n \Delta p_i = \sum_{i=1}^n \lambda \frac{l_i v_i^2}{2d_i} \cdot \frac{T_1}{T_x} \rho_1 \quad (8)$$

**Тепловые потери.** На пути от компрессорной станции к потребителям сжатый воздух неизбежно теряет часть тепловой энергии, приобретенную им при сжатии его в компрессоре.

Потери тепла через стенки воздухопровода можно определить по уравнению теплообмена [2, 5]

$$Q = mc_p (T_1 - T_x), \quad (9)$$

либо по уравнению теплопередачи

$$Q = \frac{kF_T (T_1 - T_x)}{\ln \frac{(T_1 - T_0)}{(T_x - T_0)}}, \quad (10)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $T_0$  – температура окружающей среды,  $F_T$  – площадь сечения трубы.

При совместном решении уравнений 9 и 10 с учетом, что  $F_T = \pi d_1 \cdot x$ , получим

$$T_x = T_0 + (T_1 - T_0) e^{-\frac{\pi k d_1 x}{c_p m}}, \quad (11)$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр трубы,  $x$  – расстояние от входа в трубопровод до интересующего нас сечения.

Так как теплопередача происходит от сжатого воздуха к трубе и от трубы к окружающей среде, то коэффициент теплопередачи (без учета влияния загрязнения, водомасляной эмульсии и т.п.) будет определяться [2, 5,]

$$k = \frac{1}{\frac{1}{d_1 \cdot \alpha_1} + \frac{1}{d_2 \cdot \alpha_2}}, \quad (12)$$

где  $d_2 = d_1 + 2\delta$  – наружный диаметр трубопровода,  $\delta$  – толщина стенки трубопровода.

Коэффициент теплоотдачи от сжатого воздуха к стенке трубопровода [2, 5]

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}}{d_1} \lambda(T_x), \quad (13)$$

где  $\text{Nu} = 0,018 \cdot \text{Re}^{0,8}$  – число Нуссельта,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности.

Подставляя число Нуссельта в уравнение  $\alpha_1$ , получим

$$\alpha_1 = \frac{0,018 \cdot \text{Re}^{0,8}}{d_1} \lambda(T_x), \quad (14)$$

где  $\text{Re} = \frac{d_1 \cdot v \cdot \rho_x}{\nu}$  – число Рейнольдса,  $\nu$  – динамическая вязкость воздуха.

Коэффициент теплоотдачи от стенки трубопровода к окружающей среде [2, 5]

$$\alpha_2 = \gamma \frac{\text{Nu}_0}{d_2} \lambda_0(T_0) = \gamma \frac{0,46 \cdot \text{Gr}^{0,2}}{d_2} \lambda_0(T_0), \quad (15)$$

где  $\text{Nu}_0 = 0,46 \cdot \text{Gr}^{0,2}$ ,  $\text{Gr}$  – число Грасгофа,  $\gamma = e^{-\Delta}$  – коэффициент, характеризующий теплоизоляцию трубопровода,  $\Delta$  – толщина изоляции ( $\gamma = 0$  – идеальная изоляция,  $\gamma = 1$  – изоляция трубопровода отсутствует).

Подставив значение числа Грасгофа в уравнение 15, получим

$$\alpha_2 = 0,46\gamma \frac{\left[ g \cdot \beta(T_x - T_0) \frac{d_2^3}{\nu^2} \right]^{0,2}}{d_2} \lambda_0(T_0), \quad (16)$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,  $\beta$  – коэффициент объемного расширения воздуха.

Подставляя уравнения 14, 16 в уравнение 12, получим, что коэффициент теплопередачи от сжатого воздуха к окружающей среде будет равен

$$k = \frac{1}{\frac{1}{0,018 \cdot \lambda(T_x) \left( \frac{v \cdot d_1 \cdot \rho_x}{\nu} \right)^{0,8}} + \frac{1}{0,46\gamma \cdot \lambda_0(T_0) \left[ g \cdot \beta(T_x - T_0) \frac{d_2^3}{\nu^2} \right]^{0,2}}}. \quad (17)$$

Таким образом, можно определить тепловые потери при транспортировании сжатого воздуха

$$\Pi_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k(T_1 - T_i)}{\ln \frac{(T_1 - T_0)}{(T_i - T_0)}}. \quad (18)$$

Подставляя в уравнение 18 значение коэффициента теплопередачи от сжатого воздуха к окружающей среде, получим

$$\Pi_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\frac{(T_1 - T_i)}{\ln \frac{(T_1 - T_0)}{(T_i - T_0)}}}{\frac{1}{0,018 \cdot \lambda(T_i) \left( \frac{v \cdot d_1 \cdot \rho_{i_i}}{\nu} \right)^{0,8}} + \frac{1}{0,46\gamma \cdot \lambda_0(T_0) \left[ g \cdot \beta(T_i - T_0) \frac{d_2^3}{\nu^2} \right]^{0,2}}}}. \quad (19)$$

**Объемные потери.** Объемные потери, связанные с утечкой сжатого воздуха из пневмосети, являются обычно причиной наибольших потерь энергии в компрессорных установках.



При движении сжатого воздуха от компрессорной станции до пневмоприемников неизбежные утечки представляют собой не просто потери количества, а влекут за собой дополнительные потери давления.

Допустим, что давление сжатого воздуха в трубопроводе  $p_1$  и давление воздуха в окружающей среде  $p_0$  постоянно, то можно получить соотношение

$$\varepsilon = \frac{p_1 - p_0}{p_1} = \frac{\Delta p}{p_1}. \quad (20)$$

Тогда скорость потока утечек сжатого воздуха можно определить

$$c_i = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} RT_x \left(1 - \varepsilon^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right)}, \quad (21)$$

где  $R$  – постоянная Клапейрона,  $\kappa$  – показатель адиабаты ( $\kappa = 1,4$  для атмосферного воздуха).

Если площадь зазора  $\Phi_i$ , через который происходит утечка сжатого воздуха, то потери давления можно выразить [1-3]

$$P_3 = \Delta p_i = \sum_{i=1}^n p_1 \frac{c_i \Phi_i}{F_i \cdot v_i} = \sum_{i=1}^n p_1 \frac{\Phi_i}{F_i \cdot v_i} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} RT_x \left(1 - \varepsilon^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right)}. \quad (22)$$

Общие потери энергии сжатого воздуха в пневматических сетях определяются

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = \lambda \frac{l_i v_i^2}{2d_i} \cdot \frac{T_1}{T_x} \rho_1 + \sum_{i=1}^n p_1 \frac{\Phi_i}{F_i \cdot v_i} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} RT_x \left(1 - \varepsilon^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right)} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(T_1 - T_i) \ln \frac{(T_i - T_0)}{(T_1 - T_0)}}{\frac{1}{0,018 \cdot \lambda(T_i) \left(\frac{v \cdot d_1 \cdot \rho_{l_i}}{v}\right)^{0,8}} + \frac{1}{0,46\gamma \cdot \lambda_0(T_0) \left[\text{г} \cdot \beta(T_i - T_0) \frac{d_2^3}{v^2}\right]^{0,2}}}}. \quad (23)$$

**Оптимизация.** При определенном компрессорном агрегате, диаметре и толщине трубопровода и т.п., функционал потерь сжатого воздуха зависит от значений температуры  $T_{li}$ , то есть от решения задачи теплоизоляции различных участков трубопровода.

Для определения минимума потерь энергии сжатого воздуха, в зависимости от температуры

$$\frac{dP}{dT_{li}} = 0.$$

можно записать

При этом следует определиться, в каких пределах допустимо изменение температуры  $T_{li}$ :  $T_0 \leq T^* \leq T_{li} \leq T_1$ .

Тогда, или экстремум определяется как минимум (т. е.  $P = P_{\min}$ ), или наименьшее значение потерь энергии сжатого воздуха приходится на границу  $T^* \leq T_{li}$ .

Очевидно, что наибольшие потери будут при  $T^* = T_0$ , но, с другой стороны, повышение ограничительной температуры  $T^*$  требует дополнительных материальных затрат на теплоизоляцию. В идеале, при устранении всех температурных утечек (т.е.  $T^*$  близко к  $T_1$ ) резко возрастает температурный КПД системы воздухораспределения (потери энергии

будут идти на обогрев только самого трубопровода, а не окружающей среды). Поэтому, в дальнейшем можно рассмотреть  $T^*$  как функцию себестоимости утепления.

Аналогично решается задача оптимизации размеров трубопровода. При фиксировании  $T^*$  с учетом

$$T^* \leq T_l = T_0 + (T_1 - T_0) e^{-\frac{\pi \cdot k \cdot d_1}{c_p \cdot m}}, \quad (24)$$

можно рассмотреть потери энергии сжатого воздуха как функцию длины  $l$  трубопровода  $\frac{d\Pi}{dl} = 0$ , где  $l = \sum l_i$ , или диаметра трубопровода  $\frac{d\Pi}{dd} = 0$ ,  $\frac{d\Pi}{d(d_{li} + 2\delta_i)} = 0$ , где  $\delta_i$  - варьируемый параметр, толщины  $i$ -й трубы.

При рассмотрении потерь энергии сжатого воздуха как двухпараметрической функции ( $T$  и  $d_1$ ,  $d_1$  и  $l$ ), более удобно, тогда, возможно представить потери энергии, графически, виде поверхности  $\Pi = f(T, d_1)$ . При этом оптимум определяется визуально в пределах технологических границ (рисунок 2.).

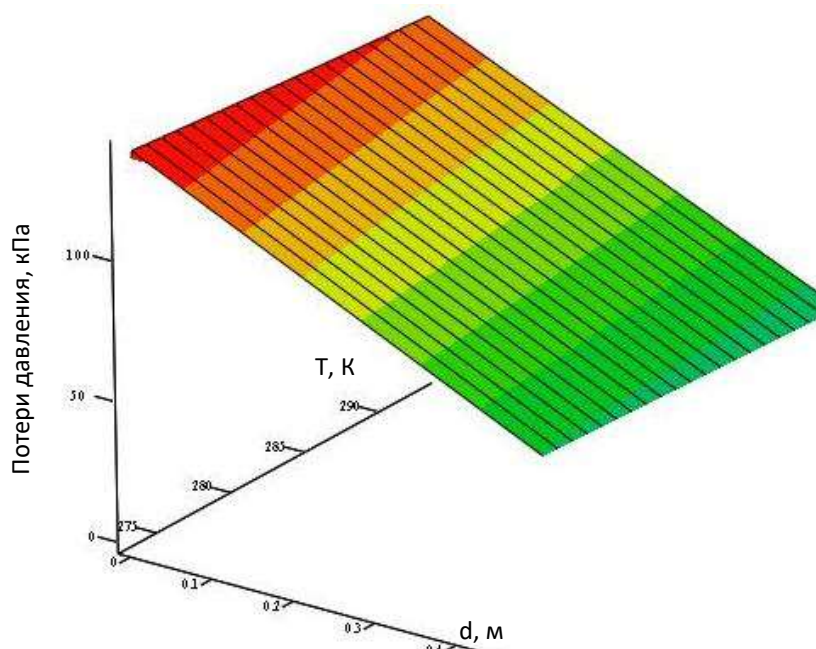


Рисунок 2. Зависимость потерь энергии температуры сжатого воздуха и диаметра трубопровода

#### Выводы:

Произведена минимизация потерь энергии при транспортировании сжатого воздуха, для этого выведены уравнения гидравлических, тепловых и объемных потерь, зависящие от основных параметров (температуры, давления и геометрических размеров трубопровода) с целью оптимизации, что позволяет определить минимум потерь, путем взятия производной по этим параметрам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Миняев Ю. Н. Энергетическое обследование пневмохозяйства промышленных предприятий. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 131 с.
2. Кузнецов Ю. В., Кузнецов М. Ю. Сжатый воздух. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2003. 283 с.

3. Миняев Ю. Н. Энергосбережение при производстве и распределении сжатого воздуха на промышленных предприятиях. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. 131 с.
4. Потапов В.Я., Фролов С. Г., Копачев В.Ф. Теплотехника. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. 211 с.
5. Миняев Ю. Н., Угольников А. В. Энергетическое обследование и рекомендации по снижению потерь энергии в пневматических сетях промышленных предприятий // Всероссийская конференция – Энерго- и ресурсосбережение. Екатеринбург: УГТУ, 2003. С. 15-17.

УДК 622.275; 622.831

## ПАРАМЕТРЫ ОСТАТОЧНОГО ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ВО ВРЕМЕНИ

ВАНДЫШЕВ А. М., ПОТАПОВ В. В., ПОТАПОВ В. Я.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье приводится методика расчета основных параметров проявления остаточного опорного горного давления с учетом временного фактора. Основой ее являются результаты натурных наблюдений и аналитических исследований, выполненных по данному вопросу. Использование изложенной методики позволяет определять параметры зоны остаточного опорного давления с учетом основных природных и техногенных факторов и решать вопросы о времени проведения горных выработок и месте их расположения относительно краевой части пласта.

**Ключевые слова:** горное давление, краевая часть пласта, концентрация напряжений, зоны временного и остаточного опорного давления, пласт угля, мощность пласта, угол падения, охрана горных выработок.

## PARAMETERS OF RESIDUAL REFERENCE PRESSURE AND THEIR CHANGE OVER TIME

VANDYSHEV A. M., POTAPOV V. V., POTAPOV V. YA.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article provides a method for calculating the main parameters of the manifestation of residual reference rock pressure, taking into account its temporary nature.

It is based on the results of field observations and analytical studies carried out on this issue. The use of the presented methodology makes it possible to determine the parameters of the zone of residual support pressure, taking into account the main natural and man-made factors and to solve questions about the time of mining and the location of their distribution relative to the edge of the formation.

**Keywords:** rock pressure, edge part of the seam, stress concentration, zones of temporary and residual bearing pressure, coal seam, seam thickness, dip angle, protection of mine workings.

Для решения практических задач по охране и поддержанию подготовительных выработок необходимы количественные показатели, проявления остаточного горного давления (ширина зоны пониженных напряжений ( $l_{\text{п}}$ ), местоположение максимума опорного давления ( $l_{\text{max}}$ ) и протяженность зоны опорного давления ( $l_{\text{o}}$ ).

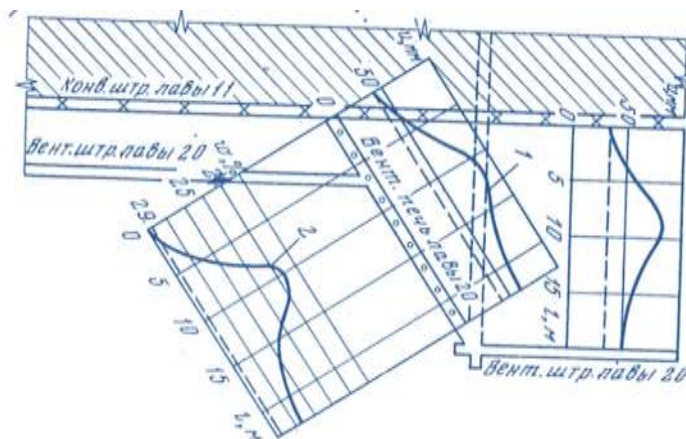
Изучение характера формирования остаточного опорного давления по падению пласта при слоевой отработке мощных пологих и наклонных пластов производилось на шахтах Челябинского бассейна и Средней Азии [1]. Исследованиями охвачен достаточно широкий диапазон горно-геологических и горнотехнических условий: угол падения пласта от 6 до 37°; глубина разработки от 240 до 395 м; разрыв во времени между отработкой смежного

столба (или нижнего слоя в смежном столбе) и периодом наблюдений от 6 до 52 месяцев. Наблюдения проводились при отработке первых, вторых и третьих слоев мощных пластов. Рассмотрим результаты исследований на некоторых характерных примерах.

При отработке мощного пласта Основного (Кызыл-Кийского месторождение) замеры вертикальных смещений и определение влажности угля в створе замерных пунктов производились в вентиляционной печи лавы 20, проведенной по первому слою пласта Основного. Непосредственная кровля пласта представлена семиметровой толщиной переслаивающихся глин и алевролитов ( $\sigma_{сж} = 18 - 20$  МПа). Основная кровля – песчаник мощностью около 12 м ( $\sigma_{сж} = 45-60$  МПа.) Угол падения пласта на данном участке  $35^\circ$ . Время между отработкой нижнего слоя и периодом наблюдений составляло 12 месяцев. Глубина расположения выработки 280 – 320 м.

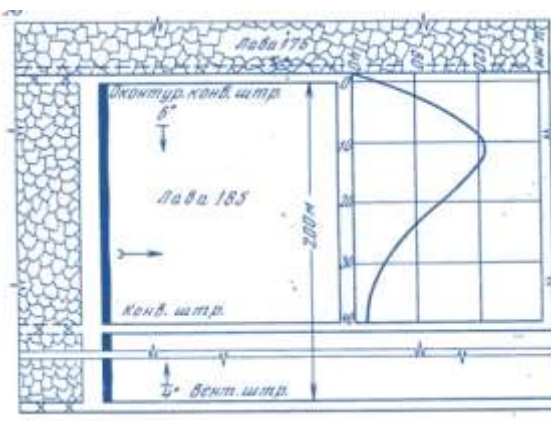
Оценка напряженного состояния при контурном массиве пород осуществлялась по изменению естественной влажности угля и смещений вмещающих выработку пород [1].

Результаты наблюдений приведены на рис. 1. В краевой части пласта наблюдается зона шириной около 3 м, напряжение в которой ниже, чем в неподверженном опорному давлению массиве угля. Остаточное опорное давление достигает своего максимума на расстоянии около 9 м по падению от кромки пласта. Общий размер зоны остаточного опорного давления составил 22 м.



**Рисунок 1. Характер распределения остаточного опорного давления по падению при отработке пласта Основного**

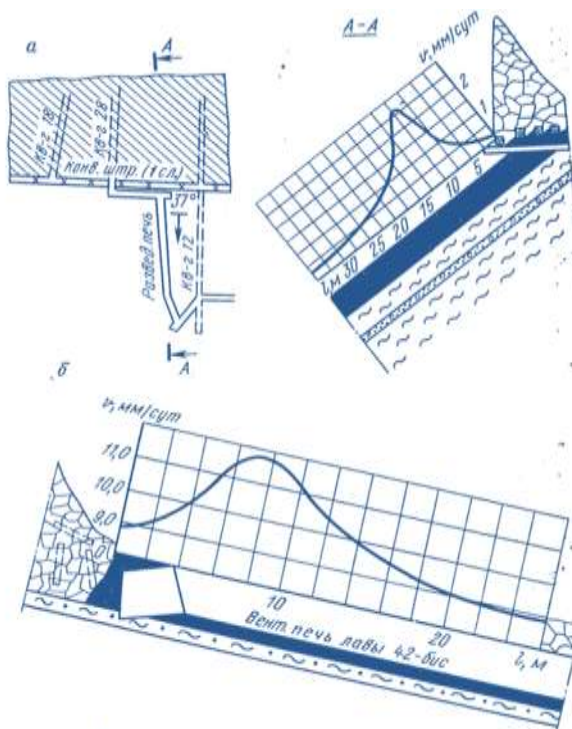
Оценка напряженного состояние краевой части пласта по величинам деформации произведена в сбоечной печи лавы 185 шахты «Коркинская» (Челябинский бассейн). Печь проведена по первому слою пласта Чумлякского между конвейерным штреком, охраняемым целиком шириной 40м, и оконтуривающим конвейерным штреком, расположенным на границе с обрушенными породами ранее отработанной лавы 176. В непосредственной кровле залегают аргиллиты мощность 6-11 м ( $\sigma_{сж} = 20 - 25$  Мпа). Основная кровля представлена песчаником мощностью 7 м ( $\sigma_{сж} = 42 - 60$  Мпа). Угол падения пласта  $6^\circ$ , глубина расположения выработки 395 м. Разрыв во времени между отработкой лавы 176 м и периодом наблюдений составляет 8 месяцев. Характер изменения напряжений в краевой части пласта представлен на рис. 2. Максимальное напряжение в пласте зафиксирована на расстоянии 12 м от линии обрушения пород кровли. Общий размер зоны остаточного опорное давления составил 35 м.



**Рисунок 2. Характер распределения остаточного опорного давления по падению при отработке пласта Чумлякского**

На рис. 3 представлены результаты наблюдений в разведочной печи, проведенной по первому слою пласта *B* (шахта № 8, Средняя Азия) и вентиляционной печи лавы 42 - бис расположенной на втором слое пласта Кызыл-Кийского (шахта № 4, Средняя Азия) Кровля пласта *B* представлена глинистым сланцем мощностью 0,8 м и слабоцементированным гравелитом ( $\sigma_{сж} = 12-18$  Мпа) мощностью 13-15 м. Угол падения пласта в районе разведочной печи и вентиляционной печи лавы 42 - бис соответственно составлял 37 и 15°, а глубина их расположения 260 и 380 м.

Из графиков, изображенных на рис. 3, видно, что характер распределения остаточного опорного давления на этих участках мощных пластов такой же, как и в ранее рассмотренных выработках. Максимум напряжений удален от кромки первого слоя пласта *B* на 10 м и от кромки второго слоя пласта Кызыл-Кийского на 7 м. Размер зоны остаточного опорного давления соответственно равен 30 и 20 м.



**Рисунок 3. Характер распределения остаточного опорного давления по падению пласта а – по пласту *B* (первый слой); б – по пласту Основному (второй слой).**

Анализ результатов исследований позволяет установить наличие ряда характерных зависимостей. Прежде всего следует отметить общий характер распределения остаточного опорного давления по падению пласта на первых и нижних слоях, который представляется следующим образом. В краевой части наблюдается зона, в пределах которой напряжение меньше, чем в нетронутым массиве. Далее напряжения возрастают, на некотором расстоянии от кромки пласта достигают максимальных значений, затем плавно снижаются и стабилизируются, что определяет границу влияния остаточного опорного давления. При этом все параметры зоны остаточного опорного давления (ширина разгруженной зоны, удаление максимума напряжений от кромки слоя, общий размер зоны остаточного опорного давления) в сопоставимых условиях по нижним слоям меньше, чем по первым. Так на шахтах Средней Азии ширина зоны пониженных напряжений на первых слоях равна 3-5 м и на нижних 2-3 м; максимум напряжений на первых слоях удалён от кромки угольного массива на 7,2-10 м, а на нижних, на 5,8- 7,5 м, и общий размер зоны соответственно составляет 22-40 м и 18-26 м. Коэффициент концентрации напряжений в зоне максимума нагрузки равен 2,0-2,6 на первых и 1,3 -1,6 на нижних слоях.

Уменьшение опорного давления на нижних слоях объясняется наличием надработки и активизации смещений обрушенных пород при повторной подработке. Обрушенные породы, даже склонные к слеживанию, не приобретают прежней монолитности и при отработке нижних слоев зависают над кромкой угольного массива на меньших площадях. Проведённые исследования на плоских моделях из эквивалентных материалов показали, что при повторной подработке углы полного сдвижения пород со стороны падения  $\varphi_1$  увеличиваются в среднем на  $5^\circ$ , а со стороны восстания  $\varphi_2$  - на  $7^\circ$ , что естественно, приводит к уменьшению площади зависающих пород и параметров опорного давления.

Анализ результатов исследований зон временного и остаточного опорного давления Средней Азии, Челябинского бассейна и других бассейнов [2,3,4,5] показывает, что параметры зон опорного давления зависят от многих природных и технологических факторов, основными из которых является структура и прочностные свойства пород кровли, глубина разработки, угол падения пласта, вынимаемая мощность пласта (слоя), расстояние до очистного забоя и продолжительность воздействия опорного давления на пласт угля. Следует заметить, что характер влияния первых пяти факторов на параметры зон опорного давления изучен в значительно большей степени, чем двух последних. Знание же закономерностей изменения параметров давления в зависимости от расстояния до очистного забоя и во времени имеет большое практическое значение при выборе места расположения и времени проведения слоевых выработок.

Для изучения влияния фактора времени на параметры опорного давления проведены специальные наблюдения. Суть этих наблюдений заключается в определении параметров опорного давления по изменению естественной влажности угля в краевой части через определенные промежутки времени. Наблюдение проводилось в конвейерном штреке лавы 11, отработывающей первый слой пласта В (шахта № 8 Шурабского месторождения). Отработка лавы 11 производилась на задний квершлаг. По мере подвигания очистного забоя из конвейерного штрека лавы 11 бурились скважины в сторону падения пласта на глубину 6-10 м. при этом с интервалом 0,5 м отбирали пробы угля для определения его влажности. Первое определение параметров опорного давления произведено на участке пласта, расположенным в 5 м позади очистного забоя. Максимальный коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления при этом был равен 2,65.

С восстающей стороны штрека были выложены костры и пробит органный ряд. Максимум опорного давления в этом случае был удален на расстоянии 6,3 м от линии обрушения пород кровли.

Спустя 2 месяца (забой лавы 11 удален на расстоянии 48 м), максимум опорного давления переместился вглубь массива и находился на расстоянии 8,4 м от линии обрушения пород кровли. Коэффициент концентрации напряжений при этом составил 2,3.

На рис. 4. показан характер распределения влажности угля, а соответственно и опорного давления, в краевой части пласта спустя 6 мес. после прохода очистного забоя на замерном участке. Максимальный коэффициент концентрации напряжений составлял в этом случае 2,15 и был удален на расстоянии 9,7 м от линии обрушения пород кровли. Через 10 месяцев после отработки лавы максимальный коэффициент концентрации напряжений составлял 2,1 и находился на расстоянии 10 м. Спустя 12 мес. после отработки лавы максимальный коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления был зафиксирован на расстоянии 10,3 м от линии обрушения пород кровли и был равен 2,07.

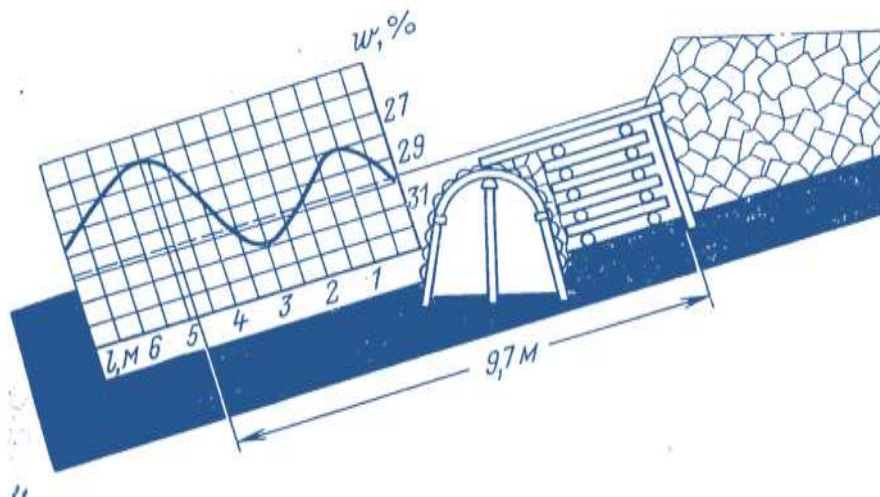


Рисунок 4. Изменение влажности угля в зоне остаточного опорного давления при отработке лавы 11

Аналогичные наблюдения были проведены и в конвейерном штреке лавы 31.

Таблица 1 – результаты исследований в конвейерном штреке лавы 31

| Разрыв во времени между отработкой лавы и проведением наблюдений, мес. | Максимальный коэффициент концентрации напряжений, $K_{max}$ | Удаление максимума напряжений от линии обрушения пород кровли, м | Разрыв во времени между отработкой лавы и проведением наблюдений, мес. | Максимальный коэффициент концентрации напряжений, $K_{max}$ | Удаление максимума напряжений от линии обрушения пород кровли, м |
|--|---|--|--|---|--|
| 0,2  | 2,43  | 6,0  | 6,0  | 2,10  | 9,5  |
| 2,0  | 2,25  | 7,3  | -  | -   | -  |
| 4,0  | 2,14  | 9,0  | 10,0   | 2,10  | 10,7   |

Результаты наблюдений в конвейерных штреках лав 11 и 31 показывают, что параметры опорного давления со временем изменяются. Наиболее интенсивное изменение их происходит в первые 4-6 мес. после прохода очистного забоя на данном участке. Далее же наблюдается весьма незначительное изменение параметров опорного давления во времени, и по истечении 10-12 мес. после прохода лавы на данном участке они практически не изменяются.

Характер изменения параметров зоны опорного давления на различном расстоянии от действующего очистного забоя изучался другими исследователями при разработке мощных пластов на шахтах Карагандинского бассейна. Эти исследования показали, что формирование параметров остаточного опорного давления носит временной характер [5].

Учитывая результаты вышеизложенных натуральных наблюдений и используя основные положения работ [7,8,9], рассмотрим закономерность изменения во времени параметров опорного давления в массиве угля, прилегающим к выработанному пространству, в общем виде.



Схематично изменение параметров опорного давления времени показано на рис. 5. При этом за начало координат принята кромка угольного пласта;  $Lt_n$  – расстояние от кромки пласта до максимума опорного давления по падению пласта в начальный период времени, т.е. в момент проведения наблюдения в непосредственной близости от линии действующего очистного забоя;  $Lt_k$  – то же, для установившегося случая, т.е. когда процесс изменения параметров опорного давления во времени практически прекратился;  $Lt_i$  – то же, в любой момент времени  $t_i$  (отсчет времени ведется от момента прохода очистного забоя на участке наблюдения).

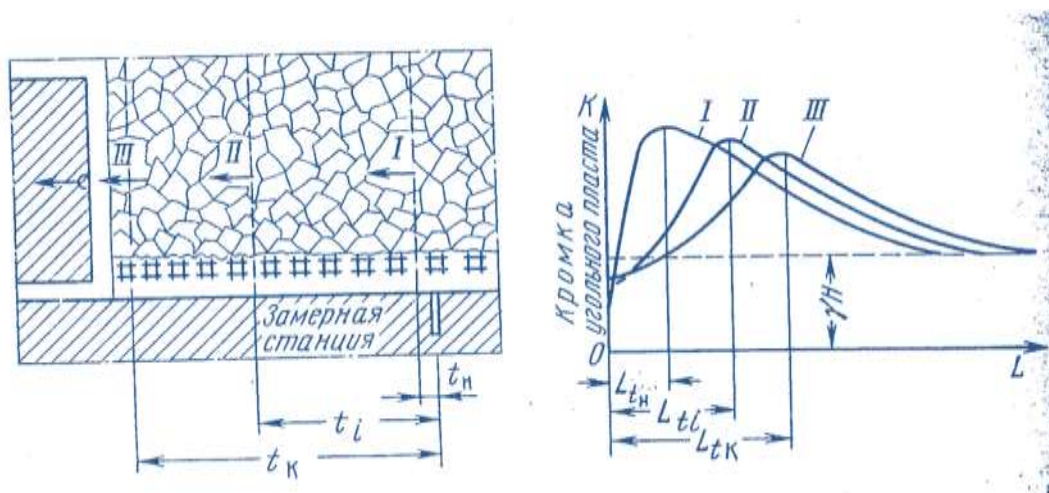


Рисунок 5. Схема изменения параметров зоны остаточного опорного давления во времени: I, II, III- периоды обработки

Для установления закономерности измерения размеров предельно напряженной части пласта во времени использована наследственная теория ползучести [8], которая отражает в основном все стороны реологических процессов и хорошо согласуется с экспериментальными и практическими данными. Рассматривая участок пласта от  $Lt_n$  до  $Lt_i$  как твердое тело, деформирующееся во времени, был использован закон деформирования материалов, который описывается интегральным уравнением Вольтерра [8].

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[ \sigma(t) + \int_0^t L(t, \tau) \sigma(\tau) d(\tau) \right] \quad (1)$$

с ядром ползучести

$$L(t, \tau) = \Theta_e - L(t - \tau), \quad (2)$$

где  $\varepsilon(t)$  и  $\sigma(t)$  – деформация и напряжение, соответствующие рассматриваемому моменту времени  $t$ , который отсчитывается от момента начального нагружения тела;

$E$  – модуль деформации;

$L(t, \tau)$  – некоторая характерная для данного материала функция, отражающая влияние единичного напряжения  $\sigma(t)$ , действующего в промежутке  $\tau$ , на деформацию в момент  $t$ ;

$\Theta, L$  – постоянные.

В правой части равенство (1) первый член представляет собой мгновенную упругую деформацию, а второй – изменение во времени.

В виду того что мы рассматриваем процесс изменения области предельно-напряженного состояния во времени за счет деформации ползучести первый член правой части уравнения (1) не принимаем во внимание (деформации упругости, которые отражаются этим членом, произошли до интересующего нас реологического процесса перемещения максимума опорного давления в глубь массива).

С учетом этого и, подставляя значения  $L(t, \tau)$  из уравнения (2) в уравнение (1), получим закон, по которому деформируется во времени участок пласта от  $L_{tн}$  до  $L_{ti}$  в направлении перпендикулярном к плоскости пласта:

$$\varepsilon_{\perp}(t) = \frac{\sigma_{ср}\theta}{E_{\perp}a} (1 - e^{-at}), \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{\perp}(t)$  – относительные деформации, перпендикулярные и плоскости пласта;

$E_{\perp}$  – модуль деформации при приложении нагрузки перпендикулярно к напластованию.

Среднее напряжение  $\sigma_{ср}$  за промежуток времени на рассматриваемом участке пласта можно записать в виде:

$$\sigma_{ср\perp} = a\gamma H, \quad (4)$$

где  $a$  – средний коэффициент концентрации напряжений на участке пласта от  $L_{tн}$  до  $L_{ti}$ .

$\gamma H$  – напряжение в нетронутом массиве на глубине  $H$  от дневной поверхности.

Подставим значение  $\sigma_{ср}$  из уравнения (4) в уравнении (3)

$$\varepsilon_{\perp}(t) = \frac{a\theta}{E_{\perp}a} \gamma H (1 - e^{-at}). \quad (5)$$

Найдем теперь выражение для горизонтальных деформаций участка пласта  $L_{tн}$  до  $L_{ti}$ . Среднее напряжение на рассматриваемом участке в плоскости пласта составит:

$$\sigma_{ср\parallel} = b\gamma H. \quad (6)$$

Полагаем, как в работе [10], что напряжения в плоскости пласта за максимум опорного давления  $\gamma H$ . Это справедливо для рассматриваемого участка пласта в начальный момент. В момент времени  $t$  этот участок будет расположен в области предельно напряженного состояния и коэффициент будет меньше 1.

Для одномерной деформации в сторону горной выработки удлинения элемента угольного пласта для точки с координатой  $x$  можно определить из выражения [10]:

$$\varepsilon_{\parallel} = \frac{\sigma_{x\perp} - \sigma_{x\parallel}}{E_{\parallel}} = \frac{1-b}{E_{\parallel}} \gamma H. \quad (7)$$

Интегрируя правую часть равенства (7) от  $L_{tн}$  до  $L_{ti}$  получим горизонтальную деформацию всего участка:

$$\varepsilon_{\parallel} = \int_{L_{tн}}^{L_{ti}} \frac{1-b}{E_{\parallel}} \gamma H dx = \frac{1-b}{E_{\parallel}} \gamma H (L_{ti} - L_{tн}) \quad (8)$$

Известно, что горизонтальную деформации любого тела связаны с вертикальными через коэффициент Пуассона  $\mu$ :

$$\varepsilon_{\perp} = \varepsilon_{\parallel} \mu. \quad (9)$$

Подставляя в уравнение (9) значения  $\varepsilon_{\parallel}$  и  $\varepsilon_{\perp}$  из уравнений (8) и (5), получим следующее выражение для  $L_{ti}$

$$L_{ti} = L_{tн} + c(1 - e^{-at}), \quad (10)$$

где  $c = \frac{a\mu\theta E_{\parallel}}{(1-b)aE_{\perp}}$ .

Если  $t \rightarrow \infty$ , то  $L_{ti} = L_{тк}$  и  $c = L_{тк} - L_{tн}$ .

Равенство (10) с учетом этого примет вид:

$$L_{ti} = L_{тк} - (L_{тк} - L_{tн})e^{-at}. \quad (11)$$

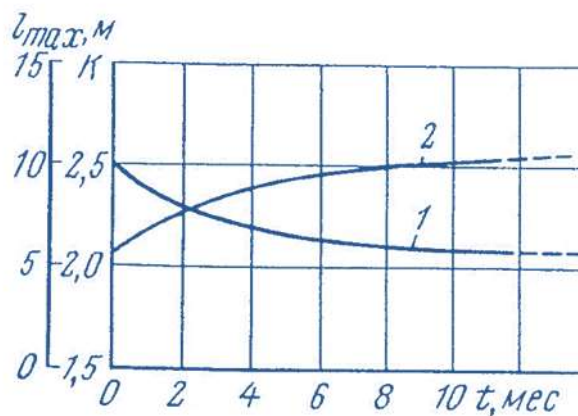


Рисунок 6. Изменение коэффициента концентрации напряжений (1) и расстояния от кромки пласта до максимума напряжений во времени (2)

Уравнение (11) выражает закономерность изменения размеров области предельно-напряженного состояния во времени. Параметры  $L_{тн}$  и  $a$ , входящие в выражение (11), зависят от ряда горно-геологических факторов и должны определяться в конкретных условиях. На основании экспериментальных исследований в натуральных условиях установлено, что при отработке первых слоев мощных пластов  $L_{тн} = 6$  м  $a = -0,275$ .

По данным исследований на шахтах Средней Азии построены графики изменения размеров области предельного напряженного состояния и максимального коэффициента концентрации напряжений во времени (рис. 6). Из графиков видно, что расстояние до точки с максимальными напряжениями достигает величины  $L_{тк}$ , отвечающей случаю установившегося опорного горного давления; только по истечении очень большого промежутка времени. Однако в каждом конкретном случае имеется некоторый промежуток времени, по истечении которого второй член правой части уравнения (11) становится настолько малым, что практически  $L_{ti} = L_{тк}$ . В рассматриваемых условиях это время составляет около 10 - 12 месяцев. С учетом изложенного уравнения для определения местоположения максимума опорного давления относительно кромки пласта при отработке первых слоев мощных пластов в период от 0 до 12 месяцев может быть записано следующим образом:

$$L_{ti} = 10,5 - 4,5e^{-0,275t}, \text{ м}, \quad (12)$$

где  $t$  – время, мес.

Коэффициент учитывающий изменение параметров остаточного опорного давления во времени рекомендуется определять по формуле

$$P_t = \frac{t}{0,78t + 0,28}. \quad (13)$$

Об изменении параметров опорного давления спустя 10 - 12 месяцев после прохода очистного забоя на данном участке сделать какие-либо определенные заключения из-за отсутствия экспериментальных данных не представляется возможным. Однако можно предположить, что они не остаются постоянным во времени. Со временем происходит уменьшение размеров зависающих пород и это сопровождается незначительным изменением параметров остаточного опорного давления.

На основании проведенных нами исследований и исследований других авторов [9,10,11] принят следующий подход к определению основных параметров зоны остаточного опорного давления.

1. Размер зоны остаточного опорного давления по падению пласта определяется через размер зоны опорного давления по простиранию с учетом угла падения пласта ( $L_0 = L \cos \alpha$ ).

2. Размер области пониженных напряжений и местоположение максимума напряжений определяется через общий размер зоны опорного давления с учетом установленных соотношений между ними.

3. Параметры остаточного опорного давления на нижних слоях определяются через аналогичные параметры, установленные для первых слоев с учетом коэффициента их уменьшения.

4. При определении параметров остаточного опорного давления по первым слоям учитывается фактор времени.

Зависимости, предлагаемые для определения параметров остаточного опорного давления приведены в табл. 2

**Таблица 2 – Расчетные формулы для определения параметров остаточного опорного давления**

| Определяемый параметр  | Расчетная формула                          |
|--|--|
| Общая протяженность зоны остаточного опорного давления по падению пласта, м:<br>первый слой          | $L_0 = \frac{aP_t H \cos \alpha}{f \beta}$ |
| нижний слой  | $L'_0 = 0,65L_0$                           |
| Местоположение максимума остаточного опорного давления относительно кромки пласта, м:<br>первый слой | $L_{max} = 0,32L_0$                        |
| нижний слой  | $L'_{max} = 0,21L_0$                       |
| Размер области пониженных напряжений, м:<br>первый слой  | $L_{п} = 0,13L_0$                          |
| нижний слой  | $L'_{п} = 0,08L_0$                         |

В формулах (табл.2) приняты следующие условные обозначения:

$H$  – глубина разработки, м;

$f$  – коэффициент крепости пород непосредственной кровли по М.М. Протодьяконову;

$a, b$  – безразмерные коэффициенты, зависящие от коэффициента  $\beta$  [11]

$\beta$  – коэффициент, характеризующий степень зависания пород кровли в выработанном пространстве, которая определяется через отношение мощности пород основной кровли ( $M_0$ ) к сумме мощностей непосредственной кровли ( $h_{нк}$ ) и вынимаемого слоя пласта ( $m$ );

$P_t$  – коэффициент, учитывающий временной фактор.

**Вывод.** Изложенные в статье результаты исследований позволили выявить характер формирования остаточного опорного давления по падению пласта при отработке мощных пластов наклонными слоями. Установлено, что параметры остаточного опорного давления не являются статичными, и изменяются со временем. На основании исследований предложено рекомендации по определению параметров остаточного опорного давления с учетом основных горно-геологических факторов и фактора времени. Использование их позволит более обоснованно решать задачи по охране и поддержанию слоевых вентиляционных штреков и естественно снизить затраты на их поддержание.

#### ЛИТЕРАТУРА

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. Баженов А. И., Акиншин Б. Т. Методы определения напряжений в массиве горных пород. — «Технология добычи угля подземным способом», 1971, № 8, с. 13—14.
3. Горное давление в подготовительных выработках угольных шахт. М., «Недра», 1971. 288 с. Авт.: И. Л. Давыдович, Н. П. Бажин, Ю. П. Кореной и др.

4. Зборщик М. П., Братишко А. С., Прокофьев В. П. Выбор способов охраны и места расположения подготовительных выработок. Киев, «Техника», 1970. 228 с.
5. Исследование и разработка технологических схем выемки мощных пологих пластов без оставления угольных целиков. Научные труды КНИУИ, вып. 42, Караганда, 1972, с. 14 - 21. Авт.: Н. Н. Хардин, В. Я. Новиков, А. Я. Мамонтов и др.
6. Гапанович Л. Н., Златкин В. И., Мамонтов А. Я. Исследование проявления горного давления для рационального проведения выработок в присечку к выработанному пространству. «Уголь», 1975, № 11, с. 11 - 15.
7. Гмошинский В. Г. К вопросу о подготовительной фазе внезапного выброса: В сб. «Проблемы рудничной аэрологии и внезапных выбросов угля и газа». М., изд. АН СССР, 1958, с. 40- 48.
8. Ержанов Ж.С. Теория ползучести горных пород и ее применения. М., «Наука», 1966, 175с.
9. Чернов О. И., Мурашев В. И., Шлиомовичус Я. Г. Изменение параметров опорного давления с учетом реологических свойств массива. В сб. «Проблемы реологии горных пород». Киев, «Наукова думка», 1970, с. 225-229.
10. Ходот В. В. Внезапные выбросы угля и газа. М., Госгортехиздат, 1963. 363 с.
11. Петухов И. А., Дорошенко В. И. Влияние структуры кровли на ширину зоны опорного давления в Кизеловском бассейне. В сб.: «Технология добычи угля подземным способом», 1971, № 11, с. 29-31.

## ОЦЕНКА ПРОЯВЛЕНИЙ ПУЧЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ

ДЕМИН В. Ф.<sup>1</sup>, ЗАХАРОВ А. М.<sup>1</sup>, ДВУЖИЛОВА С. Н.<sup>1</sup>, ДЕМИНА Т. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,  
Республика Казахстан

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

**Аннотация.** Пучение пород в подземных горных выработках является одной из наиболее распространенных разновидностей проявления горного давления. Одним из условий, создающих пучение подготовительной выработки, является обводненность выработок и высокая чувствительность глинистых пород к размоканию. При выборе способа борьбы с пучением в первую очередь определяется необходимость применения дополнительных мероприятий. На основе проведенных в шахтных условиях исследований в работе предлагаются меры борьбы с пучением горных выработок.

**Ключевые слова:** горная выработка, почва выработки, горное давление, пучение пород, деформация.

## ASSESSMENT OF THE MANIFESTATIONS OF HEAVING OF SOIL ROCKS IN PREPARATORY WORKINGS

DEMIN V. F.<sup>1</sup>, ZAKHAROV A. M.<sup>1</sup>, DVUZHILOVA S. N.<sup>1</sup>, DEMINA T. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NAO "Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov", Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> Ural State Mining University, Yekaterinburg

**Abstract.** The rock heaving in underground mines is one of the most common varieties of manifestation of rock pressure. One of the conditions creating a heaving of developing roadways is watering of workings and the high sensitivity of clay rocks to soaking. When choosing a method of combating heaving, first of all, the need for additional measures are determined. Based on the research conducted in the mine conditions, the paper proposes measures to combat heaving of mine roadways.

**Keywords:** mine roadway, roadway floor, rock pressure, rock heaving, deformation.

Пучение пород в подземных горных выработках является одной из наиболее распространенных разновидностей проявления горного давления, которая заключается в образовании области неупругих деформаций в результате выдавливания более мягких пород из-под угольных целиков.

Основным условием проявления пучения пород в подготовительной горной выработке является резкое различие механических показателей основных пород и породы пучащего слоя и обусловлены влиянием горно-геологических и технологических факторов. Устойчивость породных обнажений подготовительной выработки и прилегающих к ней пород зависит от физико-механических свойств горных пород и действующих в них напряжений, которые обусловлены массой вышележащих пород, тектоническими процессами и производством горных работ. Основной причиной проявлений горного давления в угольных шахтах является наличие в почве угольных пластов менее прочных прослоев горных пород (рис. 1).

Одним из условий, создающих пучение почвы горной выработки, является обводненность выработок и высокая чувствительность глинистых пород к размоканию. Прочность глинистых сланцев при полном водонасыщении снижается в два и более раз. На интенсивность пучения выработки влияет мощность слоев пород со слабыми по прочности породами (таблица 1) [1].

При незначительном отличии прочностных параметров пород кровли, боков и почвы в условиях всестороннего сжатия происходит деформация пород по всему периметру выработки. В этом случае с увеличением начального радиуса выработки возрастает тангенциальная составляющая тензора напряжений, и увеличиваются смещения контура. В связи с этим необходимо строго разграничивать пучение почвы на два вида: вследствие напряженно-деформированного состояния всего массива вокруг пород выработки; выдавливания пород из-под целиков, играющих роль штампов.

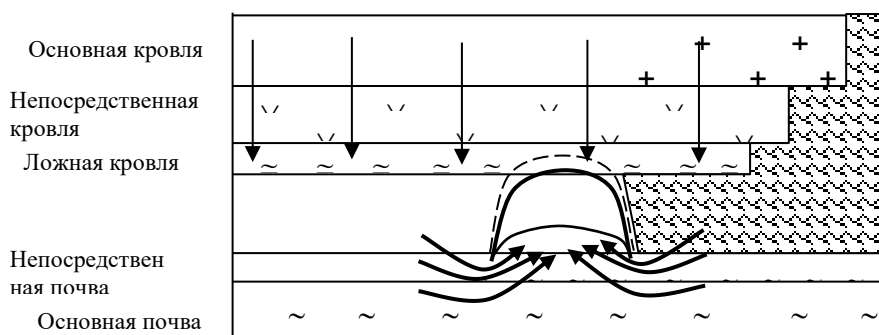


Рис. 1 – Схема взаимодействия вмещающих пород, окружающих выработку

Таблица 1 – Сведения о скорости пучения пород на одинаковой глубине (по В.А. Латыкину) [2]

| Породы непосредственной почвы пласта | Мощность непосредственной почвы, м | Средняя скорость пучения, мм/мес |
|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Песчаный сланец                      | 0,5                                | 50 - 120                         |
| Глинистый сланец                     | 0,5-0,6                            | 60 - 80                          |
| Глинистый и песчаный сланцы          | 0,75                               | 100 - 150                        |
| Глинистый сланец                     | 1,2                                | 100 - 600                        |
| Песчаный сланец                      | 2,6                                | 500 - 6                          |

Проведение горной выработки обуславливает в почве упруго-вязкие деформации, усиливающиеся во времени (см. рис. 1). Внутри этой зоны образуется пластическая область, которая также изменяет свои размеры во времени. Напряженное состояние пород в различных частях пластической области будет различным, что приводит к разным деформациям. При уменьшении различия прочности и пластических свойств пород почвы и боков выработки изменяется характер деформационных процессов.

Деформирование пород почвы подготовительных выработок изучают с помощью глубинных реперных станции. В выработках, не подверженных влиянию очистных работ (первый тип деформирования) деформации пород слоев почвы заключаются в незначительном расширении, по величине меньшем относительной продольной деформации породы по образцам ( $15 \cdot 10^{-3}$  м). Полное затухание деформаций наблюдается через 150-300 сут.

При втором типе деформирования у контура почвы располагается зона разрушенных пород. Коэффициент разрушения пород в ней со временем увеличивается, но это увеличение имеет затухающий характер. Размер разрушенной зоны достигает 2 - 3 м, а коэффициент расширения пород 1,02-1,03. Далее за зоной разрушения до глубины 5 - 6 м располагается зона деформаций ползучести (упруго-вязких деформаций). Характер деформирования пород в этой зоне тоже затухающий. Относительные деформации слоев составляют  $(10...15) \cdot 10^{-3}$  м, т.е. в 2 раза и не меньше деформаций в зоне разрушения.

В случае третьего типа деформирования слои пород вблизи контура разрушаются вслед за проведением выработки. Коэффициенты расширения пород достигают 1,1. На глубине 2 - 3 м разрушение пород начинается с некоторым запозданием, т.е. имеет место длительное разрушение пород. На глубинах свыше 3 - 6 м породы подвержены деформациям ползучести.

Сравнение смещений по ширине выработки показывает, то интенсивность деформирования пород почвы в центре выработки несколько выше, чем по бокам.

При образовании области неупругих деформаций, проявление пучения связано с напряженным состоянием массива пород, т.е. с глубиной от поверхности. С увеличением глубины горных работ, относительное число пластов с проявлением пучения почвы заметно возрастает.

При наличии в окружающих выработках пород пучающего слоя основным вопросом является определение объема пучения, т. е. объема породы, который будет выдавлен в выработку на единицу ее длины или площади почвы.

Имея такую оценку объема пучения, всегда можно подойти обоснованно к решению вопроса о необходимости крепления почвы выработки, а также о форме и конструкции этой крепи.

При выборе способа борьбы с пучением в первую очередь определяется необходимость применения дополнительных мероприятий. После этого определяется оценивается возможность применения способов охраны, которые обуславливаются горно-геологическими условиями и наличием необходимых средств для выполнения требуемых работ.

Все меры борьбы с пучением горных выработок разделены на 4 группы: использование благоприятных технических и горно-геологических условий; разгрузка породного массива; укрепление пород вокруг выработки; комбинированные способы.

Прослеживаются факты образования в кровле и почве выработки зон разгрузки с появлением растягивающих вертикальных напряжений. Эти зоны провоцируют развитие свода обрушения пород в кровле и пучения почвы, которому способствует концентрация сжимающих в боках выработки, формирующая подобие зоны опорного давления.

Слабые обводненные породы обуславливают пучение почвы выработки. На глубоких горизонтах доля пучения вертикальных смещениях достигает 70-90%. условия поддержания выработок, предопределяющие необходимость проведения мероприятий по борьбе с пучением, можно установить по критерию [3]

$$\Omega = \frac{0,025H}{R_c}$$

где  $H$  – глубина расположения выработки, м;

Критерии условий поддержания выработок по пучению пород и угля, расположенных в почве выработки, приведены в таблице 2 [2, 3].

С увеличением глубины разработки усложняются условия проведения и поддержания горных выработок из-за возрастания напряженного состояния горных пород. Несмотря на повышение с глубиной прочностных свойств пород, давление на выработки увеличивается, проявляется склонность к пучению даже весьма крепких пород возникают динамические явления (внезапные выбросы угля и газа, горные удары). К большим глубинам относят горизонты, на которых существенно изменяется характер проявления горного давления и ухудшается состояние горных выработок.

На основании наблюдений по условиям проведения и поддержания выработок выделяются следующие глубины: малые (до 300 м), средние (300-600 м) и большие (более 600 м). Для сопоставления условий поддержания выработок можно использовать показатели  $R_{c/\gamma}H$  и  $R_{вд/\gamma}H$  (таблица 3).

$R_{вд}$ -сопротивление пород почвы вдавливаню штампа площадью 10 см<sup>2</sup>, МПа;  $\gamma$  – плотность пород, МН.



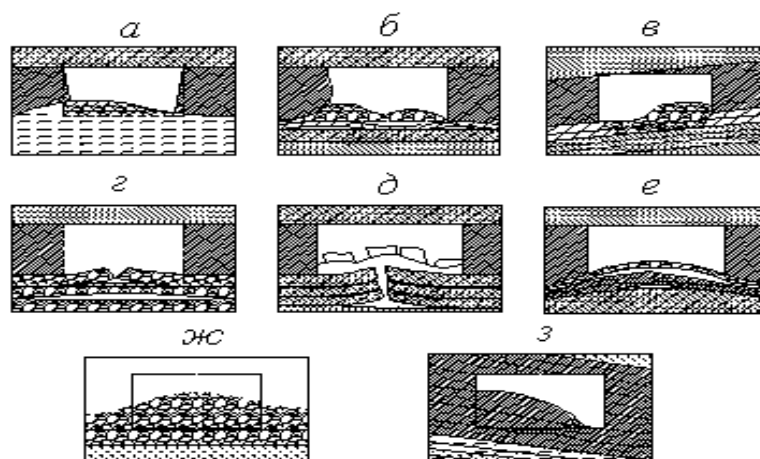
**Таблица 2 – Предельные значения критерия  $\Omega$  при различных способах охраны пластовых выработок**

| Способы охраны пластовых выработок  | Значение $\Omega$ , при которых требуется проведение мероприятий по борьбе с пучением |            |
|---|---|------------|
|   | пород   | угля       |
| Расположение выработки в массиве с погашением за забоем лавы  | более 0,5   | более 0,25 |
| Сохранение выработки за забоем лавы с помощью искусственных сооружений для повторного использования | более 0,35  | более 0,15 |
| Расположение выработки вприсечку к выработанному пространству                                       | более 0,65  | более 0,2  |
| Оформление выработки за лавой в выработанном пространстве   | более 0,8   | -          |

**Таблица 3 –Классификация условий поддержания выработок**

| Условия поддержания выработок | $\frac{R_c}{\gamma H}$ | $\frac{R_c}{\gamma H}$ |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|
| Легкие                        | более 3,5              | более 3,5              |
| Средние                       | 1,7 – 3,5              | 1,7 – 3,5              |
| Тяжелые                       | менее 1,7              | менее 1,7              |

На рисунке 2 показаны характерные виды пучения почвы подготовительных выработок под влиянием проходческих и очистных работ.



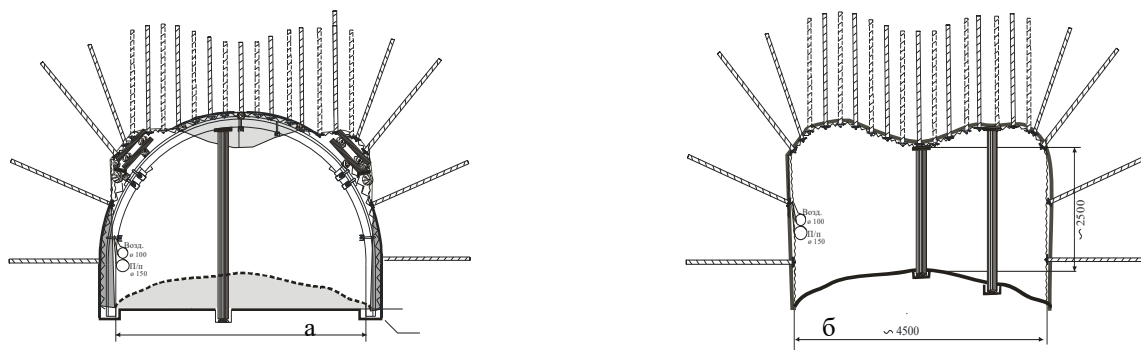
**Рисунок 2 –Характерные виды пучения почвы подготовительных выработок под влиянием проходческих и очистных работ**

а–левого бока выработки; б–обоих боков; в–правого бока; г–растрескивание пород; д–разлом пород; е–вздутие по центру; ж–заполнение поддутой породой;  
з–выдавливание в полость выработки

С увеличением глубины разработки усложняются условия проведения и поддержания горных выработок из-за возрастания напряженного состояния горных пород. Несмотря на повышение с глубиной прочностных свойств пород, давление на выработки увеличивается, проявляется склонность к пучению даже весьма крепких пород возникают динамические явления (внезапные выбросы угля и газа, горные удары). К большим глубинам относят горизонты, на которых существенно изменяется характер проявления горного давления и ухудшается состояние горных выработок.

С увеличением глубины разработки усложняются условия проведения и поддержания горных выработок из-за возрастания напряженного состояния горных пород. Несмотря на повышение с глубиной прочностных свойств пород, давление на выработки увеличивается, проявляется склонность к пучению даже весьма крепких пород возникают динамические явления (внезапные выбросы угля и газа, горные удары). К большим глубинам относят горизонты, на которых существенно изменяется характер проявления горного давления и ухудшается состояние горных выработок.

На рис. 3 и 4 показаны деформации почвы и кровли в главном конвейерном уклоне к9 7 гор...шахты «Саранская» Карагандинского угольного бассейна.



**Рис. 3–Деформации кровли и почвы (а) и крепи (б) в главном конвейерном уклоне к9 7 гор. шахты «Саранская» Карагандинского угольного бассейна**

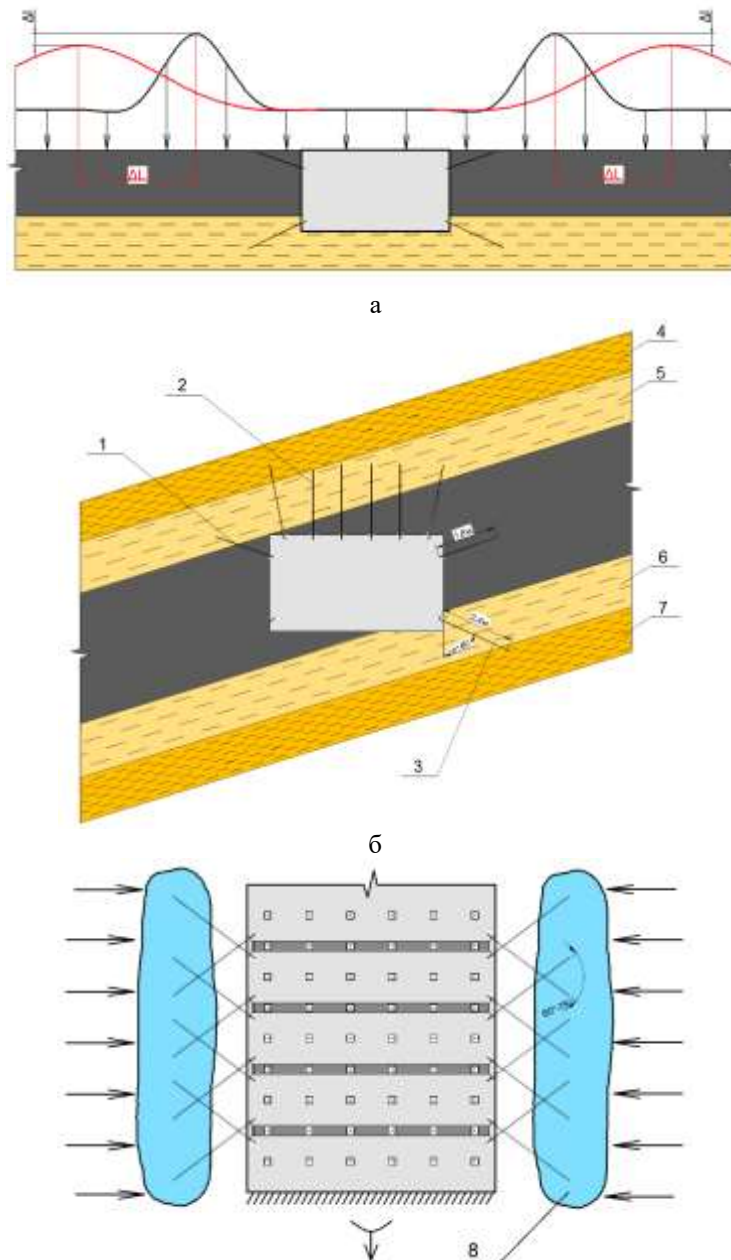


**Рис.4–Деформации выработок по середине почвы (а), по бокам (б), контуров (в) выработок**

Для снижения пучения разработана технология установки анкерного крепления в бока горной выработки.

В настоящее время, с увеличением глубины разработки угольных пластов, на шахтах Карагандинского угольного бассейна возникает необходимость борьбы с пучением подготовительных выработок. К основному из существующих методов борьбы с пучением относится подрывка горной выработки. Данный метод имеет существенные недостатки. Подрывка горной выработки, технологически сложный и затратный метод борьбы с пучением почвы, нуждающийся в применении дорогостоящего оборудования. Технология установки анкерного крепления в бока выработки позволяет значительно сократить данные недостатки.

Технология [3], включает установку припочвенных анкеров из стекловолокна в бока горной выработки на расстоянии 0,2 - 0,4 м от ее почвы. Анкера устанавливаются через 0,5-0,7 м в крест друг к другу под углом 50-65° к углу наклона выработки – рис. 5.



**Рис. 5 – Технология установки анкерного крепления в бока горной выработки**

1 – боковые анкера; 2 – кровельные анкера; 3 – припочвенные анкера; 4 – основная кровля; 5 – непосредственная кровля; 6 – непосредственная почва; 7 – основная почва; 8 – закрепленный припочвенный контур  
 а–схема проявлений горного давления; б, в – профиль и план осуществления технологии

Технический результат заключается в сохранении устойчивого состояния выработки на весь период эксплуатации без дополнительных затрат на ремонтные работы за счет обеспечения эффективной работы анкерной крепи в зоне влияния очистных работ, что позволит повторно использовать данную выработку при подготовке фронта очистных работ.

Задача достигается тем, что способ борьбы с пучением почвы горных выработок, включающий проходку выработки и установку в почву у ее бортов наклонных анкеров, причем одновременно с проходкой выработки определяют мощность слоев почвы и степень ослабленности механического контакта по этим слоям, устанавливают в почву выработки у ее бортов реперы и при их сближении по увеличению степени ослабленности механического контакта определяют мощность пучающего слоя почвы, а анкеры устанавливают под углом к вертикали 20-30°, длину которых определяют по расчетной формуле отличающийся тем, что после определения мощности пучающего слоя в почву у бортов выработки

устанавливают сталеполимерные анкера (например длиной 2,4м) с заложением их под углом 30-45° ( $\alpha$ ) к напластованию, по мере закрепления которых в шпурах с помощью ампул образуются породные блоки вокруг анкеров, связанных между собой силами сцепления укрепленных пород, и за счет чего создается несущий свод (контур укрепления) для снижения значительных сжимающих усилий с боков выработки, приводящих к продольно-поперечному изгибу слоев с последующей потерей ими устойчивости и выпиранию внутрь выработки, причем для увеличения несущей способности и обеспечения податливости опорных элементов анкера устанавливают конусную проставку, а для обеспечения разгрузки пород почвы от напряжений шпуры для установки анкеров разбуривают на глубину 1-1,2м диаметром, большим в два раза, что нарушит целостность пучащего слоя и замедлит (исключит), таким образом, развитие продольно-поперечного изгиба слоев.

Производственные процессы, связанные с возведением анкерного крепления, не являются сдерживающим фактором добычи угля в очистном забое, так как скорость их возведения опережает скорость подвигания очистного забоя в 4 - 5 раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.П. Максимов. Горное давление и крепь выработок. – М.: Изд. «Недра» 1973. - 250 с.
2. Горная энциклопедия. [www.mining-enc.ru](http://www.mining-enc.ru)
3. Управление геомеханическими процессами при ведении подземных горных работ. / В.Ф. Демин, С.Б. Алиев, Т.К. Исабек, В.В. Мельник, В.Н. Долгоносков, К.К. Кушеков. - Караганда: 2012. – 278 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ЗОЛОТОРУДНЫХ ДАЕК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

УСАНОВ С. В.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

**Аннотация.** Объектом исследования является фрагмент горного массива Березовского золоторудного месторождения, подработанный подземными работами. Цель работы – оценить параметры процесса сдвижения от старых горных работ и оценить риски застройки участка. Методы исследования: анализ исторических горно-геологических материалов по разработке Березовского месторождения, анализ планов поверхности участка, натурное обследование территории, проверка по базе провалов поверхности. На основе исследований оценено состояние пород подработанного горного массива, сделан прогноз развития процесса сдвижения. Степень внедрения – используется на инвестиционной стадии и при планировании территории.

Значимость работы – снижает риск аварий и чрезвычайных ситуаций в местах залегания подземных горных выработок, повышает безопасность населения и устойчивость зданий, повышает безопасность промышленных объектов.

**Ключевые слова:** старая шахта, обрушение поверхности, провал, подработанная территория, безопасность строительства.

## INVESTIGATION OF THE MOVEMENT OF THE EARTH'S SURFACE FROM GOLD ORE DIKES TO DETERMINE THE RISKS OF CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL BUILDINGS

USANOV S. V.

Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg

**Abstract:** The object of the study is a fragment of the mountain massif from the Berezovsky gold mine, which was previously mined underground. The aim of the work is to evaluate the parameters of the process of land reclamation after mining and assess the risks associated with constructing a site on this area. Research methods: Analysis of historical mining and geological data for the development of the Berezovsky deposit, Review of surface plans for the site, Full-scale surveying of the territory, Verification based on surface failures. Based on the research, an assessment is made of the condition of the rock strata in the mined area and a forecast is made for the development of displacement processes. This information is used for investment decisions and planning the use of the land. The importance of this work reduces the risk of accidents and emergencies in areas where underground mining takes place, increases the safety of people and the stability of buildings, and improves the safety of industrial facilities..

**Keywords:** old mine, surface collapse, sinkhole, part-time area, construction safety.

**Исследования выполнены в рамках Госзадания № 075-00412-22 ПР, тема No (FUWE-2022-0003), рег. No1021062010536-3-1.5.1.**

Деформации земной поверхности на подработанных территориях – распространённое во всем мире техногенное явление [1, 2, 3]. Безопасность застройки подработанных территорий оценивают на основе комплекса исследований, включающего методы геодезических [5] и геофизических исследований [6, 7], а также натурный поиск следов развития деформационных процессов. Методики прогноза процесса сдвижения на подработанных территориях основаны на комплексном анализе негативных факторов и

использовании специализированных инструментальных исследований [8, 9, 10]. Мы исследовали более 400 участков на подработанных территориях в городах Свердловской и Челябинской областей, Пермского края и Республики Коми [11-14]. Самая распространенная на практике использования земель площадь обследуемых участков составляет 0,2 – 1,5 гектар. Результативность применяемой методики обследования в 100% случаев исследования конкретных участков показала отсутствие аварий на подработанных землях, которые мы ввели в эксплуатацию. Каждый случай исследования задокументирован государственными документами. Безаварийная эксплуатация зданий (в том числе жилых многоэтажных) и сооружений на обследованных площадях подтверждает эффективность методик.

Площадка исследований находится в западной части города. Со всех сторон от участка территории застроены промышленными объектами. Исследование активности процесса сдвижения над старыми подземными разработками в городе Березовский обусловлено намерениями по строительству зданий. Исследуемый участок площадью 1 га расположен на площади залегания Березовского золоторудного месторождения. Он подработан подземными разработками по дайкам Второ-Павловская и Ильинская (рисунок 1). В настоящее время горные работы здесь не ведутся, запасов, подлежащих отработке, не числится.

Чтобы определить параметры давно прошедших деформаций поверхности от старых разработок первым шагом исследований является анализ исторических данных [15] по перечню параметров (таблица 1). Оценив геомеханические условия подработки итоговым накоплением количества факторов [16], которые действуют в пределах объекта исследования.

#### **Горные работы по дайке Второ-Павловская**

Дайка Второ-Павловская простирается в субмеридиональном направлении и пересекает участок через центр с севера на юг. Она имеет крутое восточное падение под углом 70°. Это одна из самых разработанных даек Березовского месторождения.

До 18 – 19 веков дайка частично отрабатывалась с поверхности до глубины 54 метра. В двадцатом веке горные работы по дайке велись до 1986 года. Отработка запасов была интенсивной и практически сплошной.

Часть подземных выработок под участком погашена принудительным обрушением, в результате чего на поверхности в районе участка образовались крупные (20 – 40 м в диаметре) провалы поверхности в 1958 и 1973 годах. С учетом падения и простираения дайки Второ-Павловская основная часть подземных горных выработок от глубоких горизонтов находится за пределами участка, но особенности развития обрушения приводят к тому, что большинство обрушений привязано к выходу дайки на поверхность, т.е. к центру участка.

#### **Горные работы по дайке Ильинская**

Дайка Ильинская простирается в субмеридиональном направлении (рисунок 1). Она имеет наклонное западное падение под углом 40°. Дайка отрабатывалась с 1745 по 1918 годы до глубины 54 метра. Технологии добычных работ в это время были ручного характера, поэтому размеры горных выработок измеряются первыми метрами в сечении.

До 1948 года по дайке под участком велись горные работы на глубине до 75 метров. Количество выработанных пространств в этом интервале менее 30 % от объема рудного тела, что создает условия неполной подработки. В таких условиях процесс сдвижения развивается медленно и в течение многих десятилетий.

#### **Вертикальные горные выработки**

На участке находятся четыре старых шахтных ствола (рисунок 1). Глубина выработок может быть 20-70 м. Выработки расположены в углах участка – северном, восточном и западном. Эти выработки засыпались при ликвидации, но на практике именно в этих местах провалы происходят наиболее часто. Диаметр провалов, как правило, не превышает 5 м.

### Горизонтальные горные выработки

Под участком находятся горизонтальные горные выработки – штреки и вассерштольни. Две вассерштольни на глубине 37 м от поверхности расположены в северо-восточной части участка. Деформации поверхности в случае разрушения крепи и обвала горной породы проявляются в виде протяженной траншеи или серии воронок вдоль линии выработки диаметром до 3 м. Штреки – выработки, пройденные по дайкам Ильинская и Второ-Павловская на глубинах: 20 м, 32 м, 54 м, 60 м, 75 м, 97 м, 110 м, 131 м, 170 м, 240 м, 274 м и 314 м. Итого по 12 горизонтам залегают горизонтальные выработки.

### Обследование поверхности

Поверхность участка обследована посредством обхода по сетке и исследования топографических планов поверхности. Регистрировали изменения рельефа под влиянием горных разработок. Поверхность не застроена. Покрыта высокой травой и кустарником. Рельеф участка неровный, покрыт провалами от старых горных работ диаметром от 1 до 40 м. В районах стволов провалы глубиной более 1 м. По данным топографического плана 1:500 на границе северо-восточного угла за границей участка был крупная воронка от обрушения в диаметре 40 м, которая в настоящее время засыпана.

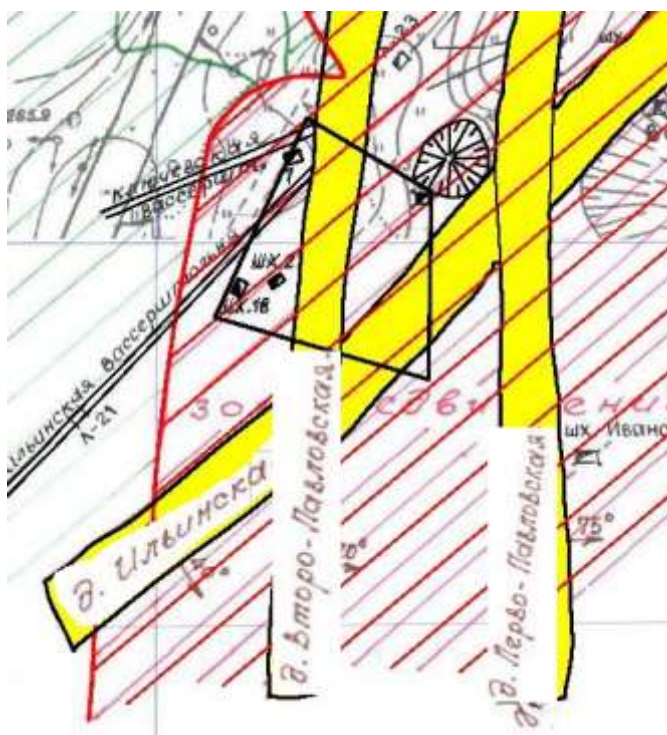


Рисунок 1 – Границы влияния подземных горных работ на земельном участке в городе Березовский

### Чек-лист участка

На основании анализа исторической информации составлен чек-лист подработанной территории (таблица 1), который обобщает 20 различных факторов в бинарном формате. Очевидно, что участок находится в сложной геомеханической ситуации, которая несет в себе высокие долгосрочные риски связанные периодическими локальными проседаниями поверхности.

**Таблица 1 – Чек-лист подработанной территории. Примечание – цветовая кодировка означает: красный цвет – опасный фактор, зеленый – фактор снижающий риск повреждения зданий**

| №  | Название параметра                              | Наличие/да | Отсутствие/нет | Примечание                      |
|----|---|------------|----------------|---------------------------------|
| 1  | Горные работы планируются                       |            | +              |                                 |
| 2  | Горные работы активные                          |            | +              | Завершены до 1973 года          |
| 3  | Запасы полезного ископаемого                    |            | +              |                                 |
| 4  | Крепкие вмещающие горные породы                 |            | +              |                                 |
| 5  | Шахта затоплена                                 |            | +              |                                 |
| 6  | Многократная подработка                         | +          |                |                                 |
| 7  | Разные системы разработки                       | +          |                |                                 |
| 8  | Очистные выработки                              | +          |                |                                 |
| 9  | Пустоты более 20 м <sup>3</sup>                 | +          |                | Вероятно на глубине более 150 м |
| 10 | Вертикальные выработки с выходом на поверхность | +          |                |                                 |
| 11 | Горизонтальные выработки                        | +          |                | Не менее 1 000 м <sup>3</sup>   |
| 12 | Выход рудных тел на поверхность/под наносы      | +          |                |                                 |
| 13 | Современные деформации поверхности              |            | +              |                                 |
| 14 | Мульда сдвижения                                | +          |                |                                 |
| 15 | Зона сдвижения                                  | +          |                |                                 |
| 16 | Зона трещин                                     | +          |                |                                 |
| 17 | Зона обрушения                                  | +          |                |                                 |
| 18 | Макродеформации поверхности участка             | +          |                |                                 |
| 19 | Макродеформации поверхности смежных участков    | +          |                |                                 |
| 20 | Динамический режим подземных вод                |            | +              |                                 |
|    | Итого   | 13         | 7              |                                 |

По данным горно-геологических разрезов по выработкам шахты объемы старых горных работ велики и их деформационное влияние на поверхность было интенсивным. С учетом высокой интенсивности подработки участка и наличием на поверхности старых воронок обрушения в текущее время теоретически невозможно однозначно заключить, что деформации поверхности отсутствуют. По этим же причинам очевидно, что использование участка всегда будет связано с риском деформаций поверхности, поэтому следует ограничить виды эксплуатации. Например, нельзя строить любые жилые и общественные здания.

Для снижения риска крупных макродеформаций поверхности необходимо выполнить инструментальный поиск пустот. Наличие опасных пустот можно определить по структуре подработанного горного массива и стадии развития процесса сдвижения, которые устанавливаются по результатам инженерно-геофизических исследований [5 - 7]. После исключения инструментальными методами приповерхностных пустот, можно разместить склады, производственные здания, административно-бытовые помещения и другие здания или сооружения, которые не относятся к опасным производственным объектам.

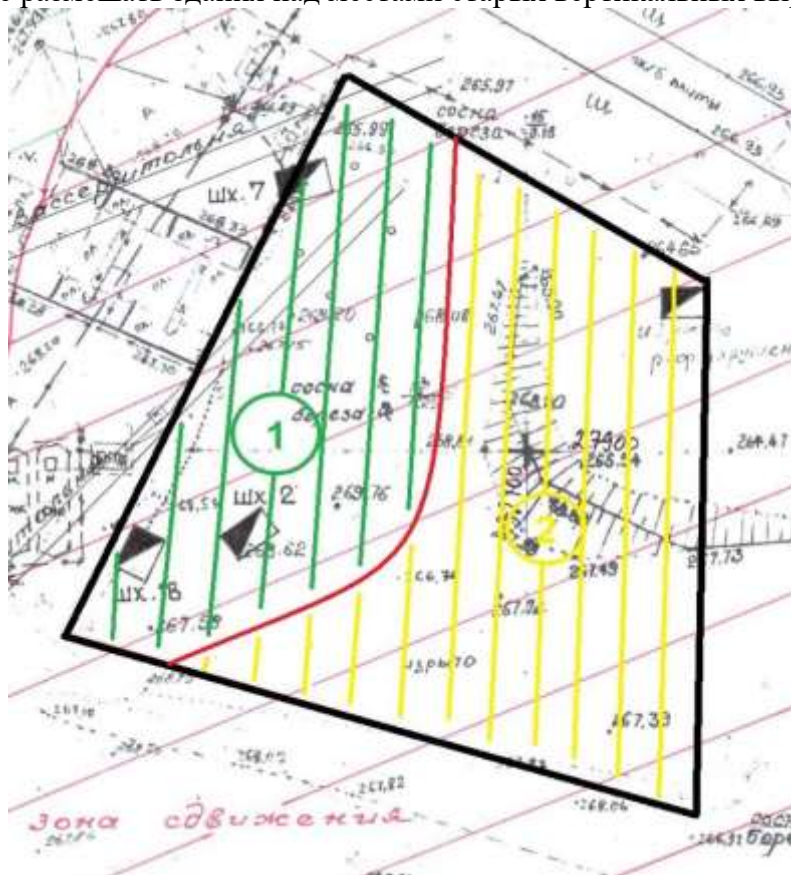
#### **Прогноз развития процесса сдвижения**

Медленные дезинтеграционные процессы от старых горных выработок способны периодически накапливаться и вызывать в обозначенных участках локальные проседания поверхности диаметром 1 – 7 м и глубиной 1 – 2 м. Периодичность просадок для данного участка в незастроенном виде составит - одно событие в 30 лет. Они развиваются чаще всего в весенний и осенний периоды, когда количество атмосферных осадков увеличивается. Эти



параметры установлены из анализа базы провалов на Березовском месторождении, которая охватывает более 1100 случаев за 57 лет наблюдений [11]. За это время небольшие проседания под зданиями в городе Березовский проявлялись неоднократно и не вызывали аварийных разрушений конструкций при своевременном принятии восстановительных мер. Обрушение грунта над обособленными небольшими подземными полостями не приводит к моментальному разрушению зданий. Вредное влияние от таких процессов проявляется в виде повреждений отделочных материалов, трещин в стенах [14, 16, 20]. Требуется периодический ремонт и оперативное устранение просадок грунта.

По горно-геологическим условиям, по частоте просадок и их максимальным размерам участок разделен на две части (рисунок 2). В восточной части просадки могут достигать 7 м в диаметре. В западной части размер просадок поверхности может достигать 3 м диаметре. Не размещать здания над местами старых вертикальных выработок.



**Рисунок 2 – Районирование участка по частоте просадок и их максимальным размерам:**

- 1 Максимальный размер просадки 3 м, частота образования 1 событие в 30 лет;
- 2 Максимальный размер просадки 7 м, частота образования 1 событие в 20 лет

### **Выводы**

Строительство любых зданий влияет на устойчивость поверхности подработанного участка. Прежде всего за счет физического нагружения грунтов и за счет изменения режима увлажнения грунтов. Поэтому в первое время эксплуатации построенных зданий возможна активизация деформаций поверхности. Этот период может продолжаться до 3 – 5 лет. Далее деформационные проявления перейдут в режим 1 событие в 20 лет.

На всей площади участка строительство и эксплуатация складов, производственных и торговых зданий, офисных и административно-бытовых помещений (статья 2, 4 ФЗ № 384) связано с риском образования просадок грунта. Для снижения рисков повреждения зданий необходимо приметить конструктивные меры и/или укрепить грунты, соблюдать требования к обеспечению безопасности зданий и сооружений в процессе эксплуатации [Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", Статья 36].

Изменение геомеханических условий участка в следствие изменения гидрогеологического режима подземных вод или геодинамических событий может резко ухудшить устойчивость поверхности участка [17, 18, 19]. Поэтому выводы, сделанные в работе, обладают некоторыми ограничениями и срок действительности прогноза ограничен продолжительностью 10 лет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Uyanga Gankhuyag Managing mining for sustainable development: A sourcebook. Bangkok: United Nations Development Programme / Uyanga Gankhuyag and Fabrice Gregoire. – UNDP and UN Environment. – 2018. – 116 p.
2. Challenges and strategies of abandoned mine rehabilitation in South Africa: The case of asbestos mine rehabilitation / H. Cornelissen, I. Watson, E. Adam, T. Malefetse. – DOI: 10.1016/j.gexplo.2019.106354 // Journal of Geochemical Exploration Publisher: Elsevier. – 2019. – Vol. 205. – 106354.
3. Post-Mining Regions in Central Europe. Problems, Potentials, Possibilities / Editors : Peter Wirth, Barbara Černič Mali, Wolfgang Fischer. – München : oekom. – 2012. – 274 p.
4. Усанов С. В. Современные технологии мониторинга процесса сдвижения / С. В. Усанов, Ю. П. Коновалова, О. Д. Желтышева // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 36-38.
5. Мельник В. В. Исследование и создание геолого-структурной и геомеханической модели участка недропользования / В. В. Мельник, А. Л. Замятин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 4. – С. 226-230.
6. Методы геоэлектрической диагностики гидрогеологических и геомеханических явлений и свойств горных массивов\* / А. А. Кашкаров, А. Д. Сашурин, С. В. Усанов, В. В. Мельник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 9. – С. 70-73. – EDN MURLLX.
7. Усанов С. В. Геоэлектрическое моделирование геомеханических процессов на подрабатываемых территориях / С. В. Усанов, А. А. Кашкаров // Маркшейдерский вестник. – 2001. – № 1-2. – С. 62-67.
8. Мониторинг сдвижения земной поверхности при разработке Соколовско-С арбайского месторождения методом радарной интерферометрии Усанова А.В., Усанов С.В. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 4. С. 28-33.
9. Усанов С. В. Подработанные подземными работами территории в г. Березовский и оценка возможности их использования / С. В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 10. – С. 349-352.
10. Усанов С. В. Исследование обрушений грунта над неглубокой заброшенной шахтой для определения геотехнических условий индивидуального строительства / С. В. Усанов, А. В. Усанова. – DOI 10.18799/24131830/2021/8/3315 // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 8. – С. 168-176.
11. Усанова А. В. Геомеханическая информационная модель влияния ликвидированного подземного рудника в городе Верхняя Пышма / А. В. Усанова, С. В. Усанов // Маркшейдерия и недропользование. – 2014. – № 5. – С. 38-40.
12. Зуев П. И. Районирование подработанных территорий в ГИС на примере г. Березовский / П. И. Зуев. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-376-384 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S37: Цифровые технологии в горном деле. – С. 376-384.
13. Усанов С. В. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработками / С.В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 11. – С. 260-266.
14. Усанов С. В. Обоснование мер безопасности при застройке территорий над старыми горными выработками по результатам комплексных исследований / С. В. Усанов, А. В. Усанова. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-246-254 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 3-1. – С. 246-254.
15. Усанов, С. В. Анализ исторических данных по старым шахтам золоторудных даек Анненская и Аникинская для прогноза безопасности земной поверхности / С. В. Усанов // Проблемы недропользования. – 2023. – № 1(36). – С. 70-77. – DOI 10.25635/2313-1586.2023.01.070. – EDN RSDZFM.
16. Факторы деформаций здания, построенного в районе старых неглубоких подземных разработок / С. В. Усанов, Т. Ф. Харисов, Д. В. Григорьев, В. А. Прошин // Проблемы недропользования. – 2021. – № 4(31). – С. 44-54. – DOI 10.25635/2313-1586.2021.04.044. – EDN WCLRFK.

17. Внезапные деформационные процессы в горном массиве при недропользовании: факторы проявления и возможности предупреждения / С. В. Усанов, Ю. П. Коновалова, Е. Ю. Ефремов [и др.] // Горная промышленность. – 2022. – № S1. – С. 111-118. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-111-118. – EDN BUQXEE.
18. Усанов, С. В. Геодинамические движения горного массива при техногенном воздействии крупного горно-обогатительного комбината / С. В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S11. – С. 248-255. – EDN RCJVMX.
19. Усанов, С. В. Деформационные процессы при строительстве тоннелей метрополитена в Екатеринбурге / С. В. Усанов, Ю. П. Коновалова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 6. – С. 142-144. – EDN RBDJMR.
20. Усанов, С. В. Исследование причин повреждений жилых малоэтажных зданий в зоне влияния подземных горных работ / С. В. Усанов, Ю. П. Коновалова, А. В. Усанова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 2. – С. 334-346. – EDN ZXGSEF.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВЫРАБОТКАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ВЫЕМОЧНОМУ СТОЛБУ

ДЕМИН В. Ф.<sup>1</sup>, ЗАХАРОВ А. М.<sup>1</sup>, ЖУМАБЕКОВ М. Н.<sup>1</sup>, ДЕМИНА Т. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НАО «Карагандинский технический университет им. А. С. Сагинова», Караганда

<sup>2</sup> Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** Рост глубины горных работ и уход от первоначальной отработки запасов, залегающих в более благоприятных условиях эксплуатации влечет за собой развитие ежегодное осложняющих факторов ведения горных работ. Факторами, сдерживающие достижение показателей по добыче угля: простой очистных забоев по причине изношенности горношахтного оборудования и его несоответствия горнотехническим условиям. Сравнительный анализ аварийности очистного оборудования по шахтам Угольного департамента показывает рост аварийности. Разработанные угольным департаментом технологические меры, направлены на увеличение нагрузки и снижение себестоимости угля. Одним из рациональных путей улучшения состояния выработок и экономии материальных ресурсов является применение анкерной крепи. Широкое применение анкерного крепления ограничивается недостаточной изученностью геомеханических процессов вблизи выработок. Применение сталеполимерных и канатных анкеров целесообразно в сложных горно-геологических и горно-технических условиях разработки.

**Ключевые слова:** горная выработка, почва выработки, горное давление, пучение пород, деформация, подземные горные работы, анкерная крепь, факторы, эффективность, исследования, горно-геологические и горнотехнические условия разработки, технологические схемы, проведение горных выработок, виды крепления.

## INVESTIGATION OF DEFORMATION PROCESSES IN OPERATIONAL WORKINGS ADJACENT TO THE EXCAVATION POST

DEMINS V. F.<sup>1</sup>, ZAHAROV A. M.<sup>1</sup>, ZHUMABEKOV M. N.<sup>1</sup>, DEMINA T. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NAO «A. S. Saginov Karaganda Technical University», Karaganda

<sup>2</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** Growth of a depth of mining and leaving from initial working off of the stocks which are lying down in more favorable service conditions involves development annual complicating factors of conducting mountain works. The factors, restraining achievement of parameters on coal mining: idle times of breakage faces because of a deterioration it is mountain the mine the equipment and its misfit to mining conditions. The comparative analysis of accident rate of the clearing equipment on pits of Coal department shows accident rate growth. The technological measures developed by coal department, are directed on increase in loading and decrease in the cost price of coal. One of rational ways of martempering of a condition of developments and economy of material resources is roof bolting application. Wide application anchoring fastenings is restricted to an insufficient level of scrutiny of geomechanical processes near to developments. Application steel the polymeric and the rope anchors expediently in difficult mountain-geological also is mountain-specifications workings out.

**Keywords:** mining, excavation soil, rock pressure, rock heaving, deformation, underground mining, rock bolting, factors, efficiency, research, mining-geological and mining-technical development conditions, technological schemes, mining, types of fastening.

В настоящее время на больших глубинах разработки угольных пластов в Карагандинском бассейне кратность перекрепления выемочных выработок достигает величины 2, 3 и даже 4. С увеличением глубины ведения горных выработок работ, возрастают затраты на проведение и поддержание выработок, величина горного давления, при незначительном росте прочности пород.

В целом, расходы на поддержание горных выработок растут с ростом глубины и составляют от общих расходов на малых глубинах 4-5%, а на больших - до 15%.

Проблема охраны и поддержания выемочных выработок на большой глубине в Карагандинском бассейне является достаточно актуальной в общей структуре процессов при существующей технологии добычи угля. Основная цель системы крепления – мобилизация и сохранение свойственной данному массиву прочности с тем, чтобы он становился самоподдерживающим.

Углубление горных работ ухудшило состояние пластовых выемочных выработок, 15–25% которых ежегодно ремонтируется. Причем трудоемкость поддержания выработок резко растет с глубиной разработки (с 500 до 800 м – с 550 до 2000 чел./смен на 1 км).

Опорное давление от очистных работ распространяется на значительных расстояниях впереди забоя (10–50 м) и на краевых областях (до 15-20 м), где располагаются выемочные выработки. Постоянно влиянию очистных работ подвергаются 25-45 % общей протяженности подготовительных выработок.

Преимущественно применяемая на шахтах Карагандинского бассейна арочная трехзвенная крепь с несущей способностью в податливом режиме 140-220 кН и в жестком - 260-350 кН и податливости 0,3 м не всегда является достаточной для сохранения выработок в пригодном для эксплуатации состоянии, что требует дополнительно применения жестких и податливых стоек, загромождающих выработки и увеличивающих стоимость их поддержания, рамно-анкерной крепи в условиях значительных расслоений, смещений пород и динамических проявлений опорного давления, для снижения нагрузки по совместной их работе с приконтурным массивом.

В отличие от рамной крепи анкерная крепь может возводиться предварительно напряженной, поэтому сразу после возведения крепи повышается сцепление по плоскостям напластования пород или их трещинам. Анкерная система крепит породу, сохраняя ограничение движения кровли и позволяя горизонтальному напряжению удерживать кровлю на месте, не давая ей выпадать.

При использовании сталеполимерных анкеров с закреплением по всей длине шпура увеличивается агрегатная прочность массива (приближенная к прочности нетронутого массива), и создается несущая балка. Анкер с полимерным составом оказывает высокое сопротивление сдвиганиям пород в самой начальной стадии, т.е. в тот момент, когда на деформирование приконтурного массива ещё можно повлиять. Рамная же крепь устанавливается без тампонажа закрепного пространства.

Существенным горнотехническим фактором, улучшающим состояние выработки, является несущая способность крепи. Как правило, на шахтах бассейна применяемая арочная металлическая крепь из спецпрофиля устанавливается через 1,0–0,5 м (редко через 0,25 м), что обеспечивает отпор от 20 до 50–70 кН/м<sup>2</sup>. Как показывает практика, такой реакции крепи совершенно недостаточно для эффективного поддержания выработок с ростом глубины разработки. Поэтому на шахтах применяется дополнительное усиление крепления выемочных выработок в зоне влияния очистных работ из крепи УКР под продольные профили, гидростоек или стоек трения, что увеличивает стоимость и трудоемкость поддержания.

Применение же сталеполимерных анкеров обеспечивает устойчивость выработки за счет упрочнения в пределах свода слоистых пород кровли и механической связи контура выработки с частью приконтурного слоя вмещающего массива. Постоянно влиянию очистных работ подвергаются 25-45 % общей протяженности подготовительных выработок. На шахтах Карагандинского бассейна кратность перекрепления выемочных выработок достигает величины 2, 3 и даже 4, при этом 15 – 25 % их ежегодно ремонтируется (рис. 1 и 2).



**Рис. 1 - Условия поддержания выемочных выработок в зоне влияния очистных работ**

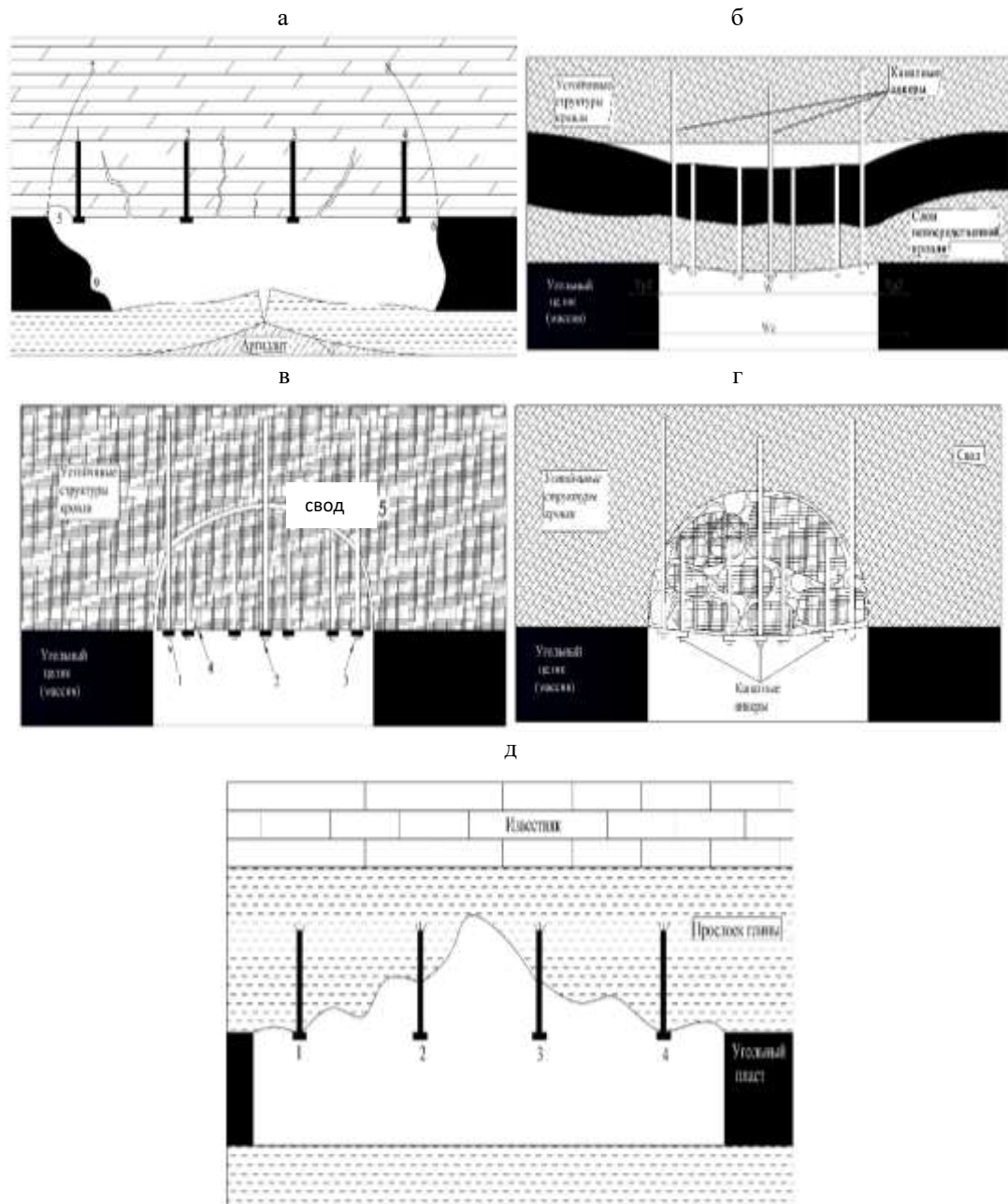


**Рис. 2 - Анкерное крепление горных выработок**

В зависимости от структурного строения пород кровли формы и сечения выработки различают пять основных условий применения анкерной крепи (рис. 3 и 4) [1, 2, 3]:

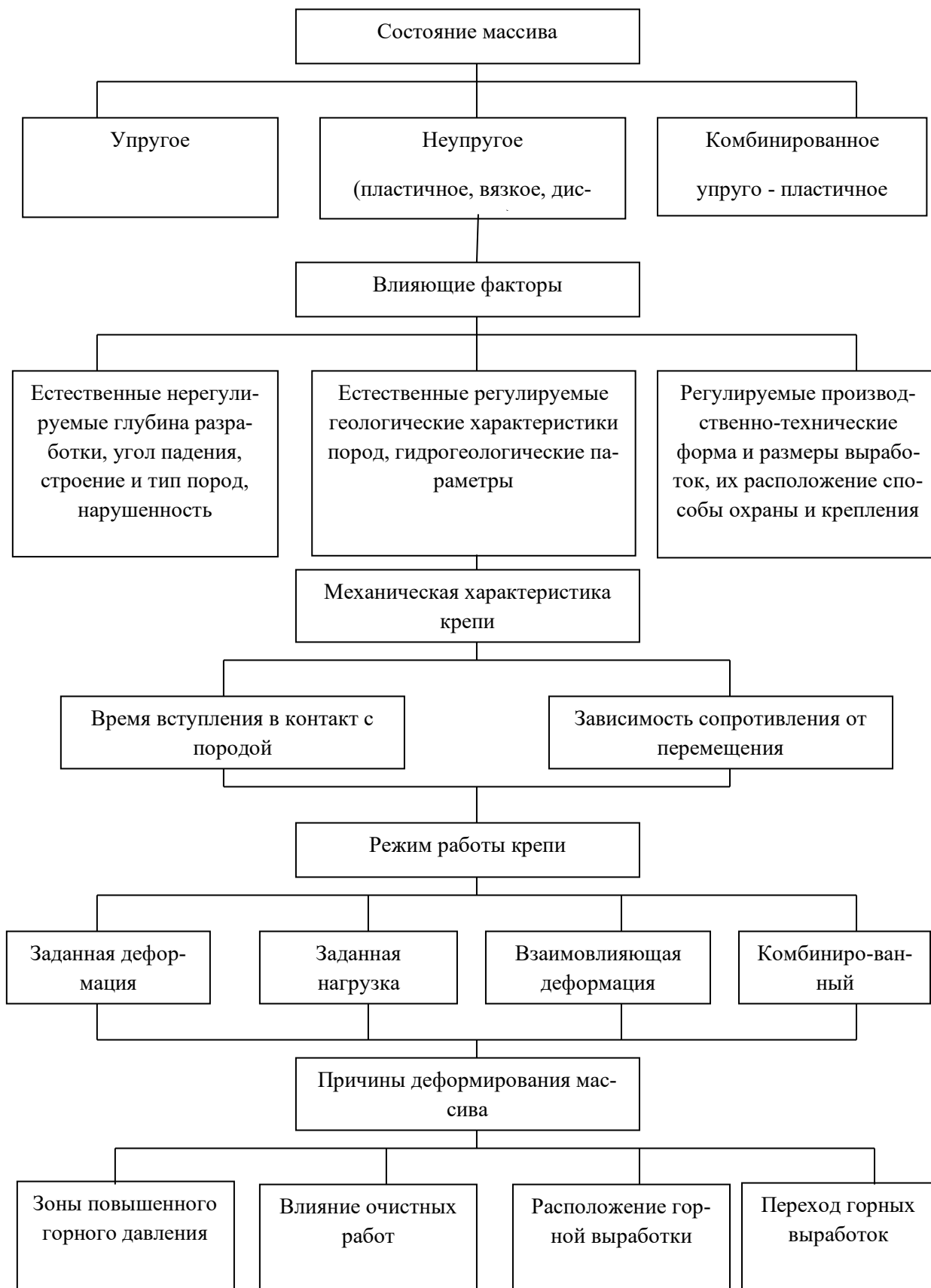
- слабоустойчивые слоистые породы непосредственной или ложной кровли подвешиваются анкерами к основной кровле;
- породные слои, скрепляясь анкерами, образуют составную балку, предохраняющую кровлю от обрушения (случай «сшивки»);
- около каждого анкера куски трещиноватой породы прижимаются анкерами к другу другу, образуя прочный блок;
- в трещиноватой однородной горной породе большой мощности анкерная крепь предохраняет выработку от вывала отдельных кусков при раскрытии природных

- трещин под воздействием горного давления;
- при проведении по сильно трещиноватому слоистому массиву с контуром, близко совпадающим со сводом естественного равновесия, анкерная крепь предохраняет выработку от коржения и высыпания горных пород.



**Рисунок 3– Схемы взаимодействия анкерной крепи с вмещающими породами**

- а) – при многослойной породной массе; б) – при малослойных породах кровли; в) – при прочных породах; г) – при малоустойчивых породах; д) – при неустойчивой нижней породной пачке



**Рисунок 4 – Комплекс основных элементов взаимодействия крепи подземных выработок с горным массивом**

Все виды деформаций определяются изменением естественного напряженного состояния пород при проведении выработок. Они могут проявляться в результате влияний



природных и технологических факторов в определенных местах (см. рис. 4).

С углублением горных работ особенно резко возрастают деформации вмещающих пород и нагрузки на крепи подготовительных выработок, расположенных в зоне влияния очистных выработок. С переходом на нижние горизонты существенно возрастают размеры зон влияния опорного давления, причем наиболее интенсивно начиная с глубины 500 м.

Существующая тенденция применения бесцеликовой технологии отработки пластов требует изыскания надежных средств охраны подготовительных выработок, в первую очередь примыкающих к очистному пространству.

С увеличением глубины разработки до 800 м величина смещения пород резко возрастает, а затем наблюдается выполаживание кривых, так как сдвигание пород над выработкой за срок ее службы распространяется на глубину, не превышающую 900 м.

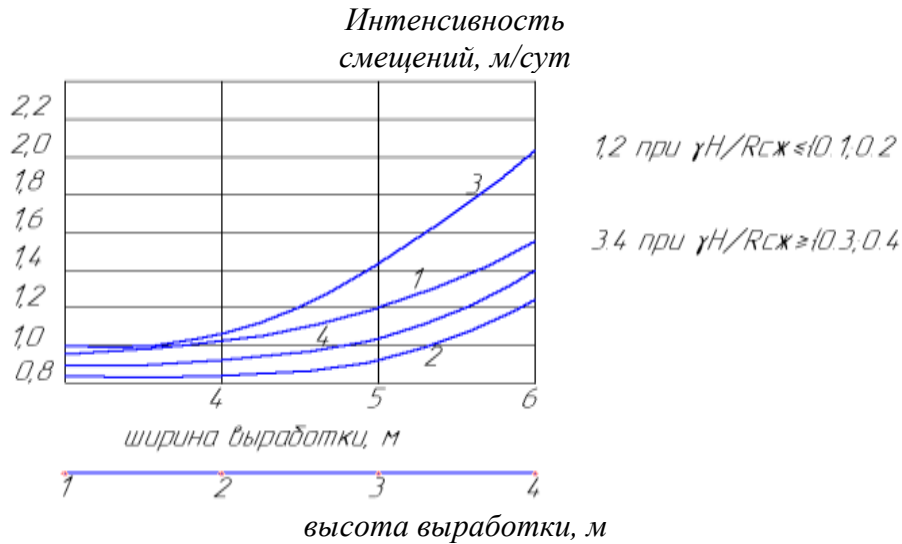
Смещения возрастают с увеличением размеров поперечного сечения выработок. При этом существенное влияние принадлежит ширине поперечного сечения. Характерные кривые распределения смещений пород вокруг капитальных горных выработок приведены на рис. 5. Смещения убывают с удалением от контура в глубь массива, что свидетельствует о формировании зоны растяжения, величина которой достигает до 9 м.

Анкерная крепь, работая на растяжение, удерживают анкеруемые породы от расслоения, сдвигания и разрушения. В породах со слоистой структурой слои неустойчиво непосредственной кровли либо прикрепляются (подшиваются) анкерами к устойчивой основной кровли, либо отдельные слои пород анкерами скрепляются в одну монолитную плиту, которая способна воспринимать нагрузку от вышележащих горных пород. В породах с неслоистой структурой анкера, закрепленные за пределами свода естественного обрушения, противостоят растягивающим усилиям в породах свода.

В связи с вышеизложенным, необходимо обоснование методов управления состоянием массива сооружением рациональных крепежных конструкций; установление закономерностей перераспределения горного давления и параметров сдвигания горных пород, характер сдвигания заанкерированных пород при их разнообразном структурном строении и горнотехнологических факторах; определение закономерностей проявления горного давления на крепь вне зоны и в зоне влияния очистных работ, смещений пород кровли, почвы, боков выработок; моделирования и установления параметров анкерного крепления горных выработок посредством эффективного упрочнения ослабленных зон.

Для определения функциональных возможностей различных видов крепи проведены сравнительные исследования для установления характера проявления горного давления при анкерной, комбинированной и рамной крепях горных выработок и выявления работоспособности анкерной крепи.

В задачи исследований входило натурными наблюдениями: установить характер сдвигания горных пород при различном структурном их строении для наиболее типичных кровель выработок; определить особенности проявления горного давления на крепь, когда выработки расположены в зоне и вне зоны влияния очистному забою.



**Рис. 5 - Зависимость интенсивности смещений от глубины расположения и площади сечения выработки**

1,3 - смещение почвы и кровли выработки;  
2,4 - смещения боков выработки.

Замеры производились в конвейерном штреке 42к<sub>10-3</sub> шахты им. Кузембаева Карагандинского угольного бассейна, закрепленном различными видами крепи. Деформация контуров подготовительной выработки в зависимости от расстояния от очистного забоя ( $v$  – скорость, м/сут;  $U$  – абсолютные значения смещений, м) представлены на рис. 6. Установлены опускания кровли  $\Delta h_k$ , сближения боков  $\Delta l_y$  на участке угольного пласта и  $\Delta l_n$  на участке подрывки и расслоения 1,5 - метрового слоя кровли  $\Delta h_p$ .

Исследования проводились в течение 200 суток с момента установки крепи в нетронутым массиве с целью определения закономерностей сдвижения вмещающих пород в выработках трапецевидной и арочной формы, закреплённых рамной и комбинированной (анкерно-рамной) и анкерной крепью. Наиболее интенсивно кровля опускается в непосредственной близости от проходческого забоя. За первые сутки величина опускания кровли на участке с анкерной крепью составила 20 % опускания в течение всего периода наблюдений 200сут, с арочно - рамной 30% и с рамно - анкерной – 5 %, а за первые 10 сут. – соответственно 35, 45 и 25 %. В начальный период в движение пришла значительная толща пород: за 10 сут. репера на глубине 1,5м опустилась на участке с арочной крепью на 10мм или 80 % всего опускания этого репера в массиве, с анкерной–35мм (50%) и с анкерно-рамной–14мм (20 %).

Период наблюдений за устойчивостью выработки составил 20 месяцев. Смещения пород кровли в 20 м перед лавой, в створе с лавой и 100 м позади неё соответственно составили: рамной крепью – 0,31, 0,49, 1,11 м; анкерно-рамной крепью – 0,07, 0,09, 0,21 м (или меньше в 3–4 раза).

Сближение кровли и почвы выработках составило 750 – 800 мм, из них 65 % смещений приходилось на пучение пород почвы. Конвейерные выработки были пройдены узким забоем и поддерживались позади лавы для повторного использования. Размер зоны опережающего опорного давления лавы составлял 120–130 м и в выработке наблюдалось интенсивное пучение почвы, деформация крепи. В 20–30 м впереди забоя лавы производилась подрывка пород почвы на глубину 0,8–1,0 м, сближение кровли и почвы в выработке на линии очистного забоя составило 0,126 м.

Позади лавы интенсивность смещений оставалась довольно высокой, и в 100–150 м производилось перекрепление и вторичная подрывка почвы выработки.

Для оценки нагрузочных характеристик анкерного крепления горных выработок в

условиях шахты им. Кузембаева УД АО «АрселорМиттал Темиртау» при подготовке лавы 11к7-3, на протяжении 288 м исследован конвейерный штрек, закрепленный анкерной крепью. Крепление выработки производилось путем установки анкеров диаметром 22 мм, длиной 1,8 м по 5 штук в ряд, с расстоянием между рядами 0,7 м.

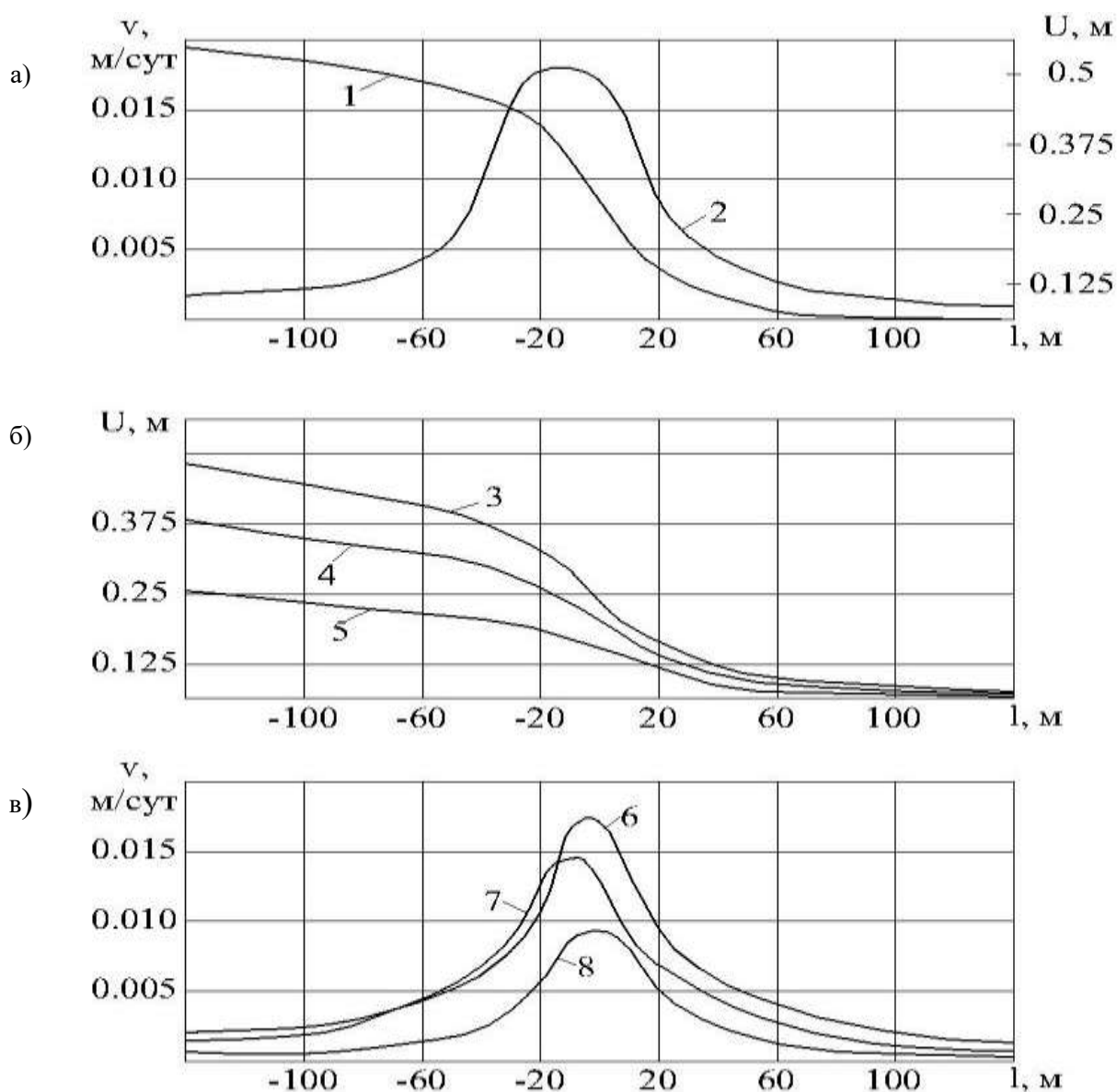


Рис. 6–Деформация контуров подготовительной выработки в зависимости от расстояния до очистного забоя

а) 1 и 2 – сближение ( $U$ ) и интенсивность деформации ( $V$ ) пород кровли и почвы; б) 3, 4 и 5 – опускание кровли, сближение боков и пучение почвы; в) 6, 7 и 8 – скорость деформации кровли, боков и почвы.

Крепление боков выработки производилось металлическими анкерами по 4 анкера на один метр. С целью снижения затрат времени в зоне ведения очистных работ, производилась установка трех рядов металлического спецпрофиля СВП-22 для усиления кровли выработки гидравлическими стойками. На сопряжении лавы со штреком устанавливались анкера под углом  $45-60^\circ$  в сторону линии очистного забоя. Паспорт крепления выработки при проходке и поддержании ее за подвиганием очистного забоя приведен на рисунке 8.

Максимальные вертикальные смещения пород кровли впереди линии очистного забоя в 10–20 м от лавы составляли 0,025–0,03 м с последующим затуханием на расстоянии 30-35 м. Смещение пород кровли в поддерживаемой части достигали величины 0,52–0,55 м.

Величина вертикальных смещений на сопряжении конвейерного штрека с лавой составляло 0,025–0,045 м.

Произведенные расчеты показывают, что с ростом глубины разработки (до 750-800 м), увеличения сечения горных выработок (до 18-20 м<sup>2</sup>), при сроке поддержания 3-5 лет, растут смещения пород кровли (0,3-0,5 м и более), почвы (0,4-0,6 м и более) на их контуре при нагрузке на крепь (до 800-900 кН), что требует повышенной плотности рамной крепи (2,6-2,7 рам/пог. м) и обуславливает повышенные затраты на проведение горных выработок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. – 345с.
2. Грицко Г. И. Определение напряженно-деформированного состояния массива вокруг протяженных пластовых выработок экспериментально-аналитическим методом // № 6, ФТПРПИ. - 1995.- С. 45-49.
3. Демин В.Ф., Алиев С.Б., Демина Т.В. и др. Смещения контуров подготовительных выработок при геомеханических процессах. ООО «Редакция журнала «Уголь», № 4, 2013. – С. 69-72.

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ И ОТКОСОВ В УСЛОВИЯХ АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА

САТАНОВ Ж. Р., МУСИН А. А., ДАЛИБАЕВ А. Ж.

Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, Караганда

**Аннотация.** В статье рассматриваются методы оценки устойчивости откосов и уступов в условиях анизотропного массива. В статье изучают структурную устойчивость откосов и предлагают метод предельного равновесия для расчета устойчивости бортов карьера. Также они анализируют устойчивость поверхностей скольжения, используя методы предельного равновесия с вертикальным или горизонтальным срезом. Кроме того, в статье рассматривают стереографические проекции для изучения геолого-структурных условий на участках западного и дальнезападного массива.

**Ключевые слова:** анизотропный массив, устойчивость откосов, метод предельного равновесия, поверхности скольжения, стереографические проекции.

## METHODS FOR ASSESSING THE STABILITY OF BERCHES AND SLOPES UNDER CONDITIONS OF ANISOTROPIC MASSIVE

SATANOV ZH. R., MUSIN A. A., DALIBAEV A. ZH.

Abilkas Saginov Karaganda Technical University

**Abstract.** The article discusses methods for assessing the stability of slopes and ledges in conditions of an anisotropic massif. The article studies the structural stability of slopes and proposes a limit equilibrium method for calculating the stability of quarry sides. They also analyze the stability of sliding surfaces using limit equilibrium methods with vertical or horizontal shear. In addition, the authors consider stereographic projections to study the geological and structural conditions in areas of the western and far-western massif.

**Keywords:** anisotropic massif, slope stability, limit equilibrium method, sliding surfaces, stereographic projections.

Анализ структурной устойчивости.

Многолетний опыт изучения структурно-тектонических особенностей карьеров Казахстана позволил выявить несколько типов обрушений, вызываемых сочетанием отдельных плоскостей ослабления и их относительным расположением. В зависимости от деформации массива было необходимо разработать проект, с учетом структурной устойчивости откосов (Таблица 1). Предполагается, что на Жайремском месторождении будут преобладать плоскостные (1, 2) и клиновидные (3, 5, 6, 7) виды обрушений.

Согласно нормам проектирования РК, ширина берм не должна быть меньше 1/3 высоты уступа, следовательно, максимальный угол откоса между транспортными бермами при угле откоса уступов  $80^\circ$  составит  $63^\circ$ . Данный аспект является ограничивающим фактором при проектировании конструктивных элементов бортов карьеров.

Структурные условия

Данные структурных замеров были сведены в единую базу данных, которая использовалась для оценки шероховатости и заполнителя нарушений. Эти два параметра оказывают наибольшее влияние на параметры сцепления и угла внутреннего трения нарушений. Массив данных приведен в Таблица 2 и Таблица 3, а основные литологические разности представлены графически на Рисунок 1 и Рисунок 2. На основании данных сведений можно с достаточной степенью уверенности предположить, что нарушения, в целом, характеризуются как слегка шероховатые с прочным до мягкого заполнителем, мощностью менее 5 мм.

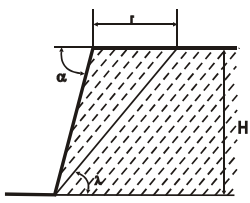
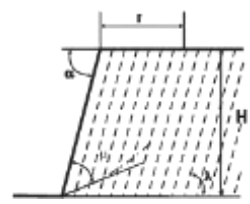
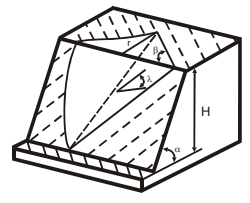
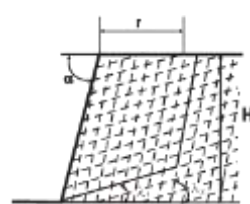
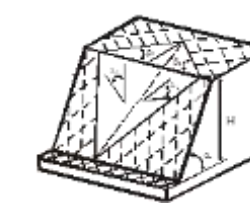
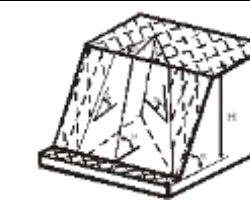
Характеристика нарушений

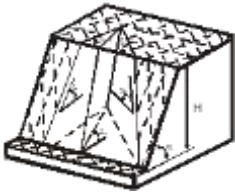
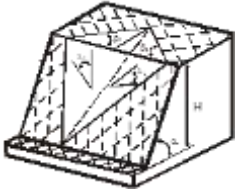
Данные полевой документации позволили составить обобщенное описание нарушений, характеризуя их как слегка шероховатые с умеренно прочным заполнителем, которому, при сравнении с общеотраслевыми стандартами (см. Таблица 4), можно присвоить параметры сцепления и угла внутреннего трения. Такие значения, заимствованные из литературы, необходимы в связи с отсутствием соответствующих государственных стандартов РК по проведению испытаний с целью определения прочностных свойств пород по плоскости распила или естественному нарушению. В рамках анализа были использованы следующие значения:

Сцепление – 0 МПа;

Угол внутреннего трения –  $32^\circ$ .

**Таблица 1: Механизмы структурной неустойчивости**

| № | Тип   | Описание   |
|---|---|--|
| 1 |    | Обрушение блоков по наклонным или прямым плоскостям ослабления; наклонные, согласно залегающие с откосом поверхности ослабления ( $\alpha > 1$ );                        |
| 2 |   | Призмы в породных отвалах по крутопадающим поверхностям ( $\alpha \leq 1$ );   |
| 3 |  | Обрушение блоков по наклонной или прямой поверхности ослабления, расположенной диагонально относительно согласному напластованию ( $\alpha > 1$ );                       |
| 4 |  | Вывал с обрушением призм по крутопадающим и пологим поверхностям, секущим поверхности ослабления. ( $11 < \alpha \leq 12$ );   |
| 5 |  | Обрушение клина по двум парным диагональным поверхностям ослабления, расположенным согласно напластованию ( $\alpha < \gamma 1$ );                                       |
| 6 |  | Обрушение призм в породных отвалах по двум диагональным крутопадающим поверхностям ослабления, расположенным согласно напластованию в откосе ( $\alpha \leq \gamma 1$ ); |

|   |   |   |
|---|---|---|
| 7 |  | Обрушение призм и пирамид в породных отвалах по двум диагональным крутопадающим поверхностям и третьей поверхности ослабления, расположенной согласно напластованию откоса ( $\alpha \leq 1$ );   |
| 8 |  | Обрушение призм и пирамид в породных отвалах по двум системам нарушений: одной – диагональной крутопадающей и второй – продольной (на основе схемы 7 с заменой одного диагонального нарушения на поверхность сдвига с углом $90^\circ$ и углом поворота относительно откоса $(90^\circ - b/2$ , и в $b_1=00$ по схеме 4). |

, где:  $\alpha$  - угол откоса уступа;

$\lambda_i$  – угол падения нарушения (поверхности ослабления);

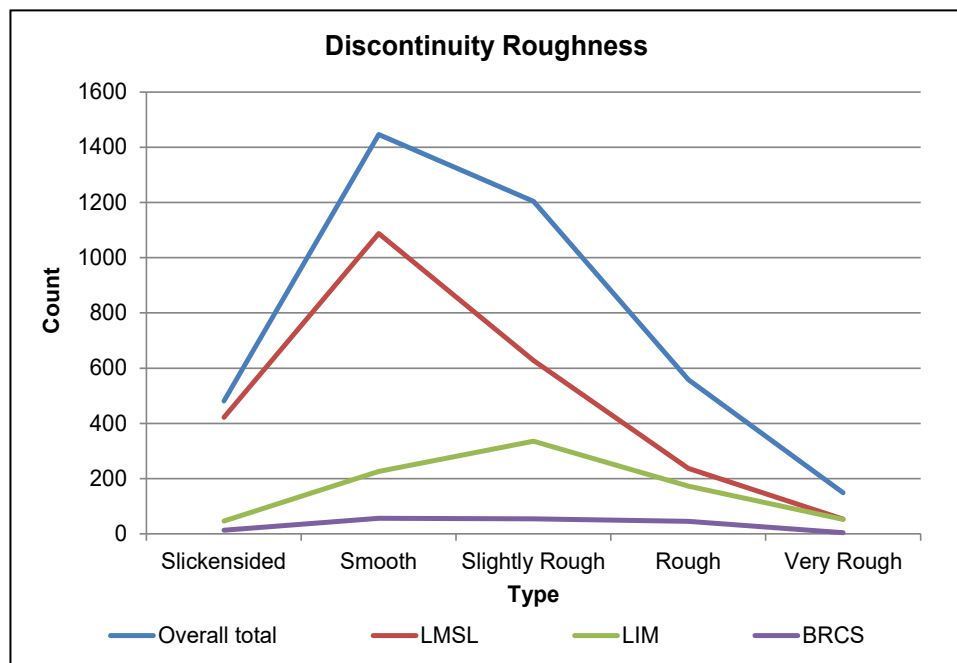
$\psi_1$  – угол пересечения двух линий нарушений.

**Таблица 2: Параметры шероховатости нарушений по Беньявскому (1989 г.)**

| Литотип | Шероховатость            |        |                    |             |                    | Итого |
|---------|--------------------------|--------|--------------------|-------------|--------------------|-------|
|         | С плоскостями скольжения | Ровная | Слегка шероховатая | Шероховатая | Весьма шероховатая |       |
| BRCS    | 13                       | 56     | 54                 | 45          | 4                  | 172   |
| CHSL    |                          | 20     | 52                 | 17          | 17                 | 106   |
| COSL    |                          | 19     | 65                 | 20          |                    | 104   |
| GRPO    |                          | 5      | 4                  | 7           |                    | 16    |
| LCHSL   |                          | 7      | 12                 | 14          |                    | 33    |
| LIM     | 46                       | 226    | 336                | 173         | 52                 | 833   |
| LMSL    | 422                      | 1088   | 628                | 237         | 53                 | 2428  |
| SILT    |                          | 10     | 9                  | 5           |                    | 24    |
| TUFF    |                          | 8      | 20                 | 39          | 23                 | 90    |
| WTCLDB  |                          | 7      | 24                 | 1           |                    | 32    |
| Всего   | 481                      | 1446   | 1204               | 558         | 149                | 3838  |

**Таблица 3: Описание заполнителя по Беньявскому (1989 г.)**

| Литотип | Заполнитель        |  |                     |             | Итого |
|---------|--------------------|--|---------------------|-------------|-------|
|         | Мягкий, более 5 мм | Прочный, более 5 мм / Мягкий, менее 5 мм | Прочный, менее 5 мм | Отсутствует |       |
| BRCS    | 1                  | 74                                       |                     | 97          | 172   |
| CHSL    | 4                  | 60                                       |                     | 42          | 106   |
| COSL    | 13                 | 43                                       | 1                   | 47          | 104   |
| GRPO    |                    |  |                     | 16          | 16    |
| LCHSL   | 5                  | 27                                       |                     | 1           | 33    |
| LIM     | 22                 | 663                                      | 4                   | 144         | 833   |
| LMSL    | 55                 | 1421                                     | 1                   | 951         | 2428  |
| SILT    | 3                  | 12                                       |                     | 9           | 24    |
| TUFF    | 3                  | 34                                       | 7                   | 46          | 90    |
| WTCLDB  |                    | 25                                       |                     | 7           | 32    |
| Всего   | 106                | 2359                                     | 13                  | 1360        | 3838  |



**Рисунок 1: Графики замеров шероховатости нарушений по Беньявскому (1989 г.)**

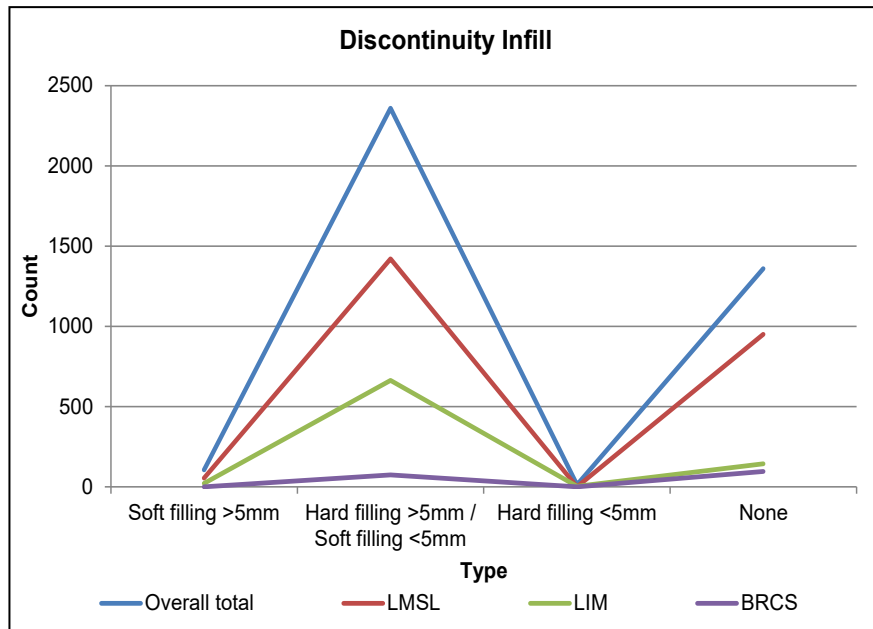




Рисунок 2: Графики определения заполнителя нарушений по Беньявскому (1989 г.)

Таблица 4: Литературные данные по значениям сцепления и угла внутреннего трения нарушений

| Заполнитель   | Породы   | Сухой / Пиковое |         | Обвод. / Остаточное |        | Комментарии    |
|---|--|-----------------|---------|---------------------|--------|----------------|
|   |  | φ, град.        | с, кПа  | φ, град.            | с, кПа |                |
| Без заполнителя                                       | Мел  |                 |         | 30-41               | 0      |                |
|   | Алевролит  | 20-33           | 100-790 |                     |        |                |
|   | Мягкий сланец                                    | 15-39           | 0-460   |                     |        |                |
|   | Сланец   |                 |         | 22-37               | 0      |                |
|   | Доломит  |                 |         | 30-38               | 0      |                |
| Небольшое количество заполнителя                      | Трещина в известняке с глинистой пленкой (<1 мм) | 17-21           | 49-196  |                     |        | σп 0,1-2,5 МПа |
| Глинистый заполнитель в большом количестве            | Известняк с глинистыми нарушениями (до 60 мм)    |                 |         | 13                  | 0      | σп 0,8-2,5 МПа |
| Стандартные значения базового угла внутреннего трения |  |                 |         |                     |        |                |
| Без заполнителя                                       | Мел  |                 |         | 30                  | 0      |                |
|   | Доломит  | 31-37           | 0       | 27-35               | 0      |                |
|   | Известняк  | 31-37           | 0       | 27-35               | 0      |                |
|   | Алевролит  | 31-33           | 0       | 27-31               | 0      |                |

#### Построение стереографических проекций

Все геотехнические скважины были внесены в базу управления геомеханическими данными. Полученный массив впоследствии анализировался на поскважинной основе с целью изучения изменений геолого-структурных условий на участках Западный и Дальнезападный. После этого данные по скважинам объединялись для выделения геомеханических доменов для последующего анализа конструктивных элементов бортов карьеров.

#### Структурный анализ

Структурный анализ был проведен на основании выделенных систем нарушений и с учетом 95% изменчивости. В рамках анализа рассматривалось три структурных типа, основанных на отношении между системами нарушений: плоскостные и клиновидные обрушения, а также заколы. Структурный анализ проводился в двух программах кинематического анализа:

**SBlock** – математическая программа, выполняющая вероятностный анализ путем оценки объемов плоскостных и клиновидных обрушений, а также заколов, при указании систем нарушений, расстояния между ними и протяженностью таких нарушений. Получаемые результаты позволяют рассчитать необходимую ширину предохранительной бермы.

**SWedge** – программа, разработанная компанией Rocscience, и основанная на тех же уравнениях равновесия сил, что и нормы проектирования РК, с целью оценки устойчивости индивидуальных блоков. Получаемые результаты позволяют оценить коэффициент запаса устойчивости клиньев, объемы вывалов и необходимую ширину предохранительной бермы.

Обе программы рассчитывают ширину бермы для заданного направления откоса, угла откоса и высоты уступа. В рамках проведенного анализа использовали следующие значения:

Высота откоса: 16 метров, установленная исходя из 8-метровой высоты блока в ресурсной модели;

Угол откоса уступа: 65 – 80 градусов;

Протяженность нарушений (в метрах):

SBlock: средняя – 10, минимальная – 5, максимальная – 50;

SWedge: максимальная – 20;

Длина проекции (в метрах): максимальная – 30;

Расстояние между нарушениями (в метрах): среднее – 0,3, минимальное – 0,1, максимальное – 1.

Данные параметры использовались для расчета ширины бермы, способной удержать 100% объема обрушения без просыпания породы на нижележащие уступы.

Расчет устойчивости бортов карьера на основе метода предельного равновесия

Первоначальный анализ месторождения Жайрем выполнялся с учетом чувствительности. При таком подходе ряд исходных параметров изменялся для построения графика, который затем можно было бы использовать для понимания отклонений в различных параметрах и их влияния на общий коэффициент устойчивости.

При сравнении пропорциональных соотношений в модели со свойствами массива наблюдаются лишь небольшие отклонения в показателях прочности, интенсивности трещиноватости и морфологии нарушений (таблица 5). Это указывает на то, что участки Западный и Дальнезападный можно моделировать в рамках геомеханического анализа как однородный массив, без необходимости их разделения.

**Таблица 5 – Исходные данные для выполнения численного анализа**

| Породы            |                       | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Сопротивление разрыву, МПа | Сопротивление сжатию, МПа | Сцепление, МПа | Угол трения, град. |
|-------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------|--------------------|
| Выветрелые породы | Перекрывающая толща   | 2,01                         |                            |                           |                |                    |
|                   | Выветрелые породы     |                              |                            |                           |                |                    |
| Скальные породы   | Известковый алевролит | 2,74                         | 10,23                      | 72,64                     | 32,79          | 21,06              |
|                   | Известняк             | 2,71                         | 7,86                       | 94                        | 33,88          | 17,9               |
|                   | Среднее               | 2,7                          | 10,86                      | 76                        | 33,29          | 19,67              |

Далее на рисунке 3 представлены результаты расчетов, выполненные методом предельного равновесия в ПО Slide.

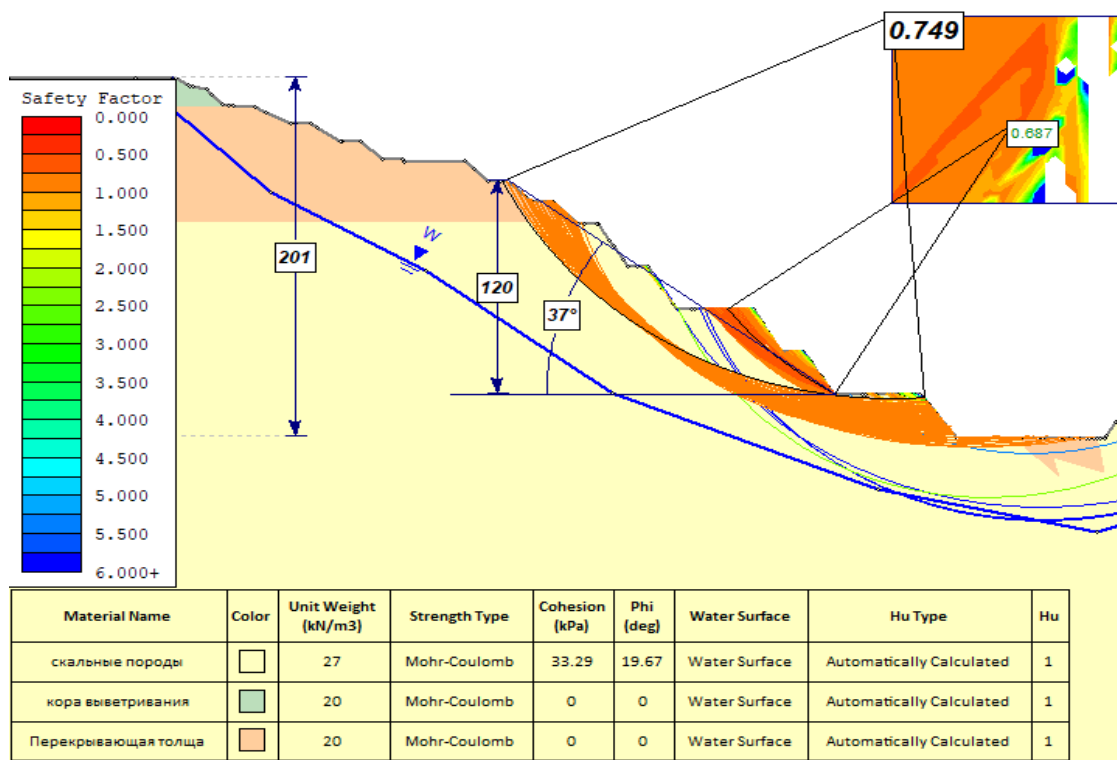


Рисунок 3 – Результаты численного анализа по разрезу 41 (западный борт)

ПО Slide анализирует устойчивость поверхностей скольжения с использованием методов предельного равновесия с вертикальным или неvertикальным срезом (например, Бишоп, Джанбу, Спенсера, Сармы и т. д.). Можно проанализировать отдельные поверхности скольжения или применить методы поиска для определения критической поверхности скольжения для данного уклона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Низаметдинов Ф.К., Окатов Р.П., Ожигин С.Г. Экспертное заключение по геотехническим исследованиям карьера и отвалов Дальнезападного и Западного участков Жайремского месторождения, КарГТУ, г. Караганда, 2020
2. Мельников Н.В. и др. Горное дело (терминологический словарь). М.:Недра, 2018. 527 с.
3. Запасы углей стран мира. - М.: Недра, 2014. - 520 с.
4. Зарубежная панорама. Текущая ситуация на Азиатском рынке энергетического угля // Уголь. - 2015. - No 5. - С. 43-46.
5. Сеинов Н.П. Перспективные направления эффективности открытой угледобычи за счет совершенствования техники и технологии горных работ / Н.П. Сеинов, А.И. Шендеров, И.Ф. Жариков // Уголь. - М., 2014. - No 10. С. 36- 39.
6. Трепко Л.А., Стратегия развития угольной отрасли. Проблемы и пути о их решения // Уголь. - Москва, 2016. - No 3. С. 36-40
7. Москаленко Т.В. Метод применения алгоритма управления качеством угля (по данным детальной разведки). Ин-т горного дела Севера СОРАН. -Якутск, 2017. - 43 с.
8. Данилов В.В. Аналитическая записка месторождения Жайрем. Рудники Западный и Дальнезападный. Сопоставление запасов, утвержденных ГКЗ и имеющихся блочных моделей. Состояние базы данных по месторождению по состояян

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

АЛДАМЖАРОВ Е. А.

НАО «Карагандинский технический университет им. А. С. Сагинова», Караганда

**Аннотация.** Направление исследования месторождение, разрабатываемые подземным способом.

Объект исследования. Объектами исследования являются подземный рудник.

Целью магистерского проекта является: Обеспечение устойчивости очистных и подготовительных выработок с увеличением геомеханическими параметрами для повышения эффективности разработки месторождения неустойчивых горных выработок.

Развитие черной металлургии при высоком уровне конкуренции на рынке возможно за счет выпуска высокосортной металлургической продукции, которая определяется качеством добываемого сырья.

На сегодняшний день основные объемы добычи сырья в РК приходятся на разработку открытым способом месторождений со средним содержанием полезного компонента в руде, не превышающим 40%. Месторождения высококачественных богатых руд, составляющие 12,4% от запасов, в основном имеют глубокое залегание и разрабатываются подземным способом.

Применение классической слоевой системы с закладкой выработанного пространства на первоначальном этапе отработки обусловлено сложностью и недостаточной изученностью геомеханических процессов при освоении месторождений богатых руд.

**Ключевые слова:** геомеханика, выработка, прочность, свойства горных массивов, НДС, месторождения.

## GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF MINING PARAMETERS IN THE DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS

ALDAMZHAROV E. A.

NAO «A. S. Saginov Karaganda Technical University», Karaganda

**Annotation.** The field of research is being developed by the subsurface method.

The object of the study. The objects of the study are an underground mine.

The purpose of the master's project is to ensure the sustainability of treatment and preparatory workings with an increase in geomechanical parameters to increase the efficiency of the development of unstable mine workings.

The development of ferrous metallurgy at a high level of competition in the market is possible due to the production of high-grade metallurgical products, which is determined by the quality of the extracted raw materials.

To date, the main volumes of raw material extraction in the Republic of Kazakhstan are accounted for by the open-pit mining of deposits with an average content of a useful component in ore not exceeding 40%. Deposits of high-quality rich ores, which make up 12.4% of the reserves, are mainly deep-lying and are developed underground.

The use of a classical layered system with the laying of the developed space at the initial stage of mining is due to the complexity and insufficient study of geomechanical processes in the development of rich ore deposits.

**Keywords:** geomechanics, mining, strength, properties of mountain ranges, VAT, deposits.

Введение.

В задачи исследования входят:

- Обобщение опыта разработки рудных месторождений в сложных горно – геологических и гидрогеологических условиях.

- Исследование проявлений горного давления при проведении очистных и подготовительных выработок в натуральных условиях.

- Оценка результатов натуральных и аналитических исследований формирования и изменения НДС рудного, породного и закладочного массивов при разработке месторождений богатых руд подземным способом.

- Выбор и обоснование численной геомеханической модели массива и последующее моделирование НДС массива, вмещающего очистные выработки и учитывающее изменение их геомеханических параметров.

Объектом исследования является: рудник

Получены лабораторные исследования прочности и деформационных свойств массива в условиях объемного сжатия, эквивалентного напряжением, действующим на месторождении на предшествующих этапах разработки месторождения [1]. Руды на месторождении делятся на 4 типа по прочности: каменистые, относительно прочные, руды с временной прочностью на сжатие выше 40 МПа. На их долю приходится до 18,5% руд; каменистые, относительно мягкие руды, прочность на временное сжатие  $40 \div 10$  МПа, доля которых достигает 17,8%; 23%-это недолговечные полужесткие руды с низкой прочностью, высокой прочностью на разрыв, прочностью на сжатие от 1 МПа до 2 МПа; рыхлые руды с временной прочностью на сжатие менее 2 МПа, характеризующиеся разрушением структурных связей; при поливе рыхлых руд разбавление переходит в жидкое состояние, дренаж массива относительно хороший, пористость высокая. Доля рыхлых руд составляет около 40,7% [2,3].

Прочностные и деформационные характеристики минералов, образующих горногорные массивы Яковлевского месторождения, приведены в таблицах.

1.3 и 1.4 (по лабораторным и полевым исследованиям Горного университета, VNIMI, VIAGEM).

Результаты лабораторных исследований образцов рудных массивов показывают сильное рассеяние по физико-механическим свойствам. Прочность рыхлых руд на одноосное сжатие не превышает 1 МПа, угол внутреннего трения  $30^\circ$ , адгезия 0,5 МПа. Предел растяжения плотных руд достигает 19 МПа, а средняя плотность руд не превышает 7 МПа [4,5].

С помощью цифровой геомеханической модели рассчитывается напряженно-деформационное состояние массы руды и заливки с прогнозом ожидаемого поведения работ с различными геометрическими параметрами при горных работах.

Использование цифровой геомеханической модели позволяет решить определенную проблему, рассматривая небольшую площадь массива, что позволяет не учитывать области поля, которые не влияют на возникновение и изменение напряжения. - состояние деформации. Движение вертикальных поверхностей модели по нормали запрещено. Перемещение нижней поверхности модели запрещено, а верхняя часть модели остается свободно деформируемой. Напряжения, приложенные к моделируемым поверхностям, соответствуют полю естественного напряжения в поле с учетом глубины рассматриваемой области. Геомеханическая модель учитывает изменения вертикальных и горизонтальных напряжений, вызванные снижением уровня горных работ и увеличением толщины сформированного искусственного потолка.

Дискретизация цифровой модели обеспечивает конденсацию сетки конечных элементов внутри производственных и обрабатывающих работ, которая постепенно увеличивает размер элемента по мере продвижения к границе модели. Минимальный размер последнего элемента составлял 0,25 м [5], чтобы обеспечить достаточный уровень точности результатов моделирования. На заключительном этапе определяется количество конечных элементов и качество решетчатой конструкции.

При проведении горных работ на Яковлевском месторождении формируются зоны нелинейной эластопластической деформации в контурах работ по разработке и добыче, проходящих через массив железных руд рыхлой и средней плотности [6]. Напряженно-

деформационное состояние богатого железорудного массива характеризуется эластопластической моделью с Мор-кулоновским критерием прочности, позволяющим получить оценку состояния напряжения-деформации, близкую к полномасштабной [7].

2. Определение прочностно-деформационных свойств рудных и заливных массивов.

Прочностно-деформационные свойства рудных и заливных масс, входящих в модель конечных элементов, определяются по результатам лабораторных испытаний образцов массивов, отобранных на горном месторождении.

Для определения прочности и деформационных свойств различных руд и заливной массы по результатам испытаний на одноосное и объемное сжатие определяются зависимости деформаций от эффективных напряжений и составляются паспорта прочности, определяющие характер эластопластической деформации. 8].

3. расчет НДС по руде и горной породе, добытой горными выработками полигональной формы, и состоянию с массой заполнения.

Определение НДС массы руды и наполнения осуществляется с учетом толщины ранее сформированной массы наполнения (количества отработанных слоев). На основе численного моделирования после горных работ и заполнения всех работ на рабочем слое пересчитываются текущие напряжения и деформации и рассчитываются обновленные значения вертикальных и горизонтальных напряжений (с учетом глубины горных работ).

Для учета последовательной добычи рудной массы с заполнением скважины геомеханическую модель делят на несколько последовательных этапов.

По результатам моделирования анализируются полученные значения коэффициента концентрации напряжений и перемещений горных пород с учетом геометрических параметров ископаемых установок и глубины горных и подготовительных работ. Данные анализа могут быть использованы при выборе и расчете параметров арматурных или опорных креплений.

Учитывая короткий срок службы производственных и обрабатывающих работ (не более 4 месяцев), желательна обеспечить устойчивость выходов путем установки анкеров из стекловолокна.

В цифровой геомеханической модели анкера из стекловолокна были заменены упругими стержнями и закреплены по всей длине, при этом характер контактного действия учитывал свойства закалочного состава, удерживающего анкер в скважине. Стержни из стекловолокна принимаются длиной 0,12 м с радиусом 2,2 метра. Модуль Юнга материала из стекловолокна составляет 40 000 МПа, соотношение Пуассона 0,26. в то же время, поскольку материал анкера имеет низкую сопротивление сдвигу, нет возможности повреждения рабочего инструмента комбайна при разрушении анкеров из стекловолокна при рытье соседних камер [9,10,11,12].

Расчет изменений в конфигурации зон предельного равновесия вокруг обрабатывающих и добывающих работ производился с учетом различных анкерных ступеней и физико-механических свойств основного Рудного массива.

График напряжений растяжения, действующих на анкерный стержень в зависимости от количества установленных анкеров и расстояния от контура выработки, приведен на рис.1.

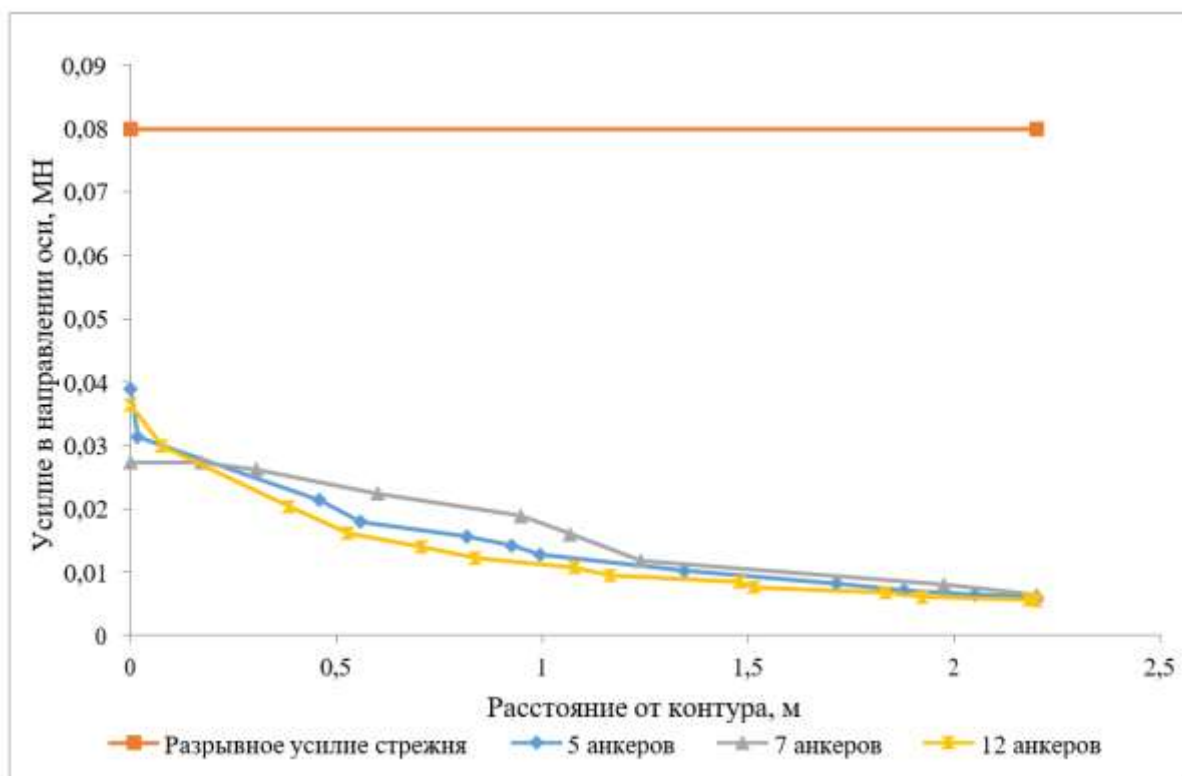


Рисунок 1-Осевая сила растяжения, действующая на анкер из стекловолокна

По результатам оценки влияния арматурной крепи на устойчивость горных пород получены конфигурации зон предельного равновесия ограждающего массива вокруг разработки, закрепленного анкером 7 длиной 2,2 м с интервалом 1,0 м. (Рис. 2). Максимальный линейный размер зоны предельного состояния уменьшился до 0,35 м

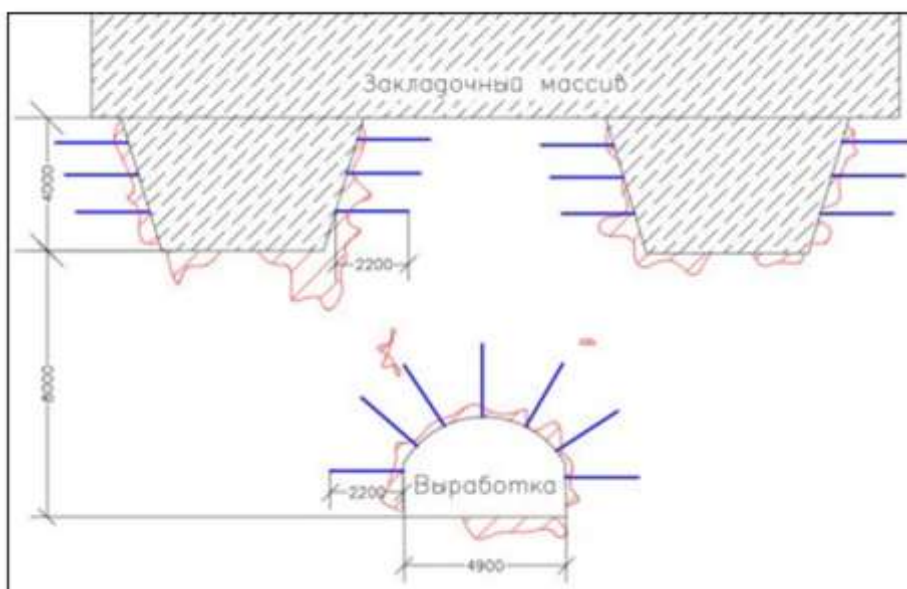


Рисунок 2-Формирование зоны предельного положения по бокам и потолку обрабатываемых работ второго этажа, закрепленных стеклопластиковым анкером.

В результате моделирования установлено, что закрепление крыши и бортов обрабатываемых работ армирующим стекловолоконным анкером позволяет уменьшить площадь зоны предельного равновесия в 2,77 раза, обеспечить безопасность горных работ и предотвратить горные работы. падение каменной массы.

В сочетании с анкерными болтами рекомендуется использовать изоляционные покрытия, такие как покрытие Tekflex. Прочность на растяжение данного вида цементно-ла텍сного покрытия составляет 4,5 МПа. Материал позволяет сформировать комбинированное защитное и опорное крепление на крыше работ, увеличивая устойчивость основного массива за счет уменьшения воздействия атмосферных воздействий (физических и химических) и ограничения расслоения горных пород.

#### Выводы

1. разработана модель плоских численных конечных элементов массива, позволяющая прогнозировать образование и изменение напряженно-деформационного состояния массива с горными выработками трапециевидного сечения. По результатам численного моделирования обоснованы предложенные параметры стеклопластикового покрытия для подготовительных работ, проводимых в массиве нестабильных железных руд.

2. основными преимуществами стеклопластикового покрытия, предлагаемого для монтажа, являются: облегченная транспортировка и установка из-за небольшого веса (вес в 5 раз меньше, чем у металлических аналогов); низкая прочность на сдвиг анкера из стекловолокна, облегчающая его опорожнение при механизированной раскопке шахтных выработок; увеличение срока службы анкера из-за повышенной устойчивости анкерного материала к внешней среде (коррозии).

3. установлено, что крепление стен и потолка подготовительных работ анкерами из стекловолокна длиной 2,2 м с интервалом анкера 1,1x1,0 м по сравнению с обработкой без опоры позволяет уменьшить площадь предельных условий. площадь заливной массы составляет 64% (до значения 0,35 м).

4. разработаны рекомендации по повышению устойчивости выходов добывающих и обрабатывающих работ с учетом физико-механических свойств основной массы, глубины горных работ и толщины искусственного потолка, прочностных и деформационных свойств. из стекловолоконного анкера.

#### Заключение

Представленная диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвященную геомеханическому обоснованию параметров полигональной обработки при разработке месторождений нестабильных железных руд.

#### Основные результаты проведенных исследований:

1. на основе анализа результатов исследования физико-механических свойств рудной массы и полномасштабных инструментальных наблюдений на станциях глубокой поддержки дана оценка формирования напряженно-деформационного состояния железорудной массы и выявлена потеря устойчивости производственных и обрабатывающих работ в виде перекрытий и локальных потоков по поверхностям сдвига.

2. обосновано использование эластопластической геомеханической модели массы руды и составлены модели конечных элементов для расчета напряженно-деформационного состояния массы руды с использованием программного комплекса Abaqus с учетом формы и геометрических размеров массы руды. физические, механические и прочностные свойства руды и заливной массы.

3. закономерности формирования зон предельного равновесия вокруг работ с многоугольным поперечным сечением определялись с учетом изменения их геометрических параметров.

4. установлена зависимость изменения размеров зон предельного равновесия вокруг выработок с многоугольным поперечным сечением от их геометрических параметров и прочностных свойств массы руды. В рыхлых рудах зона предельного состояния простирается до всей высоты горных выработок. В гидрогематит-мартитовых рудах с рабочей высотой 16 м и 12 м локальные зоны предельного равновесия имеют наибольшие линейные размеры 0,7÷0,5 м и 0,3÷0,2 м соответственно.



5. обоснованы геометрические параметры горных выработок с многоугольным поперечным сечением, обеспечена безопасная разработка богатых железных руд и даны рекомендации по повышению устойчивости периметральной зоны массива с применением стекловолоконной кровли.

6. на основании завершено геомеханического обоснования предложен метод разработки мощных, вертикальных осадочных месторождений нестабильных железных руд (патент 2648371 от 26.03.2018 г., бюллетень № 9).

7. разработаны предложения по использованию проектно-производственных организаций результатов научных исследований в обосновании проектных параметров систем освоения с заполнением добываемого пространства и в учебном процессе при подготовке специалистов по специальности «Горное дело»

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аллилуев В.Н. Моделирование структурных особенностей глубокозалегающих месторождений богатых железных руд при создании геологического модуля для расчета напряженно-деформированного состояния рудного массива / В.Н. Аллилуев, / В.Н. Аллилуев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №8. – С. 314-319.
2. Антонов Ю. Н., Синегубов В.Ю., Максимов А.Б., Синякин К.Г. Деформации рудного обнажения за крепью КМП-А3 в выработках, пройденных вприсечку к закладочному массиву // Труды 8-й Международной научно- практической конференции «Освоение минеральных ресурсов севера проблемы и их решения», Воркута. – 2010. – С. 174-179.
3. Антонов Ю.Н. Деформации рудного обнажения за крепью КМП-А3 в выработках, пройденных вприсечку к закладочному массиву / Ю.Н. Антонов и др. // Труды 8-й Международной научно-практической конференции «Освоение минеральных ресурсов севера проблемы и их решения». Воркута, 2010. - С. 174- 179.
4. Антонов Ю.Н. Параметры полей напряжений в рудном массиве, вмещающем параллельные взаимовлияющие выработки // Записки Горного института, СПб.: РИЦ СПГИ(ТУ), 2007. - Т 172, С. 29-32.
5. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. – М.: Недра, 1975. 271 с.
6. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа. – 1968. – 512 с.
7. Бокий Б.В., Зимина Е.А., Смирняков В.В., Тимофеев О.В. Проведение и крепление горных выработок. – М.: Госгортехиздат, 1963, - 558 с.
8. Бронников Д. М. Закладочные работы в шахтах: справочник / Д. М. Бронников, М. Н. Цыгалов, М. И. Весков, Н. Ф. Замесов – Москва: Недра, 1989. – 400 с.
9. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1982. 270 с.
10. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. . – М.: Недра. – 1994. – С. 382.
11. Бурчаков А.С. Краткий справочник горного инженера угольной шахты /А.С. Бурчаков и др. - 3-е изд., переработ. и доп. - М.:Недра, 1982. - 454 с.
12. Войтов М.Д. Исследование деформационных и нагрузочных свойств анкерной крепи / М.Д. Войтов, И.И. Харитонов, В.В. Емельянов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2011. -

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

ВИНАЛЬЕВА Е. А.

Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург

**Аннотация.** Процесс сдвижения горных пород развивается по причине нарушения естественного напряженно – деформированного состояния массива вследствие образования горных выработок. Действующие в горном массиве напряжения, собственный вес пород и суффозионные процессы вызывают разрушение и перемещение подработанных пород в выработанное пространство. Этот процесс, развиваясь, достигает поверхности, где образуются провалы, террасы и трещины. Захватывающие толщу горных пород, а также и земную поверхность сдвижения и деформации могут оказаться опасными для расположенных на поверхности сооружений, природных и хозяйственных объектов, в том числе и проведенных в толще пород горных выработок. Актуальность данной проблемы заключается в том, в последние годы в мире наблюдается увеличение числа процессов сдвижения и деформаций, что вызывает необходимость мониторинга деформационных процессов на местности. Для этих задач используются как классические, так и спутниковые геодезические приборы. Однако выбор подходящего оборудования - задача не из легких, и она усложняется, когда речь идет о разных условиях работы. В этой статье было рассмотрено геодезическое оборудование, особенности его выбора для мониторинга деформаций земной поверхности, так же проведен сравнительный анализ его преимуществ и недостатков приведены в различных условиях работы.

Объектом обзора являются классические и спутниковые геодезические приборы.

Целью работы является сравнительный анализ классического и спутникового оборудования при мониторинге сдвижения горных пород на подработанных территориях, а также, составление рекомендаций по выбору приборов.

**Ключевые слова:** мониторинг, тахеометр, геодезические приборы, нивелир, земная поверхность, измерения, деформации, сдвижение, анализ, подработанные территории.

**Исследования выполнены в рамках Госзадания № 075-00412-22 ПР, тема No (FUWE-2022-0003), рег. No1021062010536-3-1.5.1.**

## REVIEW OF MODERN GEODETIC INSTRUMENTS FOR MONITORING THE DEFORMATION PROCESSES OF THE EARTH'S SURFACE

VINAL'EVA E. A.

Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg

**Abstract.** The process of displacement of rocks develops due to the violation of the natural stress-strain state of the massif due to the formation of mine workings. The stresses acting in the rock mass, the own weight of the rocks and suffusion processes cause the destruction and movement of the undermined rocks into the goaf. This process, developing, reaches the surface, where dips, terraces and cracks are formed. The displacements and deformations that capture the rock mass, as well as the earth's surface, can be dangerous for structures located on the surface, natural and economic objects, including mine workings carried out in the rock mass. The relevance of this problem lies in the fact that in recent years there has been an increase in the number of displacement and deformation processes in the world, which makes it necessary to monitor deformation processes on the ground. For these tasks, both classical and satellite geodetic instruments are used. However, choosing the right equipment is not an easy task, and it gets more complicated when it

comes to different working conditions. This article reviewed geodetic equipment, features its choice for monitoring deformations of the earth's surface, a comparative analysis of its advantages and disadvantages is also given in various operating conditions.

**Key words:** monitoring, tachometer, geodetic instruments, level, earth's surface, measurements, deformations, displacement, analysis, undermined territories.

## Введение

Выемка пластов угля и других залежей полезных ископаемых вызывает образование в недрах земли пустот значительных размеров. Породы, залегающие в кровле горных выработок, под действием силы тяжести и горного давления приходят в движение, обуславливая развитие процесса сдвижения всей толщи, включая земную поверхность. В результате данного процесса деформируется и нарушается целостность крепи горных выработок, попавших в зону сдвижения.[1] Объекты, расположенные на земной поверхности и также попавшие в зону сдвижения, деформируются, а при неблагоприятных условиях подработки даже разрушаются.[2] В связи с этим возникает необходимость мониторинга земной поверхности. Для выполнения этой задачи используются различные геодезические приборы, которые позволяют получать данные о координатах и отметках высот точек на местности. Геодезические приборы – это инструменты, используемые для измерения различных параметров земной поверхности. Классические геодезические приборы, такие как нивелиры, теодолиты и тахеометры, имеют некоторые ограничения в использовании для мониторинга деформационных процессов, в то время как спутниковые геодезические приборы, такие как системы глобального позиционирования (GPS), ГЛОНАСС и Galileo, предоставляют более точные и удобные данные о координатах и отметках высот точек на местности при соблюдении определенных условий. В данной статье были рассмотрены особенности работы и применения классических и спутниковых геодезических приборов, а также проведен сравнительный анализ их преимуществ и недостатков в мониторинге деформационных процессов на местности.

### Классические геодезические приборы

Классические геодезические приборы, такие как нивелиры, теодолиты и тахеометры, широко применяются для мониторинга деформационных процессов на местности. Рассмотрим их основные характеристики и применение в геодезии.

Нивелир — прибор, использующийся для определения разности высот между точками.[3] Он работает на основе принципа оптического выравнивания лучей, причем лучи света проходят через зрительную трубу нивелира, далее через призму и направляются на рефлектор. Рефлектор, который устанавливается на точке, на которую производится измерение, отражает лучи нивелира обратно в зрительную трубу, где они попадают на измерительную шкалу. После этого можно рассчитать высоту точки на основе нескольких измерений.

Теодолит — это оптический геодезический прибор, который используется для измерения углов между различными точками на местности. Теодолит также основан на принципе оптического выравнивания лучей. Он состоит из горизонтальной и вертикальной осей, которые позволяют измерять углы в данных плоскостях. Прибор также имеет измерительную шкалу и окуляр для наблюдения углов. С помощью теодолита можно измерять горизонтальные и вертикальные углы между точками на местности.

Тахеометр — это геодезический прибор, который используется для измерения расстояний, углов и высот на местности. Он обычно состоит из теодолита и дальномера, что позволяет получать информацию о расстоянии до измеряемых точек. Также может быть оснащен устройством автоматической фокусировки, что позволяет быстро измерять расстояния и углы между точками на местности. Тахеометры по принципу действия делятся на оптические, электронные (цифровые) и роботизированные (автоматические). [3]

## Ограничения использования классических геодезических приборов для мониторинга деформационных процессов

Классические геодезические приборы (рис.1), такие как нивелиры, теодолиты и тахеометры, широко применяются для мониторинга деформационных процессов на местности. Несмотря на то, что они имеют ряд преимуществ, таких как точность, надежность и возможность измерения больших расстояний, они имеют также и некоторые ограничения во время использования.



Рис. 1. Классические геодезические приборы

Одним из главных ограничений является то, что классические геодезические приборы не обеспечивают возможность непрерывного мониторинга. Измерения должны производиться в определенный момент времени и, как правило, требуют значительной подготовки и времени на само измерение.

Другим ограничением является сложность обработки данных. Поскольку измерения производятся в различные моменты времени, необходимо выполнить ряд сложных расчетов, чтобы получить точные данные о деформационных процессах.

Кроме того, классические геодезические приборы могут быть ограничены в использовании для некоторых типов деформаций, таких как тектонические деформации, которые могут происходить на довольно больших расстояниях и требуют более точных инструментов.

Наконец, классические геодезические приборы могут быть ограничены в использовании в отдаленных или труднодоступных местах, где доставка и установка оборудования может быть затруднена.

В свете этих ограничений, становится понятным, почему спутниковые геодезические приборы стали так популярны для мониторинга деформационных процессов. Далее рассмотрим спутниковые геодезические приборы.

### Спутниковые геодезические приборы

В отличие от классических геодезических приборов, спутниковые (рис.2) позволяют быстро и точно определять координаты точек на земной поверхности. Они могут быть использованы для мониторинга как вертикальных, так и горизонтальных перемещений, и не требуют установки множества приборов.



**Рис.2. Спутниковые геодезические приборы**

Основной принцип спутникового геодезического прибора заключается в определении местоположения путем определения моментов времени приема синхронизированного навигационного сигнала от группировки космических спутников и координатных поправок измерений от наземных референцстанций антенной потребителя.[4]

Спутниковая геодезия представляет собой новую технологию, использующуюся для определения координат и скоростей точек на земной поверхности. Она основана на использовании систем навигации. Далее рассмотрим основные принципы работы GPS и GLONASS.

GPS (Global Positioning System) - это система спутниковой навигации, разработанная США. GPS состоит из 24 спутников, которые кружат вокруг Земли на высоте 20 192 км.[5] Каждый спутник передает сигналы на земную поверхность, которые принимаются GPS-приемником. Он измеряет время, необходимое для прохождения сигнала от спутника до приемника, и использует эту информацию для определения расстояния между ними. GPS-приемник использует информацию от нескольких спутников, чтобы определить свое местоположение.

ГЛОНАСС — российская спутниковая система навигации, предназначена для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа пользователей наземного, морского, воздушного и космического базирования. Это единственная система в мире, которая предоставляет доступ к гражданскому сигналу глобального позиционирования в двухчастотных диапазонах L1 и L2 потребителям по всему миру на безвозмездной основе. Основой системы являются 24 космических аппарата, которые находятся на высоте 19 100 км и движутся в трёх орбитальных плоскостях по 8 аппаратов в каждой.[6] Как и в случае с GPS, каждый спутник передает сигналы на земную поверхность, которые принимаются ГЛОНАСС-приемником, далее идет обработка информации от нескольких спутников и определяется местоположение.

Несмотря на свои преимущества, они также имеют свои ограничения. Например, они могут быть подвержены воздействию электромагнитных помех, которые могут привести к ошибкам в измерениях и быть неэффективны при работе в густонаселенных городских районах или в условиях, когда спутники находятся за пределами обзора.

**Преимущества спутниковых геодезических приборов в мониторинге деформационных процессов**

Спутниковые геодезические приборы имеют ряд преимуществ в сравнении с классическими приборами при мониторинге деформационных процессов. Далее мы рассмотрим некоторые из них.

1. Высокая точность измерений

Спутниковые геодезические приборы обеспечивают высокую точность измерений благодаря использованию большого количества спутников, которые передают сигналы на землю.

2. Высокая скорость работы

Возможность быстро измерять расстояния и получать данные. Это позволяет оперативно реагировать на изменения деформаций, что особенно важно в случае мониторинга объектов, находящихся в опасных зонах.

### 3. Возможность измерения удаленных точек

С помощью спутниковых геодезических приборов можно измерять удаленные точки, которые не доступны для классических приборов. Это позволяет охватывать большие территории и следить за деформационными процессами на больших объектах (таких как горы и дамбы).

### 4. Возможность работы в плохих условиях погоды

Они работают независимо от погодных условий, таких как дождь, снег или туман. Это делает их особенно полезными при мониторинге объектов в труднодоступных и экстремальных условиях.

### 5. Автоматизация процесса измерений

Спутниковые геодезические приборы имеют возможность автоматической записи данных и их передачи в центральную систему мониторинга. Это упрощает и автоматизирует процесс сбора данных, что позволяет сократить время и снизить вероятность ошибок.

### 6. Измерения деформаций на больших территориях

Спутниковые системы позволяют производить измерения на территориях до нескольких тысяч километров в диаметре.

### 7. Возможность работы в режиме реального времени

Оборудованием могут использоваться для непрерывного мониторинга деформаций в режиме реального времени. Это позволяет своевременно обнаруживать и отслеживать деформационные процессы, что особенно важно в случае опасных геологических явлений, таких как землетрясения или вулканические извержения.

В целом, спутниковые геодезические приборы представляют собой эффективный и мощный инструмент для мониторинга деформационных процессов, который обладает многими преимуществами перед классическими геодезическими приборами.

Сравнительный анализ классических и спутниковых геодезических приборов

#### 1. Точность измерений

Одним из важнейших параметров геодезических приборов является точность измерений, которая имеет решающее значение для достижения целей мониторинга деформационных процессов.

Классические геодезические приборы, такие как нивелиры, теодолиты и тахеометры, имеют высокую точность измерений, которая может быть достигнута благодаря использованию высококачественных оптических систем и механизмов. Однако, они имеют свои ограничения, которые могут привести к снижению точности измерений. Например, наличие атмосферных условий, таких как туман, дождь, снег или сильный ветер, может негативно сказаться на точности измерений.

Спутниковые геодезические приборы, такие как GPS и ГЛОНАСС, обеспечивают более высокую точность измерений по сравнению с классическими геодезическими приборами. Это происходит благодаря тому, что спутниковые системы позволяют получать более точные данные о координатах из-за использования сигналов, передаваемых со спутников. Однако, следует отметить, что точность может зависеть от различных факторов, например, от атмосферных условий или от наличия помех в сигналах. Также необходимо учитывать, что спутниковые геодезические приборы могут требовать дополнительных расходов на обслуживание и калибровку, что может повлиять на их экономическую эффективность.

#### 2. Влияние погодных условий и тектонической активности

Влияние погодных условий и тектонической активности на измерения является значительным фактором при использовании как классических, так и спутниковых геодезических приборов в мониторинге деформационных процессов. Классические приборы могут быть более подвержены воздействию погодных условий, таких как ветер, дождь и туман,

что может привести к ухудшению точности измерений. В то же время, спутниковые приборы могут быть более устойчивы и тем самым обеспечивать более стабильные измерения. Однако тектоническая активность может существенно влиять на точность измерений как классических, так и спутниковых геодезических приборов. Деформации земной коры могут вызывать изменение расстояний между станциями, что может привести к ошибкам в измерениях. В таких случаях важно проводить регулярный мониторинг и учитывать возможное влияние тектонической активности при интерпретации полученных результатов.

### 3. Время выполнения измерений

Более продолжительного времени для выполнения измерений требуют классические геодезические приборы по сравнению со спутниковыми. Это связано с установкой оборудования на каждой точке измерения и с необходимостью выполнения ряда предварительных операций, таких как установка опорных точек, настройка приборов и т.д. Кроме того, для выполнения точных измерений с помощью классических геодезических приборов часто требуется большое количество персонала, что может увеличить время выполнения работ. Спутниковые геодезические приборы могут произвести измерения на больших площадях за более короткий промежуток времени. Они не требуют установки на каждой точке, что ускоряет процесс. Кроме того, они могут осуществлять непрерывный мониторинг, что позволяет получать данные почти в режиме реального времени. Некоторые ограничения при использовании спутниковых геодезических приборов связаны с погодными условиями и облачностью, которые могут повлиять на качество сигнала. Однако, с появлением новых систем спутников, таких как ГЛОНАСС и Galileo, которые работают в дополнение к GPS, возможности спутниковых геодезических приборов становятся все более широкими.

#### Обобщение результатов сравнительного анализа

Из проведенного сравнительного анализа классических и спутниковых геодезических приборов для мониторинга деформационных процессов можно сделать следующие выводы:

1. Спутниковые геодезические приборы имеют более высокую точность измерений в сравнении с классическими геодезическими приборами.
2. Спутниковые геодезические приборы позволяют осуществлять наблюдение за объектами, удаленными на большом расстоянии и мониторинг в режиме реального времени.
3. Влияние погодных условий и тектонической активности на точность измерений классических геодезических приборов выше, чем на точность измерений спутниковых геодезических приборов.
4. Применение классических геодезических приборов оправдано в случаях, когда необходимо провести точные измерения вблизи объекта мониторинга [7].
5. Время выполнения измерений с использованием спутниковых геодезических приборов значительно меньше, чем время выполнения измерений с использованием классических геодезических приборов [7 – 8].
6. Более простыми в транспортировке являются спутниковые геодезические приборы. Малогабаритная аппаратура, легко устанавливаемая на контролируемом объекте [9].

#### Вывод

Таким образом, можно сделать вывод, что спутниковые геодезические приборы являются более эффективным и удобным инструментом для мониторинга деформационных процессов, особенно в случаях, когда необходимо осуществлять дистанционное наблюдение за объектами на больших расстояниях и в режиме реального времени. Однако, использование классических геодезических приборов также может быть оправдано в некоторых случаях, где необходимы более точные измерения вблизи объекта мониторинга.

На основании проведенного сравнительного анализа можно дать следующие рекомендации по выбору приборов для мониторинга деформационных процессов:

1. В случаях, когда требуется быстрый и точный мониторинг деформаций на небольших участках, рекомендуется использовать классические геодезические приборы.
2. На больших участках или в отдаленных районах, где доступность территории является проблемой, рекомендуется использовать спутниковые геодезические приборы.
3. При выборе спутниковых геодезических приборов необходимо учитывать возможные ограничения, связанные с погодными условиями и наличием препятствий на территории [10 – 11].
4. Для повышения точности измерений и уменьшения влияния различных факторов, рекомендуется использовать комбинацию классических и спутниковых геодезических приборов [10].
5. При выборе приборов для мониторинга деформационных процессов необходимо учитывать специфику и цели конкретного исследования, а также наличие доступных ресурсов и квалифицированных специалистов для работы с выбранными приборами.
6. GNSS-системы целесообразнее применять на довольно протяженных объектах с хорошо открытым небом: дороги, сети коммуникаций на незастроенной или малозастроенной территории. Кроме того, точность спутниковых измерений ниже, чем у классических оптических приборов, на относительно небольших расстояниях. [12]

Таким образом, рекомендуется использовать классические геодезические приборы для мониторинга деформационных процессов, требующих высокой точности измерений, при условии, что это возможно в рамках временных и финансовых ограничений. В случаях, когда требуется быстрый мониторинг на больших территориях, рекомендуется использовать спутниковые геодезические приборы. При выборе оборудования необходимо учитывать конкретные условия эксплуатации и требования к точности измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Elizabeth Ожиганов. Сдвигение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок. URL: <https://pandia.ru/text/80/163/59177.php>
2. Бесимбаева О. Г., 2019. Мониторинг деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях. Интерэкспо Гео-Сибирь, Т. 1, № 1, С. 82-91.
3. Забара В. В., 2020. Тенденции развития современного геодезического оборудования. Сборник статей по материалам 75-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2019 год. С. 410-412.
4. Добрянский И. А., 2022. Маркшейдерско-геодезические приборы, используемые на открытых горных работах в настоящее время. Сборник материалов XII международной научно-практической конференции. С. 139-145.
5. Синенко А. А., 2019. Сравнение эффективности применения навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Аллея науки, Т. 1, № 11(38), С. 900-906.
6. Алексеев В. Е., 2012. Сравнение эффективности применения многоантенных навигационных систем GPS и совмещенной ГЛОНАСС/GPS. Известия высших учебных заведений. Электроника., № 2(94), С. 71-76.
7. Mohammad Idris, 2019. Evaluation of GPS-RTK and Total Station for Topographic Survey and Strategic Decision in Private Companies. KnE Engineering. P. 323-332.
8. M. Nandhini Chella Kavitha, R. Viswanath, P. Kavibharathi, K. Aakash, M. Balajimanikandan, 2018. A Comparative Study of Conventional Surveying Techniques with Total Station and GPS. International Journal of Civil Engineering and Technology, V. 9(1), P. 440-446.
9. Васильева И. Е., 2019. Использование спутникового метода наблюдений для целей деформационного мониторинга. Мировая наука, № 1(22), С. 351-354.
10. Hussein S.K., & Abdulla, K.Y., 2021. Surveying with GNSS and Total Station- A Comparative Study. Eurasian Journal of Science & Engineering, V. 7(1), P. 59-73.
11. Зубков А. В., Сентябов С. В., Селин К. В., 2022. Относительная деформация материи на микро- и макроуровне в условиях изменяющейся космической погоды. Литосфера, Т. 22, № 2, С. 228-238.
12. Клабуков И. В., 2017. Проблема выбора между ГНСС и тахеометром. Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая". С. 11005.



## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

ДАЛИБАЕВ А. Ж., МУСИН А. А., САТАНОВ Ж. Р.

Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, Караганда

**Аннотация.** В статье рассматриваются факторы, влияющие на устойчивость состояния выработок в горных выработках. Автор подчеркивает, что устойчивость зависит от глубины расположения выработки, прочности руд и вмещающих пород, мощности рудного тела, пролета подработки, расстояния до очистного пространства, принятой системы разработки и других факторов. Кроме того, автор выделяет две группы критериев устойчивости обнажений: первую, основанную на прочностном расчете устойчивости горных выработок, и вторую, основанную на деформационном подходе. Рассматриваются методы расчета устойчивости горных выработок, основанные на прочностном расчете и деформационном подходе. Автор подчеркивает, что при оценке устойчивости горных выработок и нагрузки на крепь конкурируют два принципиально различных подхода – расчет по заданным нагрузкам и по заданным деформациям.

**Ключевые слова:** осадочная порода, индекс GSI, горное давление, категории устойчивости горных пород, индекс качества массива.

## ANALYSIS OF MODERN METHODS FOR ASSESSING THE GEOMECHANICAL STATE OF A ROCK MASS

DALIBAYEV A. ZH., MUSIN A. A., SATANOV ZH. R.

Abilkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda

**Abstract.** The article discusses the factors influencing the stability of the state of workings in mine workings. The author emphasizes that stability depends on the depth of the excavation, the strength of the ores and host rocks, the thickness of the ore body, the span of the undermining, the distance to the working area, the adopted development system and other factors. In addition, the author identifies two groups of criteria for the stability of outcrops: the first, based on the strength calculation of the stability of mine workings, and the second, based on the deformation approach. Methods for calculating the stability of mine workings based on strength calculations and the deformation approach are considered. The author emphasizes that when assessing the stability of mine workings and the load on the support, two fundamentally different approaches compete - calculation for given loads and for given deformations.

**Keywords:** sedimentary rock, GSI index, rock pressure, rock stability categories, massif quality index.

Устойчивое состояние выработок зависит от совместного воздействия следующих факторов: глубины расположения выработки, прочности и структурных особенностей руд и вмещающих пород, мощности рудного тела и его угла падения, пролета подработки, расстояния до очистного пространства, принятой системы разработки, расположения и ориентировки выработки по отношению к фронту очистных работ, оставленным целикам и тектоническим нарушениям, степени воздействия взрывных работ, вида крепи и др.

В настоящее время известны две группы критериев устойчивости обнажений. К первой группе относятся критерии, основанные на прочностном расчете устойчивости горных

выработок, то есть оценке их прочности [1-9]. Ко второй группе относятся критерии, основанные на деформационном подходе, т.е. оценка устойчивости производится по величине предельных деформаций или перемещений контура выработок.

Методы расчета, основанные на прочностном расчете устойчивости горных выработок (по заданной нагрузке) реализованы в гипотезах М.М. Протождьяконова, П.М. Цимбаревича, В.Д. Слесарева, Н.М. Покровского и др. Другой подход (расчет по заданной деформации) основан на рассмотрении горного давления не как внешней нагрузки, а как результат взаимодействия крепи и вмещающих пород и реализованы в гипотезах А. Лабасса, К.В. Руппенейта, Ю.М. Либермана, Г.Л. Фисенко, И.Н. Кацаурова и др.

Таким образом, при оценке устойчивости горных выработок и нагрузки на крепь конкурируют два принципиально различных подхода – расчет по заданным нагрузкам и по заданным деформациям. Исторически первой сложилась концепция образования свода естественного равновесия. В рамках этой концепции решение задачи осуществляется методами сопротивления материалов. При этом напряженное состояние породного массива никак не учитывается. Дальнейшие исследования привели к разработке методов расчета, основанных на оценке образования вокруг выработки зоны неупругих (запредельных) деформаций. Эти методы основаны на инструментарии механики сплошной среды – теории упругости и пластичности. В этом случае учитывается не только давление на крепь, но и смещение пород, обусловленное совместной работой породного массива и крепи.

Действующими нормативными документами в качестве критерия, для оценки устойчивого состояния породного массива вокруг горизонтальных горных выработок, приняты смещения на контуре их поперечного сечения за весь срок службы при отсутствии крепи, т.е. в незакрепленном состоянии. В зависимости от величины ожидаемых смещений выделяют четыре категории устойчивости пород (таблица 1).

**Таблица 1 – Отнесение осадочных пород к той или иной категории устойчивости в зависимости от величины смещений**

| Категория устойчивости пород | Оценка состояния устойчивости пород | Смещения U, мм   |
|------------------------------|-------------------------------------|--|
|                              |                                     | осадочные породы (песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, уголь и др.) |
| I                            | Устойчивое                          | До 50  |
| II                           | Среднеустойчивое                    | Свыше 50 до 200  |
| III                          | Очень неустойчивое                  | Свыше 200 до 500   |
| IV                           | Сильно неустойчивое                 | Свыше 500  |

Данная классификация является отправным пунктом при проектировании подземного сооружения, т.к. именно смещения пород в соответствии с методикой по СНиП является основной геомеханической характеристикой для определения нагрузки на крепь и дальнейшего определения параметров крепи (вид крепи, тип профиля, плотность установки и т.д.).

При оценке устойчивости обнажений на рудных месторождениях пользуются величиной либо размера пролета незакрепленного обнажения (для протяженных выработок) либо площади обнажения (для камерных выработок). При подземной разработке руд принята классификация, приведенная в таблице 2.

**Таблица 2 – Отнесение пород к той или иной категории устойчивости по площади обнажения**

| Оценка состояния устойчивости пород | Площадь обнажения  |
|-------------------------------------|--|
| слабые и неустойчивые руды          | не допускают обнажения и требуют при разработке усиленного крепления |
| малоустойчивые                      | допускающие обнажения без крепления шириной до 3 м                   |
| средней устойчивости                | допустимая площадь обнажения до 50–100 м <sup>2</sup>                |
| устойчивые                          | допустимая площадь обнажения до 200–500 м <sup>2</sup>               |
| весьма устойчивые                   | допустимая площадь обнажения 800–1000 м <sup>2</sup> и более         |

Само обилие таких корректирующих коэффициентов свидетельствует о недостаточной теоретической базе расчета устойчивости. Кроме того, неясность методики определения этих коэффициентов и нередко произвольное назначение их величины приводит к субъективности оценки устойчивости подземных выработок.

Категория устойчивости в соответствии с величиной критерия *C* определяется по таблице 3. В зависимости от величины критерия устойчивости *C* рекомендуется оценивать давление на крепь.

**Таблица 3 – Категории устойчивости горных пород**

| Категория устойчивости | Оценка состояния устойчивости | Критерий устойчивости <i>C</i> |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| I                      | Устойчивое                    | до 3                           |
| II                     | Среднеустойчивое              | 3 – 6                          |
| III                    | Неустойчивое                  | 6 – 10                         |
| IV                     | Очень неустойчивое            | свыше 10                       |

В нормативном документе породы классифицируют по следующим свойствам: обрушаемость (управляемость) массива пород над пластом полезного ископаемого; устойчивость нижнего слоя кровли; устойчивость непосредственной почвы. В качестве основных признаков выделения категорий пород в этой классификации приняты технологические параметры, устанавливаемые по опыту работы очистных забоев в аналогичных условиях (средняя относительная величина приращения опускания кровли на 1 м ширины призабойного пространства; шаг первой и последующих осадок массива пород; размер устойчивого шага зависания его в выработанном пространстве после извлечения крепи) и литологические (прочность пород и расстояние между трещинами).

Анализ вышеприведенных классификаций показывает, что одни из них являются слишком общими, не содержащими рекомендаций по поддержанию выработок, другие – приурочены к конкретным технологиям добычи полезного ископаемого и содержат числовые значения геомеханических параметров, которые в иных горно-технических условиях могут не соответствовать действительности, тем более в случае внедрения новой добывающей техники, изменения технологических схем, разработки нестандартных технических решений.

В указанных случаях проектирование подземных сооружений должно предваряться комплексом изыскательских работ, включающим визуальные и инструментальные наблюдения за поведением пород в натуральных условиях, статистическую обработку данных, а также моделирование геомеханических процессов, как физическое, так и математическое (численное). Именно при создании модели среды, в которой проводится выработка, важно отнесение пород к той или иной категории устойчивости для корректной увязки результатов лабораторного определения свойств пород, сведений о структурных особенностях пород и наблюдений на участках.

В мировой практике на стадии проектирования, когда отсутствуют практические данные об устойчивости горных пород при проведении выработок, используют рейтинговые классификации массива горных пород, в которых устойчивость массива оценивается в баллах.

Рейтинговые классификации (системы) горного массива – это типизация сложности инженерно-геологических условий месторождения, основанная на комплексной количественной оценке компонентов инженерно-геологических условий, определяющих сложность и их количественные характеристики, которые позволяют достаточно четко выделить благоприятные и не благоприятные участки в горном массиве. То есть количественная оценка устойчивости массива.

В зарубежной практике широко используется система «Рейтинга массива горных пород» (RMR) Бенявского, сопоставляющая различным признакам соответствующее число баллов, сумма которых определяет категорию устойчивости массива. В нем используются

следующие шесть исходных параметров: прочность пород на одноосное сжатие ( $J_{A1}$ ); показатель качества пород RQD ( $J_{A2}$ ); расстояние между трещинами ( $J_{A3}$ ); состояние поверхности трещин ( $J_{A4}$ ); ориентация простирания трещин ( $J_{A5}$ ); наличие подземных водопритоков ( $J_{BВ}$ ). Для каждого параметра заданы градации (интервалы) его изменения, из которых необходимо выбрать соответствующую характеристику оцениваемого массива. Значение индекса RMR определяется как сумма рейтинговых значений:

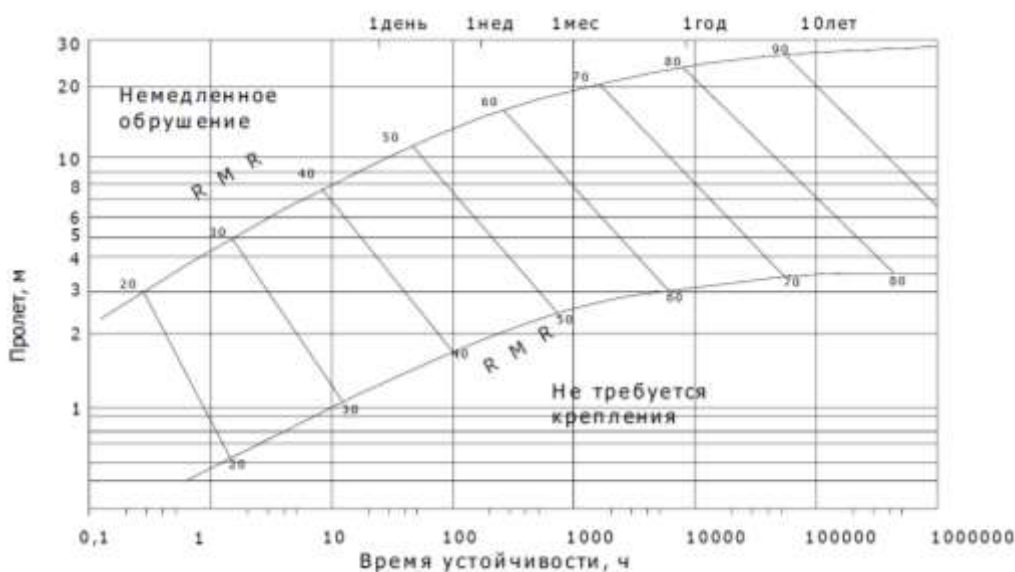
$$RMR = J_{A1} + J_{A2} + J_{A3} + J_{A4} + J_{A5} + J_{BВ} \quad (1)$$

После определения рейтинга по каждому отдельному фактору определяют значения критерия RMR. По величине критерия RMR можно определить устойчивость породного массива, среднее время устойчивого состояния обнажения, а также прочностные показатели породного массива (таблица 4).

**Таблица 4 - Классификация горных пород по показателю RMR**

| Величина критерия RMR | Категория устойчивости | Классификация горных пород по устойчивости | Среднее время устойчивого состояния |
|-----------------------|------------------------|--|-------------------------------------|
| 100 - 81              | I                      | Весьма устойчивые породы                   | 10 лет, пролет до 15 м              |
| 80 - 61               | II                     | Устойчивые породы                          | 6 месяцев, пролет до 8 м            |
| 60 - 41               | III                    | Породы средней устойчивости                | 1 неделя, пролет до 5 м             |
| 40 - 21               | IV                     | Неустойчивые породы                        | 10 часов, пролет до 2,5 м           |
| < 21                  | V                      | Весьма неустойчивые породы                 | 30 минут, пролет до 1 м             |

При применении этой классификации, массив горных пород разделены на число структурных областей, и каждая область имеет свой рейтинговый показатель. В 1989 году З.Бенявский опубликовал комплекс систем крепления для имеющихся диапазонов показателей RMR. На основе классификации и эмпирических данных были созданы графики зависимости времени устойчивости выработок от пролета обнажения по системе RMR (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Соотношение между временем устойчивости, пролетом обнажения по рейтинговым показателям RMR**

На основе анализа большого количества проходческих работ, Бартон в Норвежском геотехническом институте предложил для определения характеристик массива и обоснования выбора крепления использовать «индекс качества массива Q» для проходческих работ. Значение показателя варьируется от 0,001 до 1000 по логарифмической шкале. Меньшее

значение соответствует меньшей устойчивости породного обнажения, в то время как его увеличению говорит о повышении устойчивости породного обнажения.

На сегодняшний день системы Q и RMR – наиболее распространенные во всем мире. Рейтинг Q широко используется в Австралии, Канаде, Индии и Скандинавии, а рейтинг RMR – в Южной Африке и США. Обе системы имеют большое сходство, отличие же заключается в том, что рейтинг RMR непосредственно использует прочность на сжатие, в то время как в Q-системе рассматривается параметр снижения напряжений в массиве (SRF), а также в различных весовых коэффициентах параметров и их использовании.

В связи с тем, что системы Бенявского (RMR) и Бартон (Q) были разработаны для подземного строительства гражданских сооружений, возникла необходимость в разработке специальной классификации, адаптированной к горнодобывающей промышленности.

Для применения классификации RMR к строительству подземных горных выработок в самых различных условиях возникла необходимость ее корректировки и дополнения. Лобшир, ввел систему «горного рейтинга массива горных пород», которая базируется на RMR, но в нее были также внесены дополнительные поправочные коэффициенты: параметр влияния взрывных работ, изменение напряженного состояния породного массива и параметр нарушенности. Схема к определению рейтингового показателя массива на основе этой геомеханической классификации показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Алгоритм к определению рейтингового показателя MRMR по классификации Д.Лобшира

Количественные рейтинги (RMR и MRMR) позволяют определить основные технологические схемы и параметры крепления подземных выработок, однако, как указывалось выше, значения геомеханических параметров в различных горнотехнических условиях могут значительно отличаться.

Только сравнительно недавно, примерно с середины 2000-х гг., рейтинговые классификации стали находить свое применение на рудниках стран СНГ.

Наиболее системно рейтинговые показатели использованы Хоеком и Брауном (Ноек-Браун) для применения эмпирической теории прочности в геомеханических расчетах. Этот критерий прочности очень популярен в геомеханических исследованиях стран Европы, Северной Америки и Австралии. Основной идеей разработки эмпирического критерия Хоека-Брауна является то, что авторы указывают на необходимость корректного перехода от свойств лабораторного образца к свойствам породного массива.

Классификация GSI все время совершенствуется в зависимости от запросов, вытекающих из практики проектирования. Так, в одном из последних исследований Хоека предложено определять индекс GSI по формуле:

$$GSI = 1,5 \cdot JCond_{89} + \frac{RQD}{2}, \quad (2)$$

где  $JCond_{89}$  – рейтинг горной породы (таблица 5);  
 $RQD$  – показатель качества горной породы.

Параметр рейтинговой классификации трещиноватости горных пород  $JCond_{89}$  определяется в соответствии с методикой Международного общества по механике горных пород (International Society for Rock Mechanics – ISRM), показатели в баллах приведены в таблице 5:

$$JCond_{89} = JA4 = JA41 + JA42 + JA43 + JA44 + JA45 \quad (3)$$

**Таблица 5 – Определение показателя  $JCond_{89}$  согласно рейтингу горной породы по Бенявскому от 1989 г.**

|                      |  |  |  |   |  |
|----------------------|--|--|--|---|--|
| Состояние трещины    | Очень шероховатая поверхность, раскрытие трещины отсутствует, без следов выветривания стенок трещины | Слегка шероховатая поверхность, раскрытие трещины менее 1 мм, незначительные следы выветривания стенок трещины | Слегка шероховатая поверхность, раскрытие трещины менее 1 мм, значительные следы выветривания стенок трещины | Гладкая или скользкая поверхность или заполнение трещины другой породой толщиной до 5 мм или раскрытие трещины от 1 до 5 мм | Заполнение трещины слабой породой толщиной более 5 мм или раскрытие трещины более 5 мм |
| Рейтинг $JCond_{89}$ | 30   | 25   | 20   | 10  | 0  |

Показатель  $RQD$  определяется на основании изучения керна породы, извлекаемого из скважины. Если такие данные отсутствуют, что встречается достаточно часто на тех производствах, где в программу инженерно-геологических испытаний не включены требования по определению данного показателя, можно воспользоваться эмпирическими методиками для его определения. В работе предложена методика определения показателя  $RQD$  через показатель, который характеризует интенсивность трещиноватости:

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1) \quad (4)$$

где  $\lambda$  – среднее количество трещин на 1 метр длины породного массива.

Индекс GSI также оценивается по классификационной диаграмме Хоека-Брауна, значения которого изменяется от 0 до 100. На рисунке 3 приведена диаграмма определения значения GSI в зависимости от структуры породного массива и состояния трещин, в которой горизонтальная ось определяется значениями  $1,5 \cdot JCond_{89}$ , а вертикальная ось – значениями  $RQD/2$ . Геологический индекс прочности GSI будет считаться однородным и изотропным в случае, если исключить последние две категории структуры массива, поэтому в обновленной классификационной таблице индекса GSI имеются только 4 категории структуры массива.

Основная значимость геологического индекса прочности GSI заключается в том, что он, являясь параметром, характеризующим влияние трещиноватости, дает возможность

учесть основные свойства трещиноватого массива горных пород. Использование GSI вместе с методами численного моделирования позволяет более обоснованно подойти к геомеханической оценке устойчивости массива горных пород.

Классификация на основе индекса GSI на сегодняшний день является наиболее используемой международной системой классификации горных пород.

В результате проведения ряда геотехнологических исследований по обоснованию параметров устойчивости массива горных пород коллективом ППС НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» разработана методика численного исследования НДС массива горных пород в соответствии с рейтинговой классификацией. В основе численного анализа лежит численный метод конечных элементов (МКЭ), реализация которого осуществляется с помощью программного комплекса Phase2. Структура методики представлена на рисунке 3.

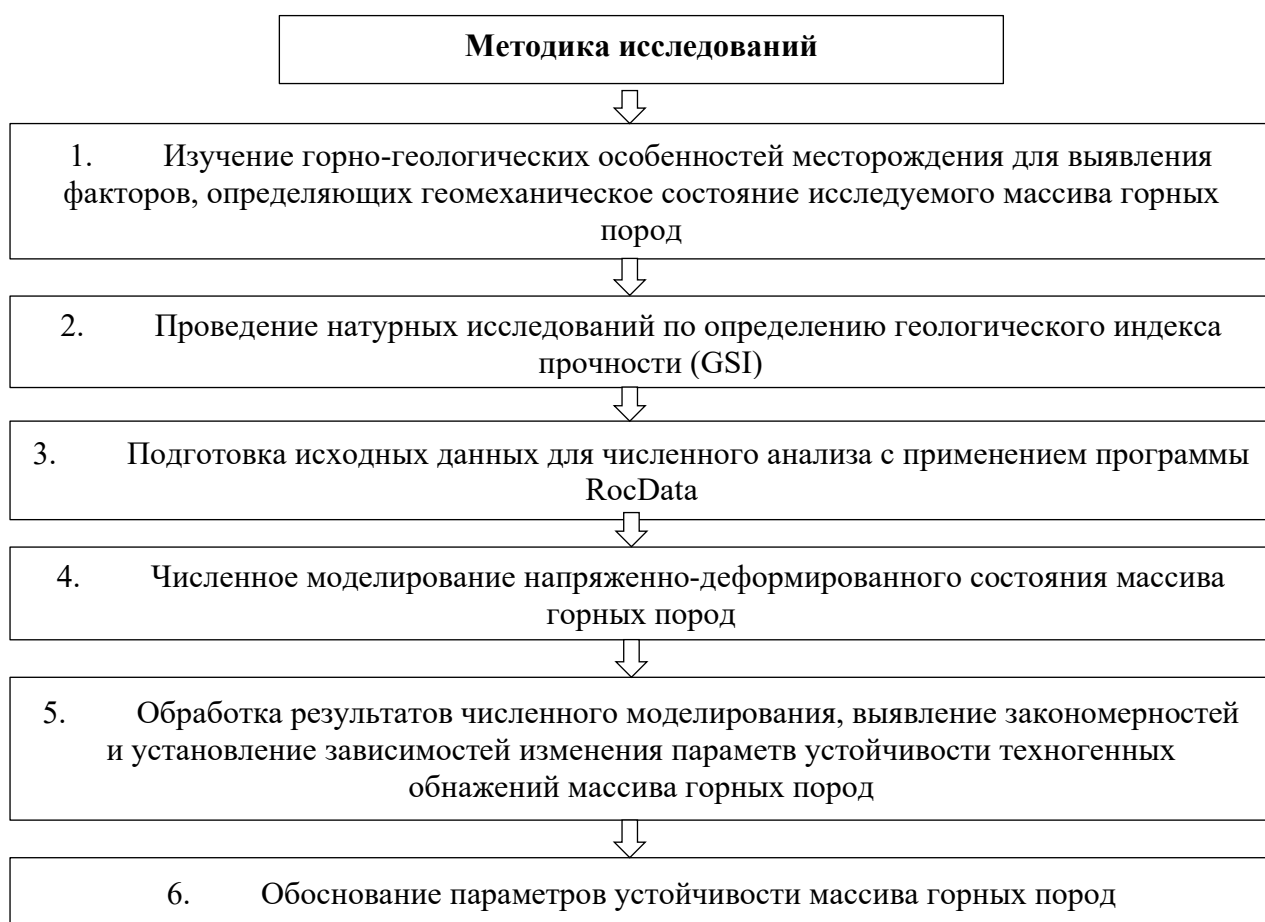


Рисунок 3 - Структура методики численного исследования НДС массива горных пород

Предлагаемая методика исследований основана на анализе горно-геологической и горнотехнической информации, результатах шахтных инструментальных измерений по определению геологического индекса прочности GSI и численном моделировании НДС массива горных пород методом конечных элементов. Далее представлены этапы выполнения исследования по этой методике.

На первом этапе исследований проводится анализ горно-геологических условий и изучаются горнотехнические особенности разработки месторождения для выявления факторов, определяющих геомеханическое состояние массива горных пород.

На втором этапе проводятся комплексные натурные исследования по определению значения геологического индекса прочности GSI, которые включают в себя съемку трещиноватости для выявления параметра рейтинговой классификации трещиноватости горных

пород  $JCond_{89}$  и измерения керна геологоразведочных скважин для определения показателя качества горной породы RQD.

*Третий этап* – подготовка исходных данных для численного анализа НДС исследуемого массива горных пород. Исходные данные включают в себя геометрические характеристики и горно-геологические условия заложения выработки, прочностные свойства горных пород, сведения о структурах породного массива и состояниях трещин, а также о техногенном влиянии на массив горных пород конкретного месторождения.

Таким образом, предложенная методика исследования НДС массива горных пород, основанная на использовании систем оценки качества геологической среды вместе с методом численного моделирования позволяет более обоснованно подойти к геомеханической оценке устойчивости массива горных пород и позволит:

- оперативно и своевременно предоставлять информацию о НДС массива горных пород в различных производственных ситуациях;
- на каждом этапе эксплуатации техногенных обнажений предоставлять сведения об опасных участках для разработки рекомендаций по выбору способов и средств охраны горных выработок;
- применять обоснованные параметры техногенных обнажений, тем самым обеспечивая их устойчивость и повышая безопасность ведения горных работ;
- используя широкие возможности МКЭ, моделировать горные выработки любой формы поперечного сечения, зоны обрушенных и уплотненных пород, элементы крепления выработок, задание внешней нагрузки в любой форме и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Уфатова З. Г., Керимова С. Н., Люфт Е. Д. Применение контурного взрывания при подземном строительстве горных выработок и добыче руд // Культура. Наука. Производство. 2019. № 4. С. 36–39.
2. Ржевский В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. М.: Недра, 1975. 574 с.
3. Костюкович Н. И., Самолазов А. В. Перспективная линейка отечественных карьерных гидравлических экскаваторов производства ОАО «Уралмашзавод» // Горная промышленность. 2015. № 2. С. 32–34.
4. Трепко Л.А., Стратегия развития угольной отрасли. Проблемы и пути их решения // Уголь. - Москва, 2016. - № 3. С. 36-40
5. Москаленко Т.В. Метод применения алгоритма управления качеством угля (по данным детальной разведки). Ин-т горного дела Севера СОРАН. -Якутск, 2017. - 43 с.
6. Фомин С. И., Пасынков Д. В., Семенов А. С. Оценка эффективности принятия проектных решений // Современные проблемы горной науки: сб. научных трудов. СПб: СПГИ (ТУ), 2009. С. 12–15.



## МОНИТОРИНГ ПРОСАДОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ШАХТАХ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ РАДАРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

ЧЖАО ЖОНАНЬ

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** Китай - вторая по величине энергопотребления страна в мире, с обильными общими ресурсами, но низким уровнем потребления на душу населения, и уголь, как один из важнейших источников энергии в Китае, имеет особое стратегическое значение. И крупномасштабная добыча угля привела к ряду негативных последствий на основе удовлетворения потребностей экономического развития. Проседание грунта, оседание, деформация и обрушение зданий, вызванные добычей, серьезно угрожают безопасности жизни и имущества людей в районах добычи, поэтому долгосрочный и эффективный мониторинг проседания грунта в районах добычи имеет большое теоретическое и практическое значение для предотвращения и смягчения последствий катастроф. Радар с синтезированной апертурой (InSAR), как новая технология наблюдения из космоса на землю, стал горячей точкой исследования в области мониторинга оседания грунта в шахтах благодаря своей высокоточной возможности мониторинга деформации поверхности.

**Ключевые слова:** интерферометрия радара с синтезированной апертурой, мониторинг шахт, деформация поселений, добыча, уголь.

## MONITORING OF SUBSIDENCE DEFORMATIONS IN MINES USING SYNTHETIC APERTURE RADAR INTERFEROMETRY

ZHAO ZHONAN

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** China is the world's second largest energy-consuming country, with abundant total resources but low per capita, and coal, as one of China's most important sources of energy, is particularly important in its strategic position. And large-scale coal mining has caused a series of negative impacts on the basis of meeting the needs of economic development. Ground subsidence, subsidence, building deformation and collapse caused by mining seriously threaten the safety of people's lives and properties in mining areas, so the long-term and efficient monitoring of ground subsidence in mining areas is of great theoretical and practical significance for disaster prevention and mitigation. Interferometric synthetic aperture radar (InSAR), as a new space-based earth observation technology, has become a research hotspot in the field of mine subsidence monitoring because of its high-precision surface deformation monitoring capability.

**Keywords:** Interferometric Synthetic aperture radar (SAR) techniques, mine monitoring, settlement deformation, mining, coal.

Актуальность и значение мониторинга шахт. Как важный стратегический источник энергии с крупнейшими в мире запасами, широчайшим распространением и высочайшей рентабельностью, уголь играет незаменимую роль в продвижении процесса глобализации [1]. Развитие угольной промышленности также внесло большой вклад в процесс урбанизации и согласованное развитие региональной экономики в Китае. Однако наряду с широко масштабной эксплуатацией угольных ресурсов экологические проблемы также привели к

серьезным вызовом устойчивому развитию региона. В Китае 95% угля добывается под землей, и геологический дефицит, вызванный подземной добычей, привел к многочисленным экологическим проблемам и геологическим катастрофам [2-3], особенно к оседанию поверхности, вызванному добычей угля. В начале XXI века ученые исследовали и обнаружили, что площадь пустых территорий, вызванных подземной добычей, в Китае составляет более 7000 квадратных километров, а экономические потери достигают 50 миллиардов юаней [4-5], особенно в некоторых ресурсных городах, экологические затраты и экономические потери более серьезны, особенно в некоторых ресурсных городах, экологические издержки и экономические потери более серьезны.

В последние годы, с постоянным увеличением интенсивности и масштабов добычи, площадь проседания грунта в горнодобывающей зоне также увеличивается, а свободных строительных и сельскохозяйственных земель в горнодобывающей зоне становится все меньше и меньше, что значительно ограничивает экономическое развитие горнодобывающей зоны. Геологические катастрофы и повреждения наземных зданий, вызванные добычей угля, привлекают широкое внимание, и большое практическое значение имеет проведение долгосрочного и эффективного мониторинга проседания грунта в горнодобывающих районах, понимание закона проседания грунта во времени, глубокое исследование механизма и факторов влияния проседания грунта в горнодобывающих районах, что имеет большое значение для обеспечения важных данных принятия решений для оценки катастроф и раннего предупреждения горнодобывающих районов.

#### **Методы горных измерений**

В настоящее время в мониторинге поверхностных оседаний в горнодобывающих районах преобладают традиционные методы мониторинга на местности и традиционные измерительные приборы, в основном широтно-долготные и тахеометрические измерения, GPS, измерения трехмерной сканерной системой и т.д. [6]. Однако с расширением области применения мониторинга поверхностных поселений все более заметными становятся недостатки традиционных методов измерений, которые проявляются в следующем:

1. Для того чтобы правильно выбрать высоту в точку отсчета, при традиционном измерении уровня необходимо проложить сеть в градуированном виде, и необходимо перепроверять сеть контроля уровня перед каждым наблюдением поселения, что требует большого объема работы, длительного периода наблюдения и высокой стоимости потребления;

2. GPS, несмотря на высокое временное разрешение и высокую точность мониторинга, ограничивается только сбором данных по характерным точкам. Хотя GPS имеет высокое временное разрешение и высокую точность мониторинга, он ограничен сбором данных о характерных точках, поэтому пространственное разрешение низкое, а охват небольшой.

Для глубокого изучения закономерностей деформации поверхности в районах добычи полезных ископаемых необходимо использовать новые методы комплексного и высокоточного мониторинга. Интерферометрия радара с синтезированной апертурой (InSAR) может быть применена для мониторинга долгосрочных медленных деформаций поверхности. Она использует фазовую информацию разновременных комплексных радиолокационных изображений со спутников дистанционного зондирования для выделения деформации поверхности, и ее точность может достигать миллиметрового уровня, с непрерывным пространственным покрытием, высокой степенью автоматизации и высокоточным мониторингом деформации поверхности, что обеспечивает новый метод для мониторинга деформации поверхности.

#### **Вывод**

По сравнению с традиционными GPS и измерениями уровня, технология InSAR имеет больше преимуществ в мониторинге оседания поверхности и деформации горнодобывающего района. Технология InSAR имеет высокую плотность выборки, хорошую пространственную непрерывность и не требует создания наземной обсерватории, а по сравнению с другими инструментами мониторинга деформации, технология InSAR имеет меньше

точек развертывания, поэтому она может контролировать большую площадь горнодобывающего района. По сравнению с другими инструментами мониторинга деформации, технология InSAR имеет меньшее количество точек развертывания и может контролировать большую площадь горных работ. Она может быть близка к динамическому мониторингу в реальном времени и имеет несравнимые преимущества с GPS и другими технологиями, что может составить техническое дополнение к GPS. Поэтому углубленное изучение технологии InSAR для мониторинга оседания грунта в горнодобывающих районах может эффективно предотвратить и уменьшить возникновение геологических катастроф.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 李瑞峰.我国煤炭供需形势, 煤炭生产和布局结构优化分析—关于“十二五”煤炭工业发展有关问题探讨[J].煤炭工程, 2009(B 11):I0004-I0006.
2. 胡海峰,廉旭刚,蔡音飞,张凯. 山西黄土丘陵采煤沉陷区生态环境破坏与修复研究[J].煤炭科学技术, 2020, 48(04): 70-79.
3. 刘英,雷少刚,等.神东矿区植被覆盖度时序变化与驱动因素分析及引导恢复策略[J]. 煤炭学报, 2021, 46(10): 3319-3331.
4. 郭力方.“十二五”煤炭发展雏形初现[N].中国能源报, 2010-11-05(5).
5. 李连济.我国煤炭城市采空塌陷灾害及防治对策研[R]. 太原:山西省社科院, 2004.
6. Zhou D, Wu K, Chen R. GPS/terrestrial 3D laser scanner combined monitoring technology for coal subsidence: a case study of a coal area in Hebei, China[J]. Natural Hazards, 2014, 70(2): 1197-1208.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЖИДАЕМЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

КАМЗИНОВ Н.

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда

**Аннотация.** В данной статье прогноз ожидаемых нагрузок проводится методом граничных интегральных уравнений с поэтапным нагружением горных пород. Сущность данного метода заключается в том, что процесс проведения горной выработки моделируется образованием отверстия в ненарушенной плоскости. Это эквивалентно искажению первоначального напряженного состояния массива в результате релаксации горных пород на контуре горной выработки, т.е. проведение выработки, моделируется дополнительным нагружением массива.

**Ключевые слов:** порода, контур, разрушения, выработка, вруб, параметры горных выработок, расчет.

## A METHOD FOR DETERMINING EXPECTED LOADS FOR IMPROVING MINE WORKINGS

KAMZINOV N.

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda

**Annotation.** In this article, the forecast of expected loads is carried out by the method of boundary integral equations with phased loading of rocks. The essence of this method lies in the fact that the process of mining is modeled by the formation of a hole in an undisturbed plane. This is equivalent to a distortion of the initial stress state of the massif as a result of relaxation of rocks on the contour of the mining, i.e., mining is modeled by additional loading of the massif.

**Keywords:** rock, contour, destruction, mining, in rub, parameters of mine workings, calculation.

**Введение.** Задача распределения напряжений и деформаций решается методом граничных интегральных уравнений, так как по сравнению с другими методами при его использовании сокращается объем используемой памяти ЭВМ, уменьшается время расчетов [4].

Нелинейность процесса формирования зоны разрушения учитывается тем, что дополнительное нагружение разбивается на ряд этапов. На каждом этапе нагружения находится напряженно-деформированное состояние упругого массива с переменной внутренней границей. На первом этапе последней является контур выработки. На последующих этапах – контур зоны разрушения, возникающий на предыдущем этапе. При этом на каждом этапе нагружения, на внутреннем контуре напряжения сохраняют значения, достигнутые на предыдущем этапе нагружения, т.е. принимается, что породы в УЗНД в процессе дальнейшего нагружения не оказывают сопротивления деформации упругой части массива. Таким образом, на каждом дальнейшем этапе нагружения дополнительные упругие смещения на внутренней границе упругой части массива происходят без сопротивления, как для неподкрепленного контура. В то же время накопленные на предыдущих этапах смещения остаются неизменными.

На каждом этапе нагружения решается упругая задача методом граничных интегральных уравнений (ГИУ) и определяются зоны разрушения.[4]

Численный анализ напряженного состояния в заранее заданном конечном числе точек в окрестности выработки дает возможность определять значения параметра нагружения, при котором выполняется одно из условий перехода в неупругое состояние.

На каждом из этапов нагружения строится контур зоны, в пределах которой породы находятся в неупругом состоянии.

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 [5].

Этим требованиям наиболее полно отвечает численный метод поэтапного (последовательного) нагружения горных пород для определения зон разрушения вокруг техногенных обнажений. Выбор данного метода обосновывается следующим:

- простота подготовки данных;
- возможность графической интерпретации;
- возможность изменения прикладной программы;
- большой опыт применения, как на шахтах Карагандинского бассейна, так и на рудниках «Жолымбет», «Бестобе», а также хорошая сходимость данных с результатами натуральных наблюдений [6].

Построение контура зоны неупругих деформаций. Процесс определения зон неупругих деформаций осуществляется поэтапно: вначале устанавливается минимальная нагрузка на массив, при которой проявляется з.н.д. вокруг выработки, а затем последующее нагружение разбивается на ряд этапов. На каждом из этапов нагружения строится контур зоны, в пределах которой породы находятся в неупругом состоянии. Имея в виду, что процесс определения з.н.д. численный, необходимо дискретизация решения [6].

Данный процесс практически реализуется следующим образом.

Как было отмечено выше, определения напряжений и деформаций вокруг выработки осуществляются поэтапно численным методом. На каждом этапе нагружения решается упругая задача методом граничных интегральных элементов, который в данном случае является наиболее эффективным по причине непредсказуемой сложности промежуточных контуров зоны разрушения в процессе нагружения. На всех этапах нагружения осуществляется оценка достигнутого напряженно-деформированного состояния упругого массива с помощью принятых критериев прочности и переменной внутренней границы. Численный вариант не ограничивает количество критериев разрушения, поэтому используются одновременно и сдвиговой (Кулона-Мора) и разрывной (наибольшие деформации растяжения) критерии [2].

На первом этапе переменной внутренней 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 нагружения, 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 то же время накопленные на предыдущих этапах смещения этого контура сохраняются неизменными.

В процессе моделирование координаты контура разрушения вокруг выработки определяются на основании информации о напряженно-деформированном состоянии массива. 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, расположенных в строго определенном порядке. Все исследуемые точки располагаются на лучах, исходящих из середины участков на фиксированном расстоянии друг от друга.

Это расстояние называется шагом просмотра. Направление ориентации лучей должно выполнять требование, что совокупность лучей должна представлять расходящуюся систему с равномерным охватом массива. Изображение, которого показано на рисунке 1, где  $n$  – количество участков (сторон) многоугольника,  $m$  – количество лучей [5].

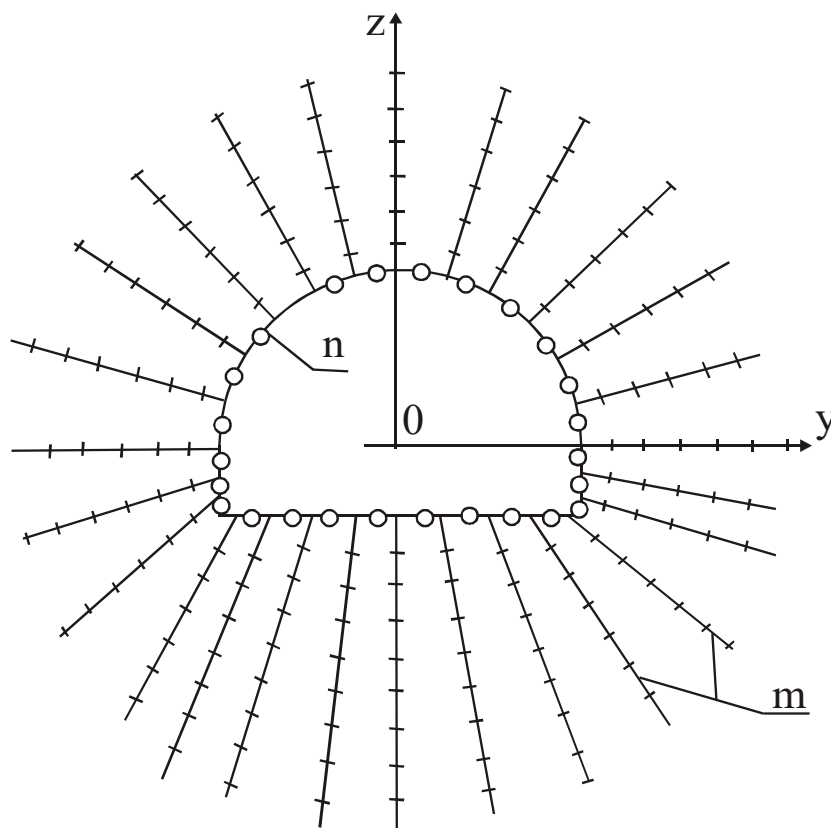


Рисунок 1 – Схема расположения участков на контуре выработки

На каждом этапе нагружения исследование начинается с первого по порядку луча, с первой, удаленной на один шаг просмотра точки на этом луче. Вычисляются на этом луче напряжения, соответствующие данному этапу нагружения.

Для определения зоны разрушения вокруг выработки были использованы следующие параметры:

**Таблица 1. Исходные данные для моделирования**

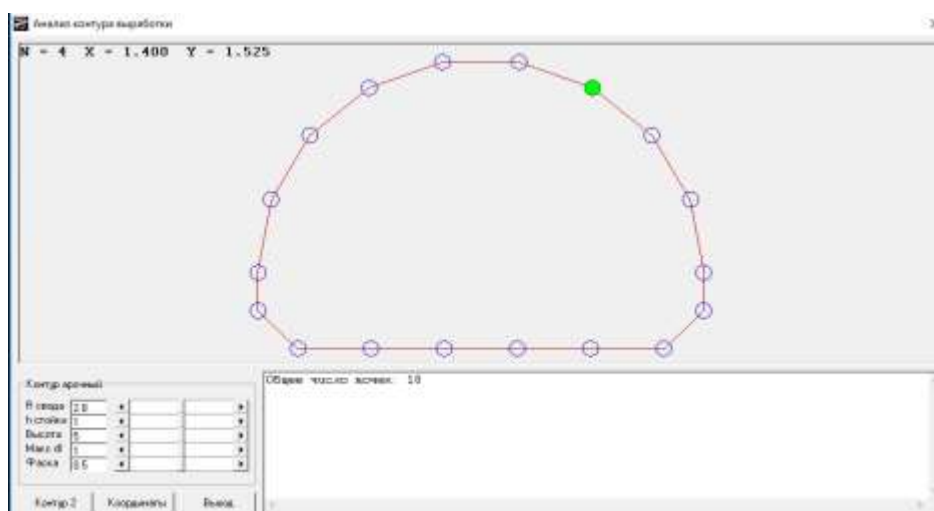
| Исходные данные                       | сбойка | бремсберг |
|---------------------------------------|--------|-----------|
| 1                                     | 2      |           |
| Высота выработки, м                   | 3400   | 3650      |
| Глубина залегания, м                  | 600    | 550       |
| Угол внутреннего трения горных пород: |        |           |
| - левролит:                           | 35     | 35        |
| - аргиллит:                           | 33     | 33        |
| - песчаник:                           | 29     | 29        |
| - уголь                               |        |           |
| Объемный вес пород:                   |        |           |
| - алевролит:                          | 1,5    | 1,5       |
| - аргиллит:                           | 1,4    | 1,4       |
| - песчаник:                           | 2      | 2         |
| - уголь:                              | 1,6    | 1,6       |
| Сопротивление на сжатие, МПа:         |        |           |
| - алевролит:                          | 42     | -         |
| - аргиллит:                           | 32     | 30        |
| - песчаник:                           | 55     | -         |
| - уголь:                              | -      | 18        |

В качестве изменяющихся параметров при расчете различных вариантов принята прочность на растяжение вмещающих горных пород ( $\sigma_p$ ) и сцепление горных пород ( $K$ ).

Ввод данных для моделирования осуществляется в виде так называемых блоков управления программой.

1 блок. Здесь записываются в следующей последовательности данные: 30 - количество узлов (участков), 1 - количество слоев, 4 - количество этапов, 100 - количество точек на луче,  $S_x$   $S_y$   $t_{xy}$  - напряжения на бесконечности в долях  $\gamma H$  (1.00; 1.00; 0.00),  $\mu$  - коэффициент Пуассона (0.25),  $\alpha_s$  - угол наклона слоев (0.00),  $m$  - шаг просмотра (0.10) - всего 10 чисел. Числа вводятся как в целом, так и в вещественном виде. Между числами должны быть пробелы. Всего 10 значений [1].

2 блок содержит информацию о массиве координат узлов. Координаты задаются в последовательности возрастания номеров узлов. В каждой строке приводятся сведения о координатах 5 узлов (10 чисел). Между числами должны быть пробелы. Последняя строка, если она не заполнена координатами дополняется до 10 чисел нулями.



**Рисунок 2 – Определение формы выработки и количества точек разбиения**

Для удобства ввода координат разработана специальная программа KonturMac 2.2 позволяющая разбить исследуемый контур выработки на равномерные участки с возможностью введением фасок по углам (см. рисунки 2-3).

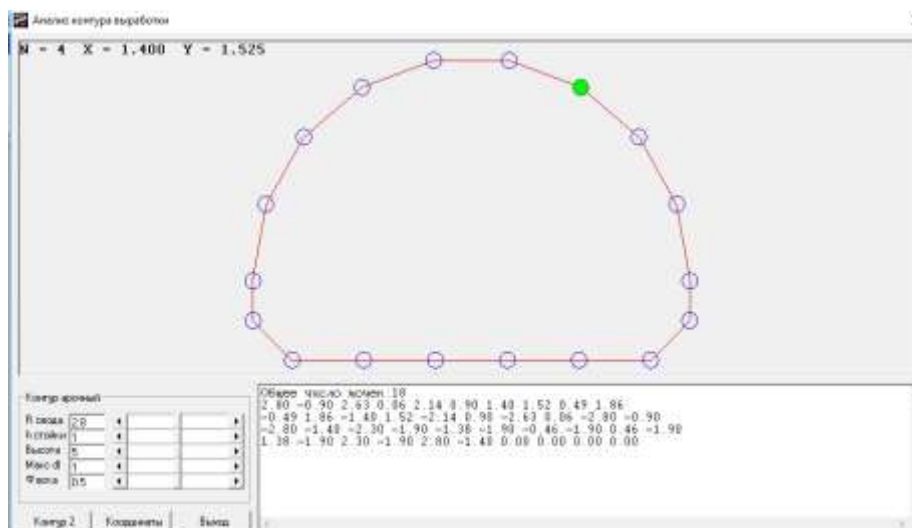


Рисунок 3 – Длина и высота выработки, угол наклона, расчет координат точек разбиения

3 блок. Вводится массив углов, показывающих направление лучей просмотра. Углы, задаются в градусах. Углы также располагаются, начиная с первого луча в порядке следования номеров. Номер луча соответствует номеру участка. Номер участка считается по номеру граничного узла, встречающегося первым при обходе контура против хода часовой стрелки. Исследование начинается с первого по счету луча, с первой, удаленной на один шаг просмотра, точки на каждом луче. Вычисляются в этой точке напряжения, соответствующие данному этапу нагружения. Затем осуществляется проверка условий прочности, и данная операция повторяется для следующей точки (а по окончании точек на луче - для точек следующего луча) до тех пор, пока не будут просмотрены все точки на лучах [5].

4 блок – координаты слоев и физико-механические свойства вмещающих пород.

После данных о направлениях лучей следуют строки с информацией о прочностных свойствах слоев и их расположении. Информация об одном слое располагается на одной строке, т.е.- количество строк равно количеству слоев. В строке, записывается 5 чисел в следующей последовательности:  $u_s$  - координата пересечения кровли слоя с осью  $Y$ ,  $scc$  - величина сцепления, выраженная в долях  $\gamma_H$ ,  $tfs$  - тангенс угла внутреннего трения,  $gras$  - прочность пород слоя на растяжение, выраженная в долях  $\gamma_H$ ,  $кpo$  - количество плоскостей ослабления в пределах данного слоя. При отсутствии плоскостей ослабления ( $кpo = 0$ ) за строкой с данными о слое следует строка для следующего слоя. Последовательность записи - в порядке следования слоев снизу-вверх. Если  $кpo > 0$ , то за строкой данных о слое следуют строки с данными о плоскостях ослабления. Данные в каждой строке располагаются в следующем порядке:  $a$  - угол наклона плоскости ослабления к оси  $X$ ,  $C$  - сцепление в долях  $\gamma_H$  на плоскости ослабления,  $tfi$  - тангенс угла внутреннего трения на плоскости ослабления,  $k$  - прочность на растяжение на плоскости ослабления в долях  $\gamma_H$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Паспорт выемочного участка лавы 42К10-в. УД АО «Арселор Миттал Темиртау». Шахта им. Т.Кузембаева, 2017. – 35с.
2. Бекман П.И. Геология Карагандинского угольного бассейна. – М.: Недра, 1985. – 128с.
3. Карагандинский угольный бассейн: справочник / под общ. ред. а.а.бойко, б.н.лернера. : справочное издание / ред. А.А. БОЙКО. - М. : Госгортехиздат, 1962. - 368 с



4. Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Нуждихин А.Г. Крепления капитальных и подготовительных горных выработок: Справочник/ – М; Недра, 1989 г.
5. Булычев Н.С. , Фотиев Н.Н. , Стрельцов Е.В., Проектирование и расчет крепи капитальных выработок. – М.: Недра.1989ж.
6. Сечения горных выработок с крепью из взаимозаменяемого профиля для условий Карагандинского бассейна. Типовые материалы для проектирования 401-011-97.92. – Караганда: Карагандагипрошахт, 1992. – 188 с.

УДК 622.272

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПО ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ПОДЗЕМНЫХ ОЧИСТНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

ВАЛИЕВ Н. Г., САВЕНКОВ А. А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье описан и проанализирован опыт проектирования очистных горных работ с помощью специализированного программного обеспечения «Blast Maker Underground» на Майском месторождении.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, 3D-моделирование, проектирование горных работ, очистные горные работы, подземные горные работы, потери, засорение.

**THE USE MODERN SOFTWARE IN THE DESIGN OF UNDERGROUND  
MINING OPERATIONS**

VALIEV N. G., SAVENKOV A. A.

Ural State Mining University, Yekaterinburg

**Abstract.** The article describes and analyzes the experience of designing of mining operations with the help of specialized software "Blast Maker Underground" at Mayskoye deposit.

**Keywords:** software, 3D modeling, mining design, clearance mining, underground mining, losses, dilution.

В настоящее время невозможно представить работу горнодобывающих предприятий без использования современных САПР и ГГИС.

Внедрение современного программного обеспечения позволяет ещё на стадии планирования и проектирования влиять на показатели потерь и разубоживания. Так как очистные работы являются одним из ключевых процессов при добыче полезных ископаемых. Буровзрывные работы являются одним из тех процессов, на которые предприятия могут оказывать оперативное влияние для улучшения технико-экономических показателей [1].

В данной статье описан опыт использования программного обеспечения Blast Maker Underground для проектирования подземных очистных горных работ на Майском месторождении.

В рамках работы были проанализированы показатели проектной и фактической отбойки на предприятии до и после введения Blast Maker Underground.

Обзор функционала программного обеспечения

ПО Blast Maker Underground (BMU) предназначено для составления проектов на бурение и взрыв для подземных горных работ, ведения базы данных и оптимизации процесса составления паспортов БВР [2].

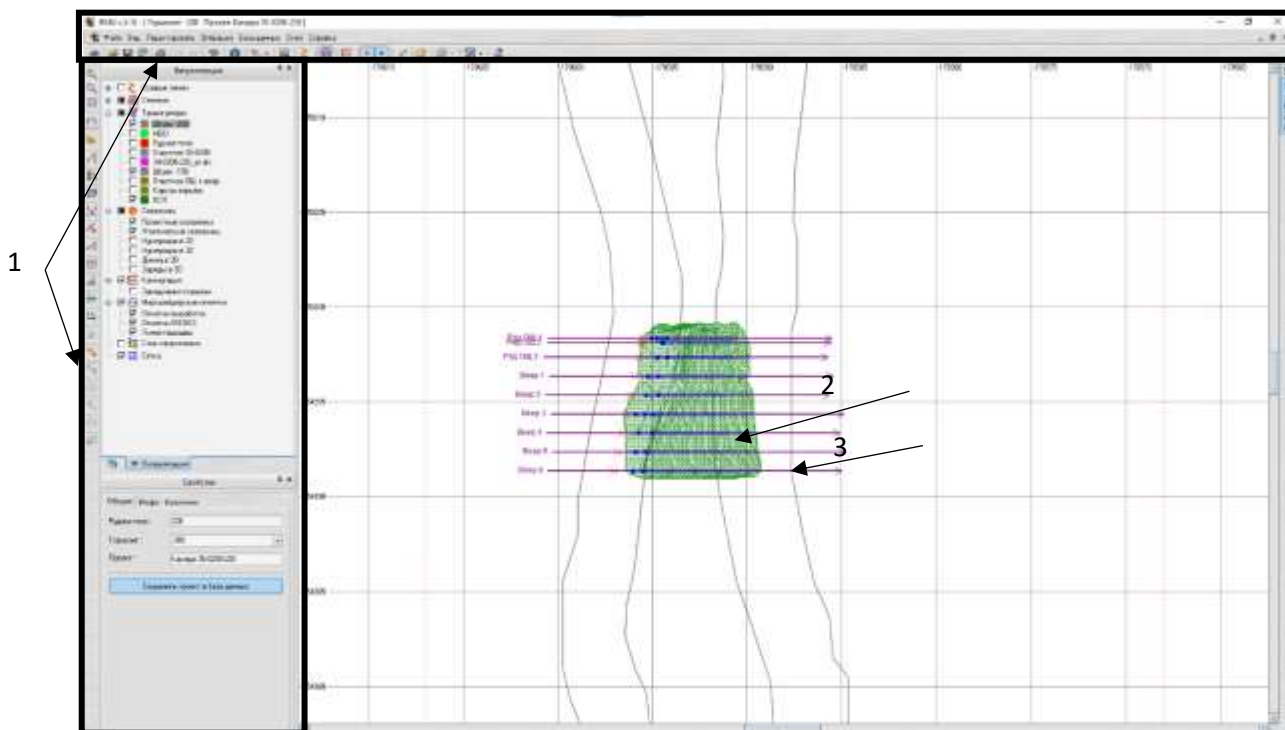
Программой предусмотрено ведение базы данных с данными о взрывчатых веществах и их характеристиках, детонаторах и замедлителях при короткозамедленном взрывании, используемых на предприятии. В базе данных также указываются габариты буровых установок и шаблоны отрезных щелей и восстающих.

Исходными данными для начала проектирования являются каркасы (3D модели) горных выработок и рудных тел в формате .dm и геологическая блочная модель. Также в программе есть возможность использования геомеханической блочной модели.

В Blast Maker Underground есть возможность автоматического и ручного построения взрывных скважин. Программой предусмотрено определение возможности размещения буровой установки и податчика в выработке.

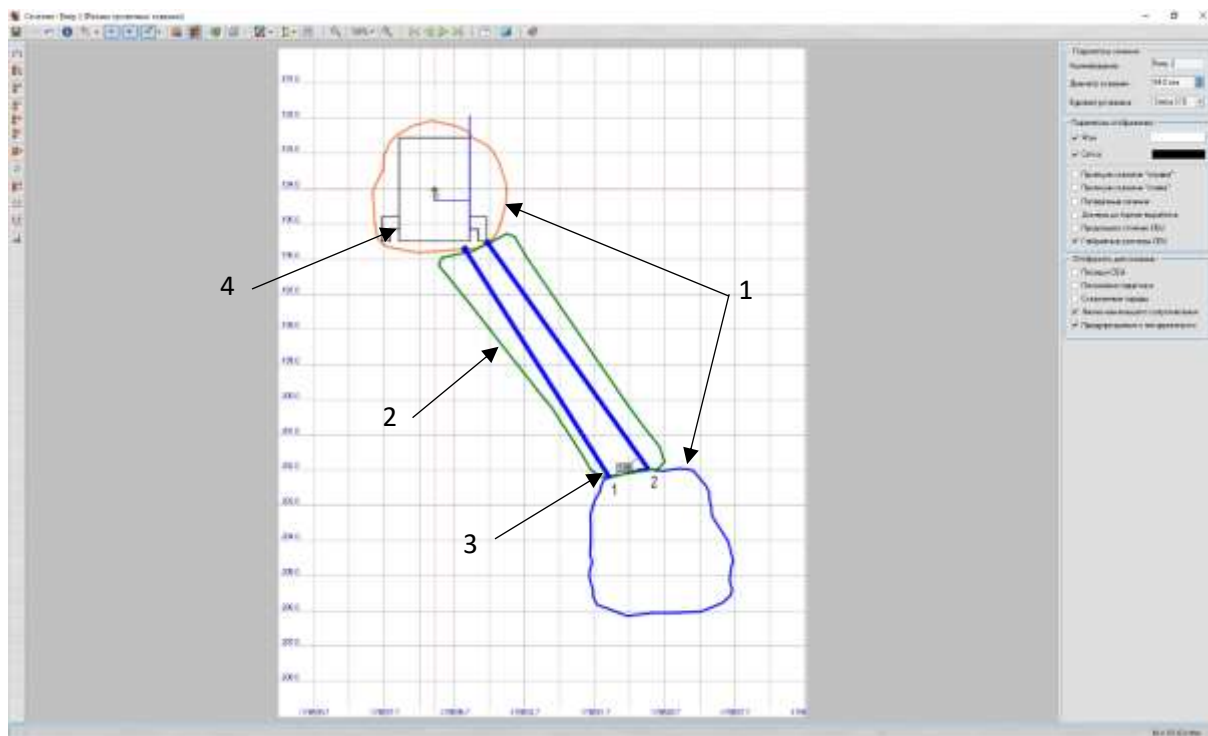
Помимо проектирования скважин в программе присутствует возможность проектировать коммутационную сеть.

Выходными данными проектирования являются 3D модель очистного пространства и технико-экономические показатели буровзрывных работ.



**Рис. 1 Проект в Blast Maker Underground вид в плане**

1 – панель инструментов; 2 – смоделированный контур очистного пространства; 3 – линии сечений вееров



**Рис. 2 Проект в Blast Maker Underground вид в сечении**

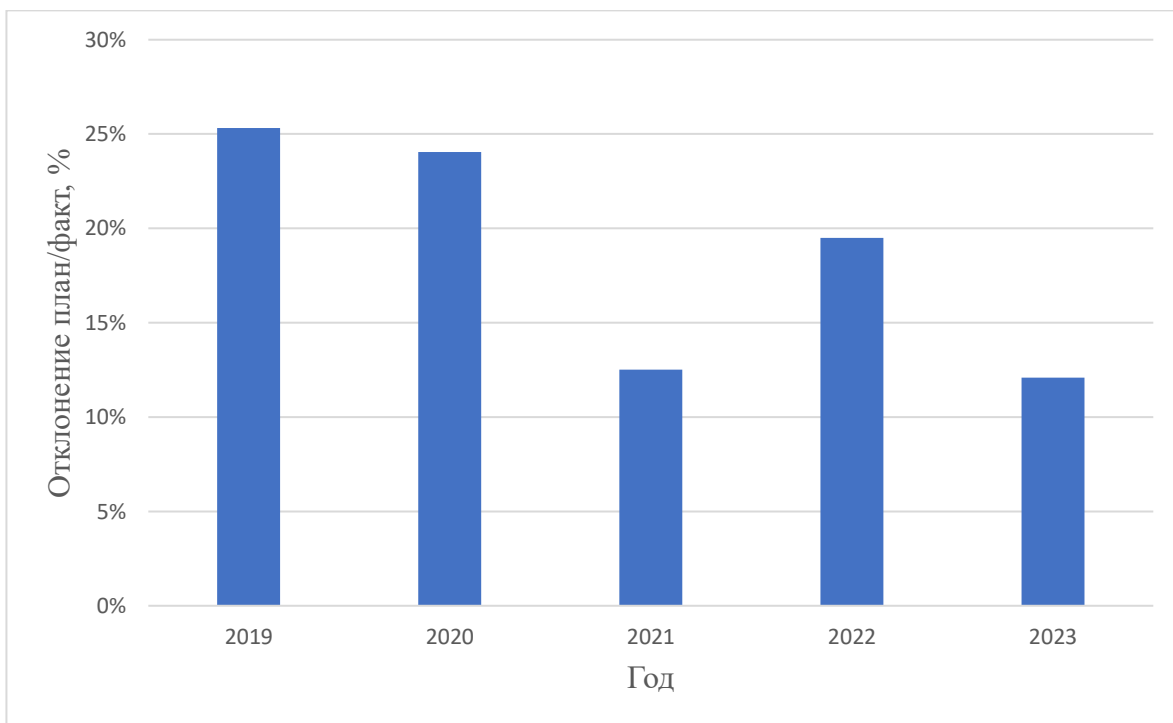
1 – фактические горные выработки; 2 – смоделированный контур очистного пространства; 3 – проектные скважины; 4 – габариты буровой установки

#### Использование ПО Blast Maker Underground на предприятии

До внедрения на предприятии ВМУ прогнозирование контура отбойки и его построение в 3D происходило вручную с помощью программного обеспечения Datamine Studio UG. Внедрение ВМУ позволило автоматизировать процесс построения контура отбойки, а также сократило трудозатраты на проектирование буровзрывных работ.

Был выполнен анализ таких производственных показателей, как отклонение проектных объёмов камер от фактических, общее засорение и потери в камерах, за период с 2019 г. по 2024г.

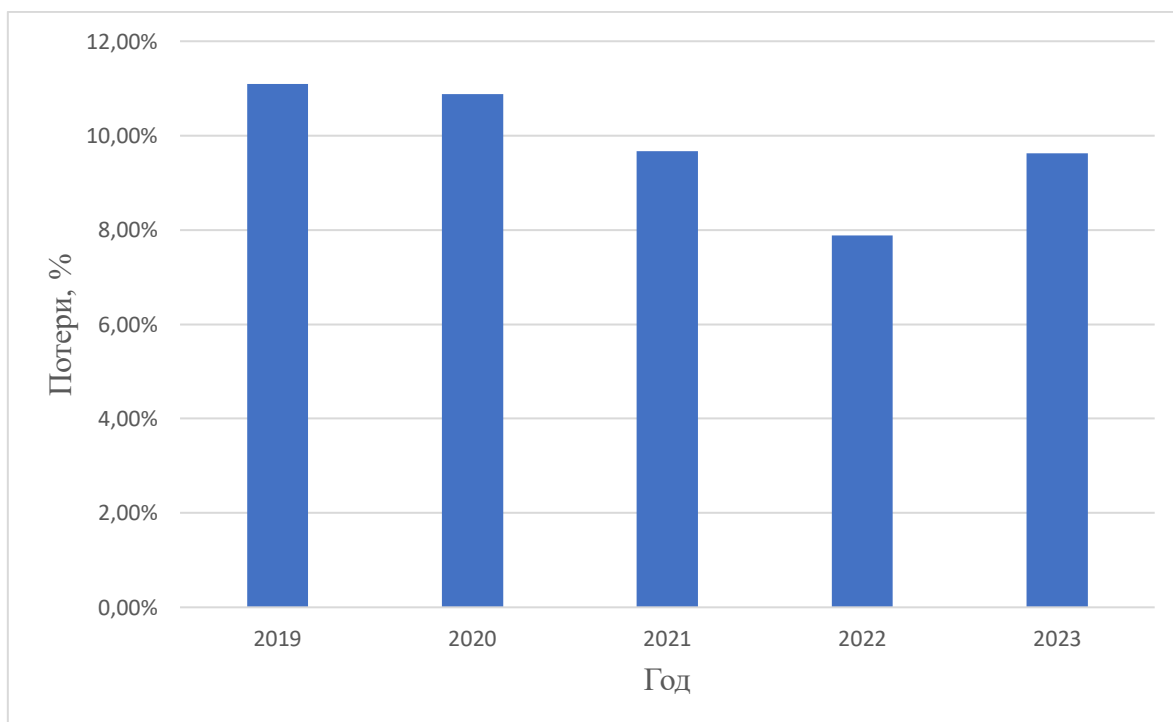
В период с 2019 по 2021 год включительно средний показатель разницы между проектными и фактическими контурами отбойки составил 21%, после внедрения Blast Maker Underground этот показатель составил 16%.



**Рис. 3 Отклонение плановых показателей отбойки от фактических с 2019 по 2024 год**

Отклонение плановых и фактических показателей засорения с 2019 по 2021 и с 2022 по 2024 года составило 4,8% и 5,8% соответственно.

Также были проанализированы потери в очистных камерах. Так средний показатель потерь в период с 2019 по 2021 года составил 10,55%, а в период с 2022 по 2024 год 8,76%.



**Рис. 4 Потери с 2019 по 2024 год**

## Выводы

Интегрирование нового программного обеспечения в процессы стало неотъемлемой частью в развитии горнодобывающих предприятий. В данной работе был описан и проанализирован опыт использования специализированного программного обеспечения для проектирования очистных подземных горных работ.

Анализ показал, что использование специализированного ПО при проектировании очистных горных работ оказало положительное влияние на точность проектирования и экономические показатели предприятия в целом. Так точность проектирования увеличилась на 5% с момента внедрения Blast Maker Underground, а потери уменьшились на 1,79%. Засорение осталось, примерно, на том же уровне, что и до внедрения программного обеспечения.

На другом предприятии Полиметалла, на руднике, Дукат внедрение ВМУ позволило снизить разубоживание на локальных участках на 2-5% [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Капутин Ю.Е. Повышение эффективности управления минеральными ресурсами горной компании (геологические аспекты). // СПб.: «Недра», 2013, – С. 246.]
2. Кирсанов А. К. Анализ программных продуктов для проектирования буровзрывных работ при отработке месторождений подземным способом // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2023. № 2. С. 249-259.
3. Манаков, А. А. Использование программного обеспечения для анализа показателей потерь и разубоживания в условиях рудника "Дукат" / А. А. Манаков, Г. П. Парамонов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S6. – С. 333-341. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-4-6-333-341.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

ВОЛКОВ М. Н., ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье представлены результаты имитационного моделирования сложных геомеханических задач. Которое позволяет учесть нестабильность входной информации, характеризующей массив горных пород, нагрузки и воздействия, свойства конструкционных материалов, приближение расчетной модели к реальным ситуациям и др. Для имитационного моделирования, предложен метод Монте-Карло (ММК), сущность которого заключается в многократном розыгрыше случайной информации датчиками случайных чисел ЭВМ с последующим их преобразованием в соответствии с установленным законом распределения выборки, оценкой геомеханического риска или надежности. Приведенные экспериментальные данные показывают, что погрешности измерений в большинстве случаев имеют распределения, отличные от нормальных. Приведены гистограммы распределения вертикальной и горизонтальной нагрузок для трех разыгранных случайных входных параметров.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, метод Монте-Карло, геомеханические риски, модели, нагрузки, гистограммы, угол внутреннего трения.

## IMPROVING STATISTICAL MODELING MINING AND TECHNICAL TASKS

VOLKOV M.N., POTAPOV V. YA., POTAPOV V. V.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article presents the results of simulation modeling of complex geomechanical problems. Which allows us to take into account the instability of the input information characterizing the rock mass, loads and impacts, the properties of structural materials, the approximation of the calculation model to real situations, etc. For simulation modeling, the monte carlo method (mcm) is proposed, the essence of which is in repeated drawing of random information by computer random number sensors with their subsequent transformation in accordance with the established law of sampling distribution, assessment of geomechanical risk or reliability. The experimental data presented show that measurement errors in most cases have distributions that differ from normal ones. Histograms of the distribution of vertical and horizontal loads for three random input parameters are presented.

**Keywords:** simulation modeling, monte carlo method, geomechanical risks, models, loads, histograms, angle of internal friction.

Активное подземное строительство во многих крупнейших и крупных городах мира, развернувшееся в последние годы, подтверждает актуальность задач совершенствования методов проектирования конструкций городских подземных сооружений.

Безопасное строительство и эксплуатация городских подземных сооружений во многом обусловлены надежностью их обделок, зависящей от изменчивости и нестабильности характеристик массива грунтов и параметров конструкционных материалов.

Поэтому существующая практика проектирования обделок в сложных геомеханических ситуациях базируется, в основном, на реализации метода конечных элементов (МКЭ), главный недостаток которого – моделирование объекта с детерминированными параметрами. Переход от детерминированных методов решения сложных геомеханических задач к имитационному моделированию позволяет:

– учесть нестабильность входной информации, характеризующей массив горных пород, нагрузки и воздействия, свойства конструкционных материалов, приближение расчетной модели к реальным ситуациям и др.;

– исключить погрешности, обусловленные числом входных параметров, в частности, погрешности, вызванные повышением степени детализации модели.

Имитационные модели, основой которых является метод Монте-Карло (ММК), сущность которого заключается в многократном розыгрыше случайной информации датчиками случайных чисел ЭВМ с последующим их преобразованием в соответствии с установленным законом распределения выборки, оценкой геомеханического риска или надежности, могут служить одним из инструментов решения таких задач.

Метод Монте-Карло применяется с 1949 г. для решения сложных вероятностных задач, основная сфера применения имитационного моделирования - решение экономических и производственных задач, в частности, в горном деле и подземном городском строительстве - для управления производственными процессами. В области горной и строительной геомеханики метод Монте-Карло до недавнего времени имел весьма ограниченное применение, но в последнее десятилетие данный метод очень активно развивается, в т.ч. в сочетании с методом конечных элементов (ММК+МКЭ) [1 -3].

Недостатками метода Монте-Карло принято считать:

1) невозможность определения степени влияния (чувствительности) отдельного случайного компонента модели на состояние модели в целом, другими словами, невозможность определения, является ли какая-либо случайная величина более значимой, чем остальные;

2) высокие требования к адекватности имитационной модели, к качеству оценки характера и параметров распределения ее случайных компонентов, что сопровождается увеличением расходов на получение исходной информации;

3) необходима определенная осторожность при подведении итогов имитационных экспериментов, например, в случаях, когда выполняется операция деления на случайное число, близкое к нулю.

Пути совершенствования имитационных методов:

а) генерация случайных чисел для различных законов распределения, систем случайных величин и случайных функций и оценка необходимого числа имитационных испытаний (генераций) в зависимости от заданной точности моделирования;

б) адекватность моделирования, т.е. степень соответствия расчетных схем действительным условиям;

в) оценка значимости нестабильных входных параметров.

В УГГУ, на кафедре шахтного строительства, проводится комплекс специальных исследований, существо которых сводится к следующему:

1. До настоящего времени весьма существенной проблемой для широкого применения метода Монте-Карло являлось определение минимально необходимого числа генераций. Проблема решается организацией дополнительного цикла в обобщенной блок-схеме (рис.1). Максимальное число  $l$  обращений к циклу устанавливается по соотношению:

$$l = N_{\max} / 500, \quad (1)$$

где  $N_{\max}$  – задаваемое заведомо большее число генераций (на практике обычно ограничивается  $N_{\max} = 15000$ ).

Условие выхода из цикла:

$$\xi \leq P_m - P_{m-1}, \quad (2)$$



где  $\xi$  – точность расчета,  $\xi = 0,0009$ ;

$P_m$  – риск по сумме генераций;  $P_{m-1}$  – риск по сумме генераций на шаге  $m - 1$ .

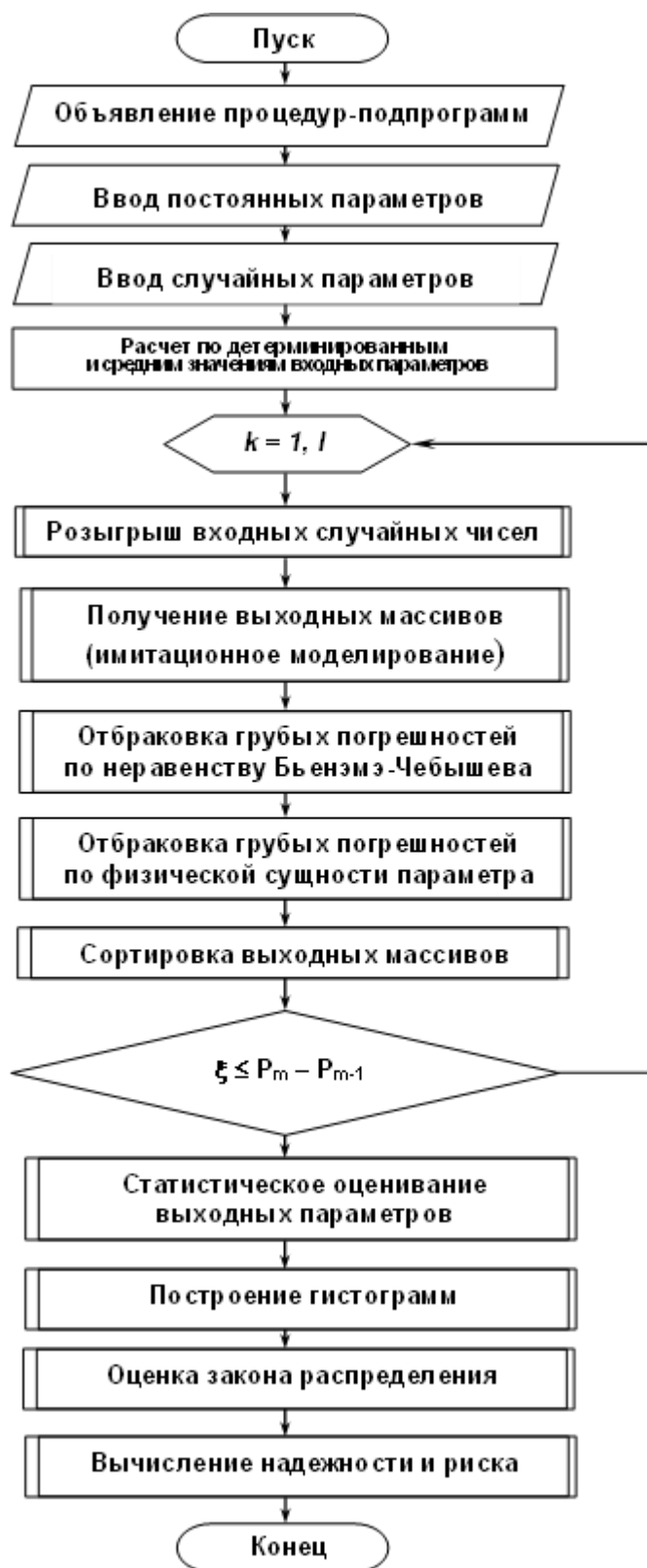


Рисунок 1. Блок-схема оценки необходимого объема генераций для получения заданной точности результатов

2. Адекватность моделирования рассматривается по четырем направлениям:

Степень соответствия расчетных схем действительным условиям, определяемая использованием всесторонне апробированных моделей, сформированных Н.С. Булычевым,

В.К. Руппенейтом, В.Г. Березанцевым [4-7], а также расчетными схемами, включенными в действующие нормативные документы [8-10]. П-94-80.

Степень соответствия данных о вмещающих массивах, показателях физико-технических свойств горных пород, нагрузках и воздействиях действительным (фактическим) значениям. Достигается использованием вероятностно-статистических методов, рассматривающих входные параметры моделей как случайные числа. В современной технической литературе, посвященной анализу технологических схем строительства подземных сооружений распределение случайных параметров постулируется нормальным законом. Между тем, современная прикладная статистика утверждает, что "параметрические семейства существуют лишь в головах авторов учебников по теории вероятностей и математической статистике. В реальной жизни их нет" [4]. Приведенная цитата не противоречит воззрениям представителей классической школы статистического оценивания. Например, авторитетнейший ученый - статистик Л. Закс в 1976 г. Указывал: "Классические статистические методы обычно предполагают нормальность распределения, которая, строго говоря, никогда не удовлетворяется, так что любое приложение этих методов оставляет ощущение опасности ошибки" [11, с. 124].

Что же показывают результаты экспериментов? Данные, приведенные в работе [3], показывают, что из 219 фактических распределений погрешностей различных случайных величин 174 распределения, принадлежащих к классу одномодальных, не являются нормальными, а оставшиеся 45 распределений оказались двумодальными.

В книге известного метролога П.В. Новицкого приведены результаты исследования законов распределения различного рода погрешностей измерений. Объем выборок экспериментальных данных для каждого экземпляра составлял 100-400 отсчетов. Оказалось, что 46 из 47 распределений значительно отличались от нормального.

Приведенные экспериментальные данные показывают, что погрешности измерений в большинстве случаев имеют распределения, отличные от нормальных. Это означает, в частности, что большинство применений критерия Стьюдента, классического регрессионного анализа и других статистических методов, основанных на нормальной теории, строго говоря, не являются обоснованными, поскольку неверна лежащая в их основе аксиома нормальности распределений соответствующих случайных величин.

Таким образом, во-первых, должна выполняться оценка адекватности нормального распределения реальной ситуации и, во-вторых, следует привлечь комплекс высоких статистических технологий для обоснованного изменения существующей практики анализа статистических данных [2-7,11].

3. Оценка значимости каждого случайного входного параметра осуществляется по формуле:

$$\frac{\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk}}{\sum_{k=1}^{10} N_{ik}P_{ik}}, \quad (3)$$

где  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk} = N_{j1}P_{j1} + N_{j2}P_{j2} + \dots + N_{j10}P_{j10}$ ,  $j = \text{var}$ ;

$$\sum_{k=1}^{10} N_{ik}P_{ik} = N_{i1}P_{i1} + N_{i2}P_{i2} + \dots + N_{i10}P_{i10}, \quad i = 1, 2, \dots, j, \dots, n;$$

$N_j$  и  $P_j$  – нагрузки и риски, вычисленные для  $j$ -го параметра;

$N_i$  и  $P_i$  – нагрузки и риски, вычисленные для  $n$  случайных параметров.

Результаты поиска сумм  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk}$  для условий: диаметр тоннеля вчерне 4,0 м; коэффициент условий работы обделки  $k_p = 1,8$ ; объемный вес породы  $\gamma = 2,4 \text{ тс/м}^3$ ; среднее квадратическое отклонение объемного веса породы  $\gamma_{\text{ср.кв.}} = 0,3 \text{ тс/м}^3$ ; коэффициент крепости  $f = 2,0$ ; среднее квадратическое отклонение коэффициента крепости  $f_{\text{ср.кв.}} = 0,2$ ; кажущийся угол внутреннего трения  $\varphi = 65^\circ$ ; среднее квадратическое отклонение кажущегося угла внутреннего трения  $\varphi_{\text{ср.кв.}} = 15^\circ$ , даны в табл. 1 ÷ 3.

Сумма  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk}$  для вертикальной нагрузки равна 4,03, сумма  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk}$  для горизонтальной нагрузки, составляет 2,35.

**Таблица 1 - Переменная – объемный вес пород, j = 1:**  
 $\gamma = 2,4 \text{ т/м}^2$ ;  $\gamma_{\text{ср.кв.}} = 0,3 \text{ т/м}^2$ ;  $f = 2$ ;  $f_{\text{ср.кв.}} = 0$ ;  $\varphi_k = 65^\circ$ ;  $\varphi_{\text{ср.кв.}} = 0^\circ$

| Уровни риска            | Границы риска, тс/м <sup>2</sup> |
|-------------------------|----------------------------------|
| Вертикальная нагрузка   |                                  |
| 0,206                   | 6,06743                          |
| 0,052                   | 6,61901                          |
| Вертикальная нагрузка   |                                  |
| 0,006                   | 7,17059                          |
| 0,000                   | 7,72218                          |
| 0,000                   | 8,27376                          |
| 0,000                   | 8,82535                          |
| 0,000                   | 9,37693                          |
| 0,000                   | 9,92851                          |
| 0,000                   | 10,48010                         |
| 0,000                   | 11,03168                         |
| Горизонтальная нагрузка |                                  |
| 0,206                   | 0,46033                          |
| 0,052                   | 0,50218                          |
| 0,006                   | 0,54403                          |
| 0,000                   | 0,58587                          |
| 0,000                   | 0,62772                          |
| 0,000                   | 0,66957                          |
| 0,000                   | 0,71142                          |
| 0,000                   | 0,75327                          |
| 0,000                   | 0,79512                          |
| 0,000                   | 0,83696                          |

Для вертикальной нагрузки  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk} = 1,64$ , горизонтальной  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk} = 0,12$ .

**Таблица 2 - Переменная – коэффициент крепости, j = 2:**  
 $\gamma = 2,4 \text{ т/м}^2$ ;  $\gamma_{\text{ср.кв.}} = 0 \text{ т/м}^2$ ;  $f = 2$ ;  $f_{\text{ср.кв.}} = 0,2$ ;  $\varphi_k = 65^0$ ;  $\varphi_{\text{ср.кв.}} = 0^0$

| Уровни риска            | Границы риска, тс/м <sup>2</sup> |
|-------------------------|----------------------------------|
| Вертикальная нагрузка   |                                  |
| 0,177                   | 6,12530                          |
| 0,046                   | 6,68215                          |
| 0,010                   | 7,23899                          |
| 0,002                   | 7,79584                          |
| 0,000                   | 8,35268                          |
| 0,000                   | 8,90953                          |
| 0,000                   | 9,46637                          |
| 0,000                   | 10,02322                         |
| 0,000                   | 10,58007                         |
| 0,000                   | 11,13691                         |
| Горизонтальная нагрузка |                                  |
| 0,098                   | 0,46338                          |
| 0,010                   | 0,50551                          |
| 0,000                   | 0,54764                          |
| 0,000                   | 0,58976                          |
| Горизонтальная нагрузка |                                  |
| 0,000                   | 0,63189                          |
| 0,000                   | 0,67404                          |
| 0,000                   | 0,71614                          |
| 0,000                   | 0,75826                          |
| 0,000                   | 0,80039                          |
| 0,000                   | 0,84252                          |

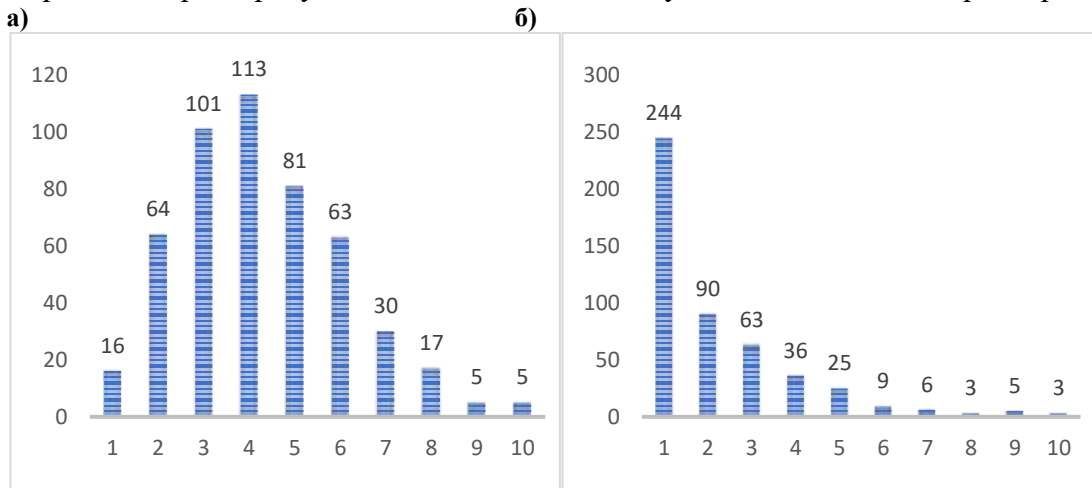
Для вертикальной нагрузки  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk} = 1,48$ , горизонтальной  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk} = 0,05$ .

**Таблица 3 - Переменная – кажущийся угол внутреннего трения, j = 3:**  
 $\gamma = 2,4 \text{ т/м}^2$ ;  $\gamma_{\text{ср.кв.}} = 0 \text{ т/м}^2$ ;  $f = 2$ ;  $f_{\text{ср.кв.}} = 0$ ;  $\varphi_k = 65^0$ ;  $\varphi_{\text{ср.кв.}} = 15^0$

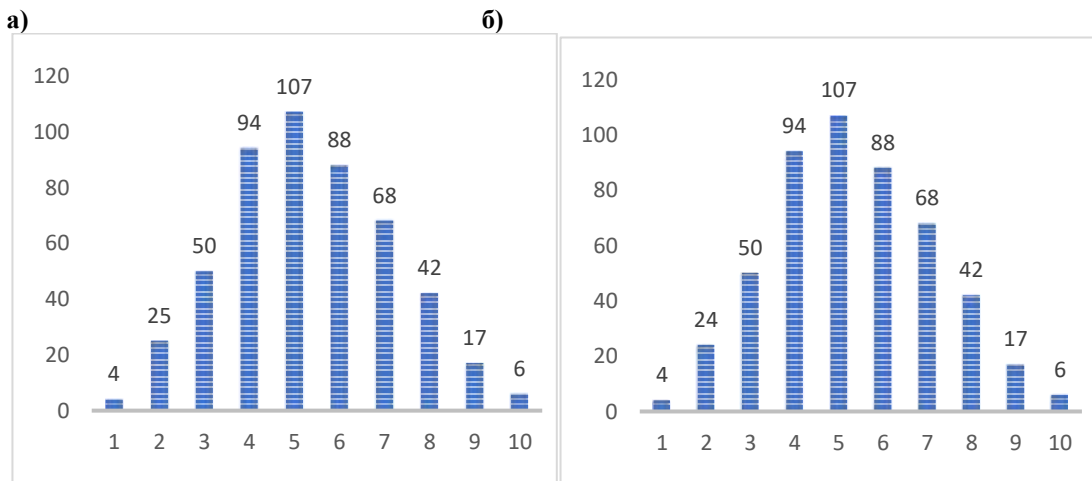
| Уровни риска            | Границы риска |
|-------------------------|---------------|
| Вертикальная нагрузка   |               |
| 0,234                   | 6,12954       |
| 0,068                   | 6,68677       |
| 0,016                   | 7,24400       |
| 0,000                   | 7,80123       |
| 0,000                   | 8,35847       |
| 0,000                   | 8,91570       |
| 0,000                   | 9,47293       |
| 0,000                   | 10,03016      |
| 0,000                   | 10,58739      |
| 0,000                   | 11,14462      |
| Горизонтальная нагрузка |               |
| 0,358                   | 0,74063       |
| 0,315                   | 0,80796       |
| 0,299                   | 0,87529       |
| 0,272                   | 0,94263       |
| 0,242                   | 1,00996       |
| 0,224                   | 1,07729       |
| 0,199                   | 1,14462       |
| 0,181                   | 1,21195       |
| 0,173                   | 1,27928       |
| 0,154                   | 1,34661       |

Для вертикальной нагрузки  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk} = 2,00$ , горизонтальной  $\sum_{k=1}^{10} N_{jk}P_{jk} = 2,40$ .

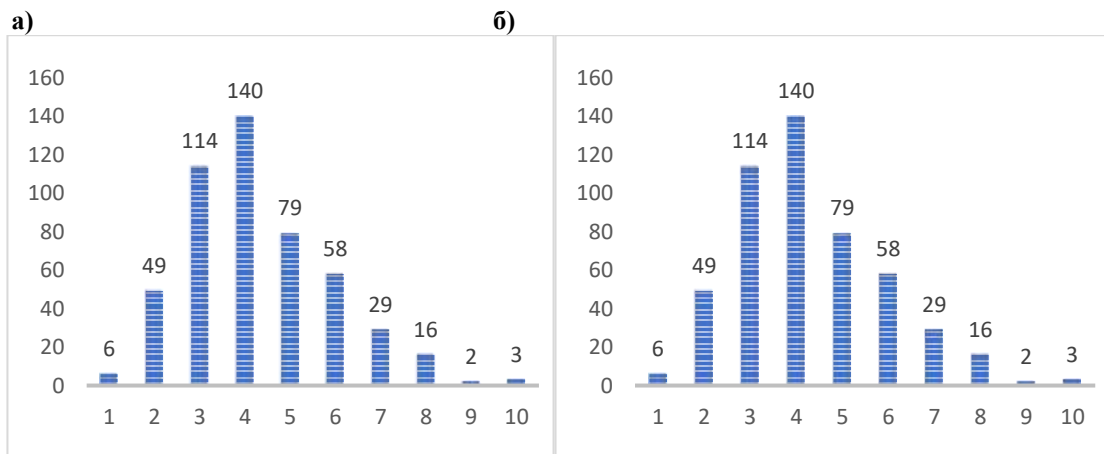
На рис. 2 приведены гистограммы распределения вертикальной и горизонтальной нагрузок, полученные для трех разыгранных случайных входных параметров, на рис. 3 ÷ 5 – гистограммы, характеризующие влияние одного случайного входного параметра.



**Рисунок 2. Распределение вертикальной (а) и горизонтальной (б) нагрузок при  $\gamma = 2.4 \text{ тс/м}^3$ ;  $\gamma_{\text{var}} = 0.3 \text{ тс/м}^3$ ;  $f = 2$ ;  $f_{\text{var}} = 0.2$ ;  $\varphi_{\text{к}} = 65^\circ$ ;  $\varphi_{\text{кvar}} = 15^\circ$**



**Рисунок 3. Распределение вертикальной (а) и горизонтальной (б) нагрузок при  $\gamma = 2.4 \text{ тс/м}^3$ ;  $\gamma_{\text{var}} = 0.3 \text{ тс/м}^3$ ;  $f = 2$ ;  $f_{\text{var}} = 0$ ;  $\varphi_{\text{к}} = 65^\circ$ ;  $\varphi_{\text{кvar}} = 0^\circ$**



**Рисунок 4. Распределение вертикальной (а) и горизонтальной (б) нагрузок при  $\gamma = 2.4 \text{ тс/м}^3$ ;  $\gamma_{\text{var}} = 0.0 \text{ тс/м}^3$ ;  $f = 2$ ;  $f_{\text{var}} = 0.2$ ;  $\varphi_{\text{к}} = 65^\circ$ ;  $\varphi_{\text{кvar}} = 0^\circ$**

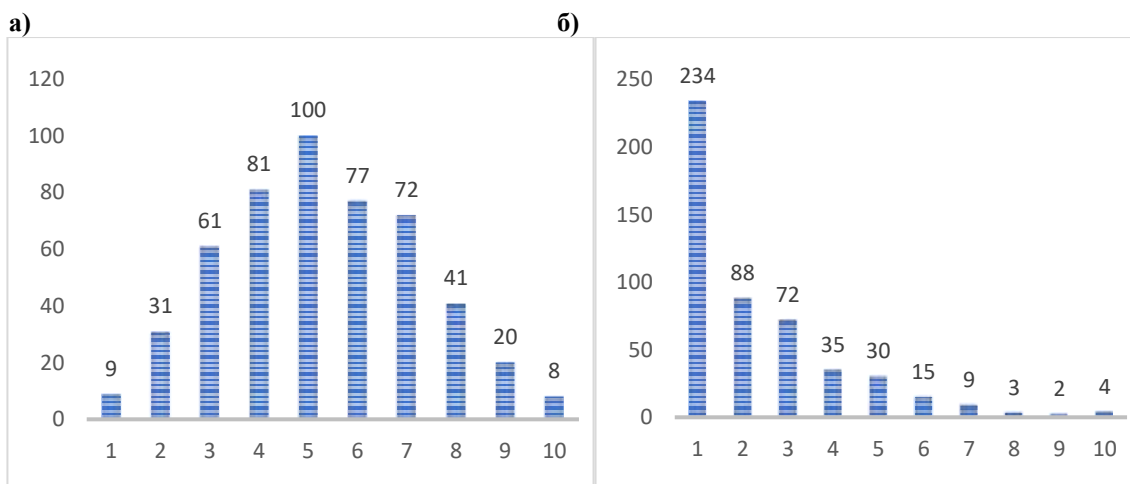


Рисунок 5. Распределение вертикальной (а) и горизонтальной (б) нагрузок при  $\gamma = 2.4 \text{ тс/м}^3$ ;  $\gamma_{\text{var}} = 0.0 \text{ тс/м}^3$ ;  $f = 2$ ;  $f_{\text{var}} = 0$ ;  $\varphi_{\text{к}} = 65^\circ$ ;  $\varphi_{\text{кvar}} = 15^\circ$

Количественный расчет значимости проведен по формуле (3):

**вертикальная нагрузка**

Объемный вес:  $1,64/4,03 = 0,407$ ;

Коэффициент крепости:  $1,48/4,03 = 0,367$ ;

Кажущийся угол внутреннего трения:  $2,00/4,03 = 0,496$ ;

**горизонтальная нагрузка**

Объемный вес:  $0,12/2,35 = 0,051$ ;

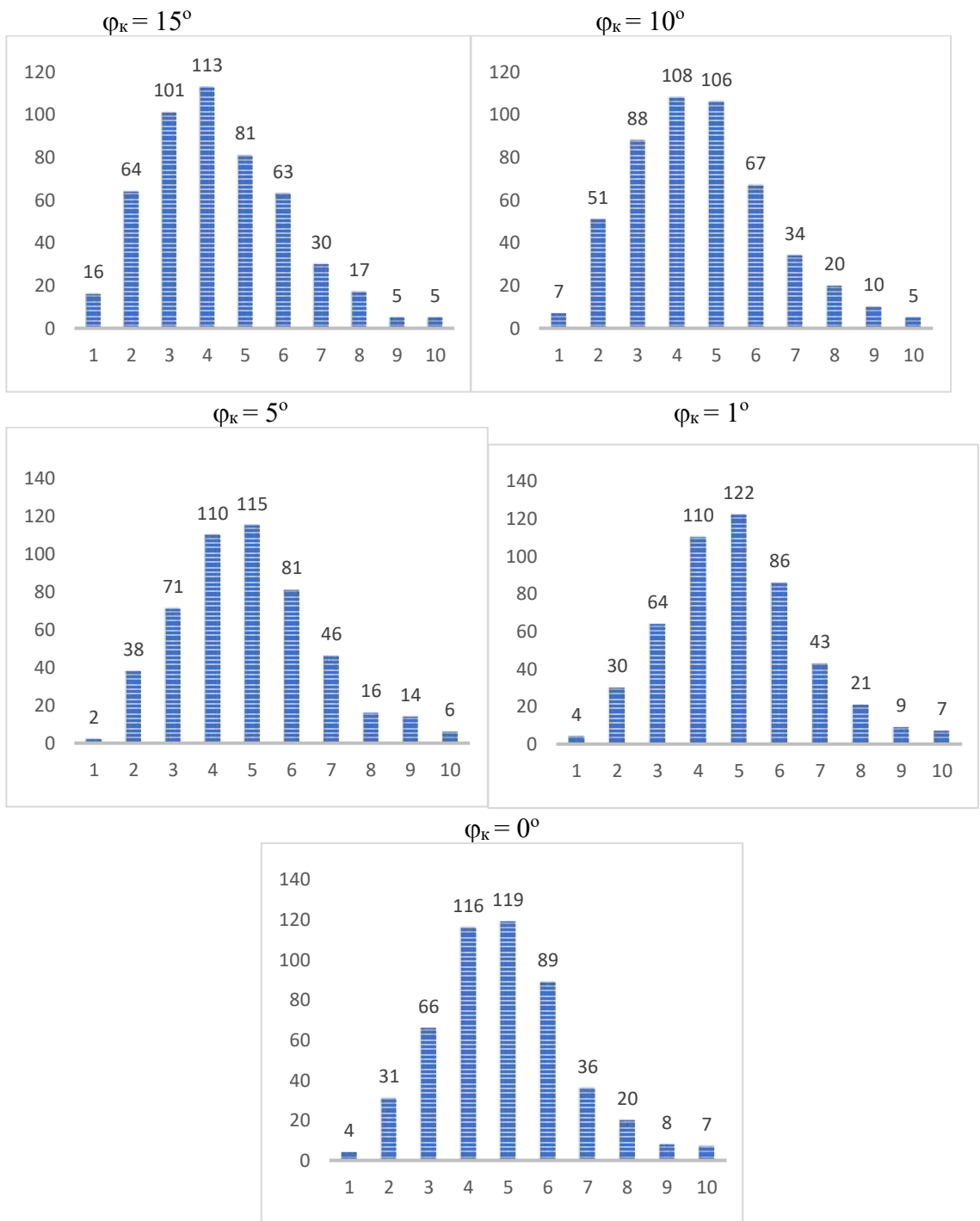
Коэффициент крепости:  $0,05/2,35 = 0,021$ ;

Кажущийся угол внутреннего трения:  $2,40/2,35 = 1,021$ .

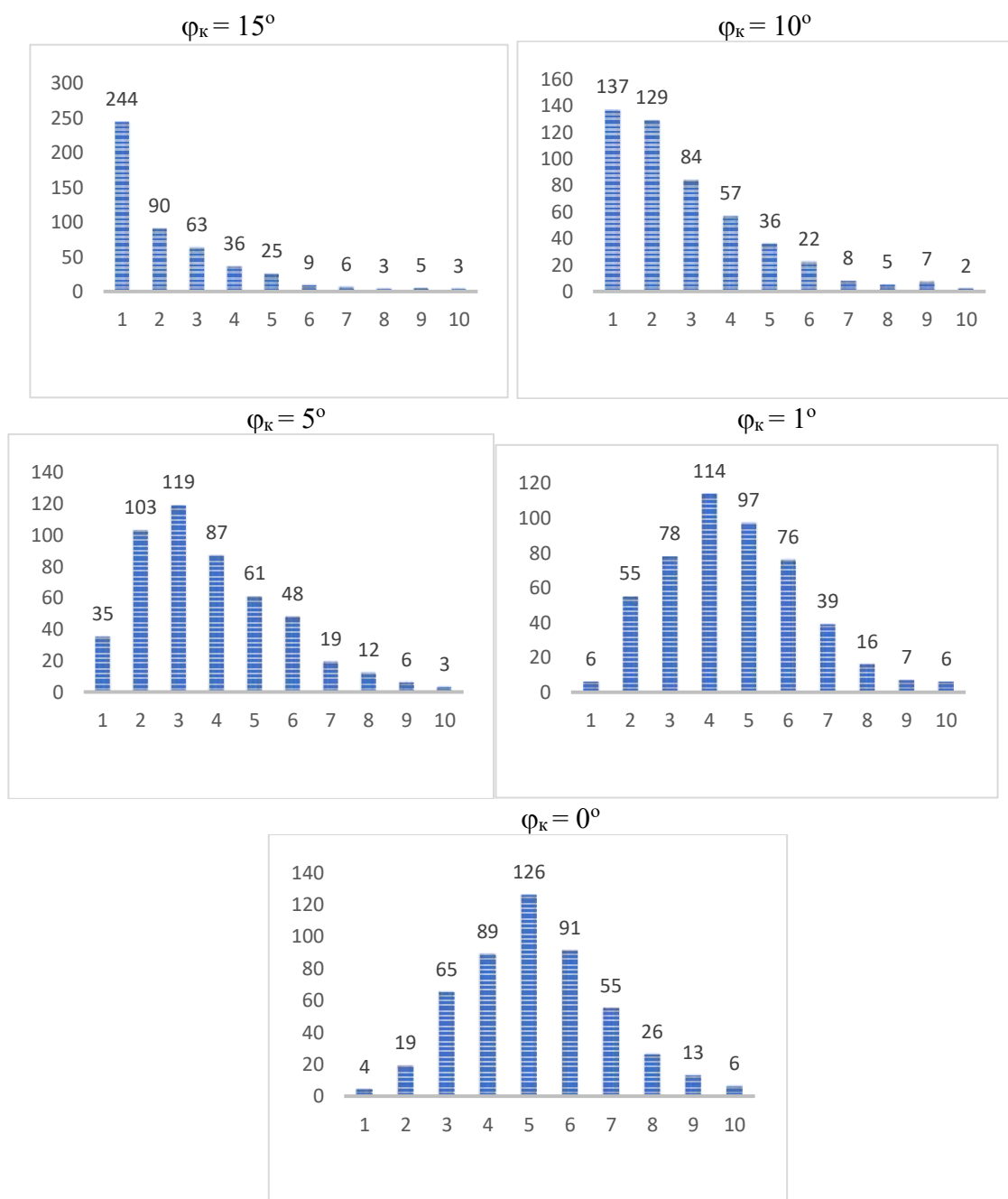
Аналогичные результаты получены в серии исследований оценки значимости входных параметров с изменением средних квадратических отклонений случайных параметров в интервалах: объемный вес пород от 0,00 до 0,36 тс/м<sup>3</sup>; для коэффициента крепости, от 0,0 до 0,6; для кажущегося угла внутреннего трения,  $\varphi$ , от 0 до 20°.

Разработанная методика обладает вторым самостоятельным значением – позволяет выявить факторы, влияющие на характер распределения выходных случайных массивов.

На рис. 6, 7 приведены гистограммы вертикальных и горизонтальных нагрузок для одного варьируемого параметра – кажущегося угла внутреннего трения. Среднее значение этого параметра принято равным 65°, среднее квадратическое отклонение изменялось от 15° до 0°. Значения, характеризующие остальные случайные параметры:  $\gamma = 2,4 \text{ т/м}^2$ ;  $\gamma_{\text{ср.кв.}} = 0,3 \text{ т/м}^2$ ;  $f = 2$ ;  $f_{\text{ср.кв.}} = 0,2$ . Как следует из рис. 6, 7, фактором, искажающим нормальность распределения массивов вертикальных и горизонтальных нагрузок, является кажущийся угол внутреннего трения пород.



**Рис. 6. Гистограммы распределения вертикальной нагрузки при изменении среднеквадратического отклонения кажущегося угла внутреннего трения  $\varphi_k$  в интервале от  $15^\circ$  до  $0^\circ$**



**Рис. 7. Гистограммы распределения горизонтальной нагрузки при изменении среднеквадратического отклонения кажущегося угла внутреннего трения  $\varphi_k$  в интервале от  $15^\circ$  до  $0^\circ$**

**Выводы.** Знание границ и шкалы рисков позволяет осуществить многовариантное проектирование кольцевых обделок с оптимизацией решения по критерию приемлемой экономической безопасности. Разработка эффективной процедуры оценки значимости входных случайных параметров устраняет основной недостаток метода Монте-Карло, который состоит в невозможности определить, является ли какая-либо случайная величина преобладающей или более важной, чем другие. Сопоставление имитационного и вероятностного моделирования подтвердило преимущества имитационного анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев И. М. Метод Монте-Карло. – М.: Наука, 1985. – 78 с.



2. Волков М. Н. Расчет круговых обделок методом Монте-Карло / Геомеханика в горном деле – 2000: Тезисы докладов международной конференции 29 мая – 2 июня 2000 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2000. – С. 58 ÷ 60.
3. Волков М. Н., Половов Б. Д. Расчет горнотехнических сооружений с использованием методов конечных элементов и Монте-Карло / VI республиканская научно-техническая конференция «Компьютерные технологии в горном деле» (Екатеринбург, 3 – 6 июня 2002 г.) – Екатеринбург: УГГГА, 2002. – С.34-40

---

4. Шейнин В. И., Руппенейт К. В. Некоторые статистические задачи расчета подземных сооружений. – М.: Недра, 1969. – 153 с.
5. Речицкий В. И., Корябин И. А. Оценка надежности скальных массивов по методу Монте-Карло. – Российская конференция по механике горных пород. – С. – Петербург, 9 –11 сентября, 1997. – С. 389 ÷ 395.
6. Методы конечных элементов и граничных элементов в механике горных пород и горном деле: библиография (1995 - 1998). Finite element and boundary element technology in rock and mining mechanics. A bibliography (1995 – 1998). Mackele Jaroslav. Finite Elem. Anal. And Des. 1999. 31, №4, С. 317 ÷ 325.
7. Математическое моделирование деформации шахтного ствола. Du Zhi-xing, Jin Feng-xiang, Wu Qing-zhong. Zhongguo youse jinshu xuebao = Chin. J. Nonferrous Metals. 2000. 10, №4. С. – 604 ÷ 608.
8. СНиП II-44-78. Тоннели железнодорожные и автодорожные / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1978. – 21 с.
9. СНиП 32-04-97. Тоннели железнодорожные и автодорожные / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1997. – 31 с.
10. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 31 с.
11. Закс Л. 3. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.

## ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

БАБИЧ В. Н., ШАНГИНА Е. И., СИРАЗУТДИНОВА Н. Б.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** Современное программное обеспечение для моделирования и проектирования инженерных объектов отличается интерактивной 3-мерной графикой, высокого качества визуализацией поверхностей и моделей объектов, а также дружественным интерфейсом пользователя. Трехмерная визуализация (3D графика) объемной модели объекта обеспечивает всестороннее изучение особенностей его строения. Она дает возможность интерактивной работы с моделью (выполнение различных геометрических преобразований, внесение конструктивных изменений с последующим просмотром в различных ракурсах, получение численных результатов, конкретизирующих количественные отношения элементов модели), а также формирование различных объектов технологического и конструктивного характера внутри модели, рассмотрение и сравнение различных допустимых вариантов.

**Ключевые слова:** информационное моделирование, системный подход, процессуальные характеристики, математическая формализация, прогнозирование, проектирование, проектная деятельность, геометрическое моделирование, инженерное проектирование, инженерные формы.

## INFORMATION AND MATHEMATICAL MODELING IN THE TASKS OF DESIGNING ENGINEERING FACILITIES

BABICH V. N., SHANGINA E. I., SIRAZUTDINOVA N. B.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** Modern software for modeling and designing engineering facilities is characterized by interactive 3-dimensional graphics, high-quality visualization of surfaces and object models, as well as a user-friendly interface. Three-dimensional visualization (3D graphics) of a three-dimensional model of an object provides a comprehensive study of the features of its structure. It provides an opportunity for interactive work with the model (performing various geometric transformations, making constructive changes with subsequent viewing from various angles, obtaining numerical results specifying the quantitative relationships of model elements), as well as the formation of various technological and constructive objects within the model, consideration and comparison of various acceptable options.

**Keywords:** information modeling, system approach, procedural characteristics, mathematical formalization, forecasting, design, project activity.

Общая концептуальная характеристика информационного моделирования включает его описание как интеграционного процесса взаимодействия базовых составляющих, характеризующих разные виды (способы, формы) формализованного представления (модельного описания) объекта познания с позиции системного подхода (целостность, иерархическая организация, структурная упорядоченность, функциональные свойства, координация, целевая адаптация, процессуальные характеристики).

Информационное моделирование объекта проектирования – это сложноорганизованный процесс построения формализованного образа объекта на основе обработки и анализа системно обоснованного информационного массива, отображающего пространственные, морфологические, структурные, функциональные, коммуникационные, процессуальные аспекты организации и функционирования объекта, путем интеграции процедур математической формализации, геометризации и информационно-технологической поддержки с целью решения задач проектирования, оптимизации, визуализации, управления, прогнозирования.

Таким образом, необходимо подчеркнуть, что процесс проектирования выполняется как информационное моделирование объекта – процесс создания визуализируемой модели объекта на базе системного описания характеризующих объект зависимостей, связей и отношений, геометризации объекта и информационной оболочки, реализуемой в соответствующей программной среде используемых программно-аппаратных средств.

С момента получения проектного задания инженер-проектировщик организует сбор информации о проектной ситуации – исходных данных для начала работы, достаточных для понимания сущности этого задания, инициации творческого процесса создания инженерного объекта. Продуктивность этого процесса определяется интеллектуальными усилиями и творческим воображением инженера-проектировщика.

Только живая творческая мысль, живое искание способны сообщить тому или иному проекту полноту и законченность, объединяя все подробности воедино. Как бы прекрасно ни была решена инженерная мысль, она недостаточно полна, если в ней не выявлено индивидуальное творчество ее создателя. Таким образом, ценность произведений измеряется теми творческими замыслами, которые осуществляет проектант. Художественная и даже утилитарная ценность всякого инженерного объекта измеряется степенью рационального изобретательства, проявленного автором проекта [1].

Инженерный объект начинается с проекта, а проект – с идеи, его замысла. Отправной точкой замысла является функциональное назначение объекта. Творческий поиск концептуальной идеи характеризуется тем, что при заданном функциональном содержании проектируемого объекта его возможная технологическая композиция (конкретная композиционная структура и внешняя форма) не определена и ее выбор является в определенной степени прерогативой инженера-проектировщика.

Возникновение замысла – ключевое звено в творческом процессе, определяет дальнейшую динамику в проектной работе. Выработка концепции проекта как осмысленное опредмечивание замысла характеризует создание проектного образа и является основанием для перехода к непосредственному проектированию инженерного объекта.

Проектная деятельность в процессе создания объекта включает поиск инженерных решений, выражающих оригинальность творческого замысла, оптимальность (рациональность) характеристик проектируемого объекта в конкретных условиях. При исходных заданных требованиях; разработку материалов, определяющих инженерный раздел проектной документации, в том числе визуальное представление (внешний и внутренний вид), пространственную организацию и функциональные характеристики проектируемого объекта, планировочную схему и эргономическую составляющую.

В процессе проектирования целевая проблема сводится к совокупной системе задач оптимизации (оптимизации многокритериальной): необходимо выбрать такое решение (причем в соответствии с инженерным замыслом), которое обеспечивает комплексное решение функциональных, конструктивных и эстетических требований, а также социальных, экономических, санитарно-гигиенических, экологических, инженерно-технических условий.

Проектирование объекта – многоэтапный процесс, включающий в себя этапы аналитического исследования, геометрического моделирования (с вариантами компоновки, структурной организации), расчетного (по критериям прочности, устойчивости, баллистики, гидро- и аэро- характеристикам, экономичности и др.), оптимизации характеристик

объекта (физических, геометрических, функциональных, стоимостных и т. д.), визуализации, принятия решения при выборе вариантов (включая учет условий реализации проекта) [2].

Геометрическое представление объекта является важнейшей частью инженерного проектирования. Например, геометризация формы изделия (объекта) позволяет осознать объемно-пространственные характеристики объекта с позиций аэродинамики, экологичности, экономичности, определить оптимальное размещение конструктивных элементов, определить объем, рациональные технологии производства и др.

Геометризация представления является эффективным средством визуализации мышления: как в процессе аналитического исследования модели, так и разработке вычислительного алгоритма. Оптимизация и оценивание, как правило, присутствуют в задачах инженерной практики, включая инженерные и технологические вопросы их производства. В целом, процесс проектирования сводится к сложной проблеме оптимизации: необходимо выбрать инженерно-планировочную структуру объекта, которая должна обеспечивать комплексное решение функциональных, конструктивных и инженерных требований, а также социальных, экономических, инженерно-технических аспектов. Поэтому формирование и исследование оптимизационных моделей (на основе численных методов оптимизации функций) является необходимой компонентой решения этих задач. Геометризация объекта проектирования позволяет рассмотреть различные варианты, внести необходимые изменения и дополнения, и том числе и аналитическом описании модели. Вариативность модели – способность видоизменения отдельных элементов и частей при общем сохранении основной композиции – важное качество модели.

Визуализация модели проектируемого объекта предполагает использование разноформатных данных (текстовых, числовых, графических), получаемых из различных источников таких как фото- и видеоматериалы, информационные базы данных, техническая документация, справочная информация, графические архивы и др. Применение компьютерных средств визуализации (машинной графики, компьютерной анимации) представляет возможность интерактивной работы с моделью, выполнение различных геометрических преобразований, внесение конструктивных изменений с последующим просмотром, сдвиг, поворот, масштабирование, что позволяет рассматривать объект с разных ракурсов под любым углом. Функциональные возможности, предоставляемые используемой компьютерной информационной системой, определяются составом аппаратных средств и программным обеспечением.

Итак информационно-математическое моделирование инженерных объектов – это процесс создания визуализируемой модели объекта на основе математического описания характеризующих объект зависимостей и отношений, геометризации объекта и информационной оболочки, реализуемой в соответствующей программной среде используемых программно-аппаратных средств [3].

В процессе проектирования необходимо решить проблемы, связанные с корректностью описания итогового результата, представляющего последовательное представление описаний детализируемого объекта по составу, по размерностям, по способам соединения частей и элементов, сопряжения поверхностей. Рассматривается точная координация одних элементов и узлов относительно других, а также пространственные отображения отдельных частей и в целом, все необходимые проекции и сечения. Подготовленный проект, предназначенный для последующего прототипирования (реального воспроизведения), должен допускать однозначное понимание конструирования объекта и обеспечивать его технологическое воплощение (производство).

Геометрическое моделирование позволяет преодолеть многие упомянутые проблемы, связанные с важными этапами процесса проектирования, к которым относятся:

- подготовка проектного решения (с выработкой авторского замысла);
- создание эскизного проекта, представляющего общую конструкцию (основную схему) разрабатываемого объекта;

- выполнение анализа эскизного проекта, включающего аналитическое обоснование, численные расчеты, геометрические операции;
- формирование рабочего проекта, уточняющего конструкцию объекта (структуру, геометрические формы и размеры, допустимые расстояния между инженерными системами и их элементами, последовательность сборки/компоновки и др.).

Хотя изначально концепция (идея, замысел) исходит от проектировщика проекта (его видение объекта, общее представление), но при этом на творческий процесс поиска решения влияет ряд факторов, в том числе планировочного, конструктивного, инженерного, экономического характера. В проектной разработке конструктивных и технологических решений участвуют специалисты-смежники.

И здесь существенным является выбор информационной модели объекта (а также способа создания этой модели) с точки зрения организации процесса проектно-технических работ, поскольку это затрагивает (и определяет при реализации проекта) эффективность всей цепочки процесса. Необходимо сразу решить вопрос об информационной полноте модели объекта, т. е. насколько полно представлены в модели инженерно-конструкторские, технологические, экономические и другие данные об объекте со всеми взаимосвязями и зависимостями. При этом требуется определить, в какой программной среде будет создаваться модель объекта (с возможностью разным специалистам, участвующим в проекте, работать в одном информационном пространстве).

Результат проектирования представляется в виде технического описания, содержащего геометро-графические материалы и сформированную документацию (техническую, технологическую и др.). Обеспечением такого описания является формирование скоординированной, внутренне согласованной, системно-рассчитываемой информации о проектируемом объекте, а также визуализированная модель как цифровой прототип проектируемого объекта. Причем необходимо полное соответствие модели и представленной документации. Такой цифровой прототип как единый информационный объект определяется на основе технологии информационного моделирования объектов проектирования.

Методология автоматизированного инженерного проектирования, поддерживаемая инструментальными средствами обеспечения, изменила подход к проектному процессу, рассматривая его как процесс информационного моделирования объекта, определяющего комплексное решение задач инженерного проектирования. Возникли новые способы представления проектной идеи, организации и управления проектным процессом, новые формы информационного обеспечения проектных и инженерных работ (на основе использования информационной модели).

В творческий процесс поиска проектной идеи включается компьютерная генерация геометрически сложных форм, а современные технологии материализации полученных форм (по трехмерной компьютерной модели) позволяют не ограничивать творческие импровизации инженера-проектанта [3].

Компьютерные эксперименты по вопросам формообразования, топологии и морфологии объектов могут приводить к заранее непредсказуемым результатам (относительно формы и пространственной структуры). Это может создавать иллюзию компьютерного «творчества». Однако компьютер сам не творит. Не следует переоценивать возможности компьютерных технологий. Компьютерные способы формообразования, в основе которых лежит генерация форм, используют методы параметризации, алгоритмизации, трансформации (преобразования), комбинаторного моделирования.

Компьютерное создание формы происходит в результате выполнения программы, реализующей определенный алгоритм генерации формы, или в процессе обработки пространственной информации и построения цифровых моделей в специализированной программной среде. При этом экспериментатор (в качестве которого выступает инженер) задает исходные данные, вводные параметры, определяет ограничивающие условия для процесса генерации, использует инструментальные средства для выполнения пространствен-

ных преобразований, предоставляемые пользователю в программной среде. В пространственных экспериментах с геометрической формой компьютеру отводится существенная роль, и этому способствует ряд важных факторов: генерация модели в режиме реального времени, автоматизация построения модели при изменении параметров и исходных данных, возможность получения множества альтернативных вариантов (при поиске оптимального решения), визуализация формы, возможность извлечения числовой информации, а также информационно-коммуникационные возможности.

Интерактивность взаимодействия человека и компьютера происходит на основе распределения функций между ними и определяется человеко-компьютерным интерфейсом. Компьютер становится незаменимым помощником инженера в творческом поиске проектной идеи и в дальнейшей разработке полноценного инженерно-технического проекта. Совершенствование программного обеспечения и аппаратных средств позволило переложить на компьютер множество проектных операций. Однако компьютер не может заменить способность мыслить, чувствовать, критически оценивать. Именно проектант принимает решение о целесообразности и технической выразительности полученных инженерных форм.

Решение геометрических задач происходит в процессе совокупного исследования геометрической и аналитической моделей, а также сопровождается выполнением вычислительных процедур (т. е. выполняется в совместном процессе информационно-математического моделирования). При этом геометрическая модель (первоначально представленная в виде эскиза, простого чертежа, графического описания исходных данных и указания требуемых определения элементов) может детализироваться, усложняться включая дополнительные содержательные характеристики (размерные и топологические), полученные в результате такого совокупного исследования. Геометрические элементы объекта его носители определенных характеристик и отношений включая размерность, параллельность, ортогональность, подобие, конгруэнтность 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 ему доступный арсенал средств (аналитических, геометрических, вычислительных), не ограничиваясь лишь методами синтетической геометрии.

### **Выводы**

Творческий процесс – это сложный психологический процесс по переработке информации, в который включены интеллект, эмоции, воля. Творчество связано с личностными характеристиками (наличие способностей, мотивов, знаний и умений), важную роль играют воображение, интуиция [5].

Каждого инженера-проектанта отличает творческая индивидуальность, свой творческий подход к решению инженерных задач. Осмысление целей, условий и задач проектной работы происходит через индивидуальное понимание проектной ситуации.

Основными факторами, оказывающими влияние на направления проектного поиска, являются мотивированность, эмоциональность и когнитивно-познавательные способности. Проектное мышление инженера-проектанта обусловлено такими базовыми качествами как креативность и интеллект.

Инженер-проектант мыслит техническими, эмоциональными образами.

К интеллектуальным особенностям инженерного проектного мышления относятся аналитичность, концептуальный подход, рефлексивность, критическое отношение, системность, прогностичность, стратегичность, гибкость, конструктивность. Для инженерного проектного мышления характерны практико-ориентированность и прагматизм, практико-обусловленность – зависимость от научного мнения, отношения к реализованному на практике проекту, осознание инженерной ответственности.

Мотивационными аспектами, связанными с творческой составляющей инженерной деятельности, отражающими профессиональные стремления, потребности и цели, являются

следующие аспекты: компетентностный, самореализационный, прагматический, конъюнктурный, инновационный.

Профессиональная образованность и подготовленность инженера к проектной работе позволяет осмысленно действовать в проектном процессе, решать ситуационные профессиональные задачи.

Широкая эрудиция инженера-проектировщика, развитый профессиональный кругозор, понимание специфики восприятия прогресса человеком (воздействия на него инженерной среды), достаточность используемого арсенала профессиональных средств и приемов обуславливает адекватный выбор принципов и способов формирования технологического пространства, включающих и функциональную организацию, и технологическую структуру среды.

Выработка концептуального замысла происходит в результате творческого процесса эвристического поиска и осмысления информации, данных технологической ситуации, регламентирующих факторов (ограничений, требований, условий), связанных с проектной задачей. Продуктивность творческого процесса поиска проектного решения обуславливается достаточностью образовательного базиса (запаса знаний, включая накопленный профессиональный опыт), интеллектуальным потенциалом проектанта, активностью поиска решения.

Технологическая готовность инженера-проектанта определяется как восприимчивость к новым технологиям, понимание их сущности, назначения, способность к их применению, осознанность выбора способов действия (технологий) и соответствующего инструментария, позволяющего обеспечить достижение прогнозируемого результата, достаточность технологической компетентности и технологической культуры в работе со специалистами-смежниками, знание информационных технологий проектирования (моделирования) и умение их применять.

Информационные технологии позволили обеспечить комплексное решение задач инженерного проектирования в автоматизированном режиме при значительном сокращении времени принятия проектных решений и их последующей разработки. Формирование скоординированной, внутренне согласованной, системно-рассчитываемой информации о проектируемом объекте, создание визуализированной модели как цифрового прототипа проектируемого объекта, управление информационными потоками на протяжении всего периода создания инженерного объекта.

Такой цифровой прототип как единый информационный объект в строительстве определяется на основе технологии информационного моделирования зданий (BIM). Процесс проектирования выполняется как информационное моделирование объекта.

Возможности технологий информационного моделирования стимулируют поиск новых инженерно-строительных форм, направляют к выработке новых подходов в проектировании и строительстве.

BIM-технологии являются эффективным инструментом творческого процесса, позволяющим не только реализовать идеи проектировщика, но и проводить экспериментальный поиск этих идей, открывать новые возможности в инженерно-строительном проектировании [6].

Компьютерное экспериментирование на основе BIM-технологий эффективно при изучении (осмыслении) новой инженерно-строительной информации, проверке новых инженерно-технических идей, разработке и внедрении новых решений. Компьютерное экспериментирование способствует накоплению творческого потенциала, отработке практических приемов проектирования, мотивирует на осмысленную познавательную деятельность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабич В. Н., Кремлев А. Г. Инновационная деятельность в архитектуре и градостроительстве // Изд-во УрГАХУ «Архитектон», Екатеринбург, 2016. 272 с.

2. Системный анализ в геометрическом моделировании: коллективная монография/под редакцией А. Г. Кремлева; Урал. гос. Горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 171 с.
3. Медведев В. А. Проектное мышление: основные признаки и этапы развития / В. А. Медведев // Глобальная конференция по технологиям в образовании dCRUNCHUral: новые образовательные технологии в вузе – 2019: сборник статей участников конференции (Екатеринбург, 24-26 апреля). – Екатеринбург: ИТОО УрФУ, 2019. С. 102–107 с.– URL: [http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74051/1/edcrunch\\_2019\\_018.pdf](http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74051/1/edcrunch_2019_018.pdf)
4. Талапов В. В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М.: Изд-во ДМК Пресс, 2015. 410 с.
5. Вербицкий А. А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход. – М.: Высш. шк., 1991. 207 с.
6. Захаренко Е. Н., Степанов А. В., Комарова Л. Н., Нечаева И. В. Новый словарь иностранных слов. М.: ООО Издательский центр «Азбуковник», 2008. 1040 с.



**ГЕОЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНДОГЕННЫХ СИГНАЛОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ  
ВОДНЫХ СВОЙСТВ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГО-ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ ПРИ  
ВОЗВЕДЕНИИ ОБЪЕКТОВ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРИТЕЛЬСТВА**

ТИМОХИН А. В., ЯКОВЛЕВ А. М., ТИТОВ Р. С., КАНТЕМИРОВ В. Д.

Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург

**Аннотация.** В статье раскрыты параметры сигналов электрометрии в связи с водными свойствами геосред при эколого-инженерной оценке. Иллюстрируется порядок и подход формирования прототипов эндогенных измерений, в сочетании с топографо-геодезическими работами, бурением скважин и изучением кернов. Подобраны примеры исследований и интерпретации в аномальных условиях районирования ЮГ- СЕВЕР: от естественно-засоленных грунтов аридного климата, полупустынь и пустынь до зоны циркумполярного распространения многолетнемерзлых грунтов и вечной мерзлоты, со сложным наложением карстов, оценки загрязнений промпродуктами и жидкими отходами. Геоцифровизация при интерпретации эндогенных сигналов понимается, как подход, исключающий ошибки толкования цифровых двойников в силу преодоления вредного действия известных в геофизике принципов эквивалентности.

**Ключевые слова:** геолого-геофизические исследования, оценка водного состояния, цифровизация эндогенных сигналов, индустрия 4.0, эколого-инженерные решения.

**GEOCYPHROVIZATION OF ENDOGENOUS DECRYPTION SIGNALS WATER  
PROPERTIES IN SOLVING ENVIRONMENTAL ENGINEERING PROBLEMS WHEN  
CONSTRUCTION OF MINING FACILITIES AND HYDRAULIC ENGINEERING  
CONSTRUCTION**

TIMOKHIN A.V., YAKOVLEV A.M., TITOV R. S., KANTEMIROV V. D.

Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg

**Annotation.** The article reveals the parameters of electrometry signals in connection with the water properties of the geomedium during environmental engineering assessment. The procedure and approach of forming prototypes of endogenous measurements, in combination with topographic and geodetic works, well drilling and core study, are illustrated. Examples of research and interpretation in abnormal conditions of SOUTH-NORTH zoning are selected: from naturally saline soils of arid climate, semi-deserts and deserts to the zone of circumpolar distribution of permafrost and permafrost, with complex karst overlay, assessment of pollution by industrial products and liquid waste. Geocyphrovization in the interpretation of endogenous signals is understood as an approach that eliminates errors in the interpretation of digital doubles due to overcoming the harmful effects of equivalence principles known in geophysics.

**Keywords:** geological and geophysical research, assessment of the water state, digitalization of endogenous signals, industry 4.0, environmental engineering solutions.

Практика изучения водных свойств традиционно опирается на измерения эндогенных- внутренних сигналов недр, из геофизических методов – на применение электроразведки на постоянном токе по методу сопротивлений МС. Геоцифровизация предполагается с опорой на новейший уровень теории поля и сигнальной математики.

## Положения физической природы и уравнения теории поля.

Электропроводность скальных пород и осадочных грунтов определяет действие электронной и ионной природы [1- 3] с делением внутри каждой на 2 петрофизических механизма, обусловленных обстановкой, состоянием и особенностями носителей тока.

1. Электронная природа (I-го рода) и механизмы влияния на электрические свойства даются, главным образом, в «зонной» теории. Прочно связаны с ядром электроны внутренних оболочек, носители тока – подвижные валентные электроны, расположенные у «дна» зоны проводимости, и их вакансии у «потолка» зоны валентности – дырки. При раздельном учете носителей сопротивление:

– обратно пропорционально степени заполнения электронами зоны проводимости

(собственный или металлический  $n$  – механизм)  $\rho_I(n) \sim 1/E_n$ ,

– обратно пропорционально размеру потенциальной для заполнения области в валентной зоне, равно степени ее "незаполненности" ( $p$  – механизм, полупроводниковый или «дырочный»)  $\rho_I(p) \sim E_p$ .

$E_n, E_p$  – электронные плотности в нормально незаполненной зоне проводимости и в нормально заполненной зоне валентности.

2. Ионная, электролитическая природа (II- рода) обусловлена так же 2-мя механизмами. В зависимости от нахождения ионов растворенных солей (носителей) в различной гальванической обстановке, определяющей подвижность носителей, сопротивление:

– обратно пропорционально минерализации ( $m$ ) свободной поровой и рыхло (-слабо) связанной с минеральным скелетом воды  $\rho_{II} \sim 1/m$ ,

– обратно пропорционально количеству около 10-ти минерализаций ( $M$ ), отнесенных к объему глинистой, дисперсной фазы содержанием  $C_{гл.}$ , у которой на контакте с водой образуются, так называемые, «двойные электрические слои», что относится, например, в глинистых грунтах к воде преимущественно прочно связанной со скелетом  $\rho_{II}(p) \sim 1/(\approx 10 \cdot \dot{I}) \approx 1/C_{гл.}$ .

Сопротивление двухагрегатных смесей выражает уравнение Овчинникова [4]:

$$\rho_n = \frac{3\rho_{зан.} ABC}{3ABC + 2(1 - w_{зан.})\Delta\rho(AB + AC + BC)}, \quad (1)$$

где  $\rho_n$  – сопротивление смеси,  $\rho_{зан.}$  – сопротивление заполнителя,  $w_{зан.}$  – объемное содержание заполнителя;  $\Delta\rho = \rho_{зан.} - \rho_{вкл.}$ ,  $\rho_{вкл.}$  – сопротивление эллипсоидальных включений;

$$A = abcA(0)w_{зан.}\Delta\rho + 2\rho_{вкл.}, \quad B = abcB(0)w_{зан.}\Delta\rho + 2\rho_{вкл.},$$

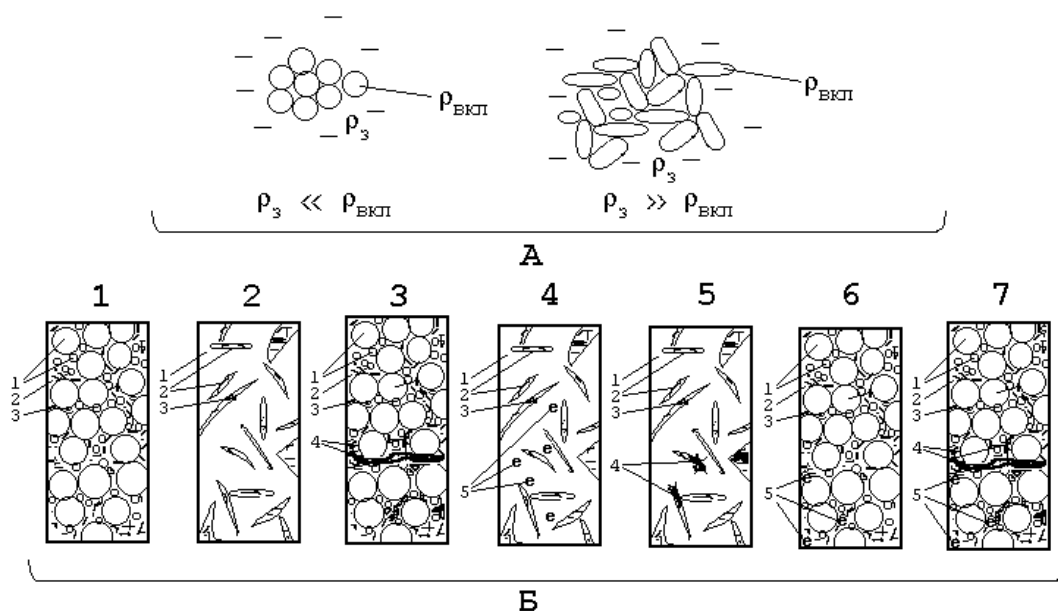
$$C = abcC(0)w_{зан.}\Delta\rho + 2\rho_{вкл.}, \quad a, b, c - \text{полуоси эллипсоида; } A(0), B(0), C(0) - \text{функции эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода и тригонометрических функций.}$$

Частный случай уравнения (1) для смеси с включениями бесконечно большого сопротивления выражает уравнение Семенова [5]:

$$\rho_n = \frac{(3 - w_{зан.})\rho_{зан.}}{2w_{зан.}} \quad (2)$$

## Модели грунтов

Расчеты истинного эл.сопротивления по уравнениям теории поля 1 и 2 ведутся с использованием метода последовательного вложения. Таким образом, чтобы все влияющие на сопротивление агрегаты были учтены. Постановка интерпретационной задачи позволила от простых моделей смесей жидкой и твердой фаз перейти к расчетам сопротивления грунтов, как многокомпонентных смесей (рис. 1).



**Рисунок 1. Двухфазные «заполнитель- включения» (А) и многоагрегатные (Б) модели**

Были получены петрофизические представления о грунтах, как равномерно распределенных смесях, так и с наличием инъекционных, жильных образований.

Охват подхода и методы позволяют в решениях учесть потенциальное, имеющееся разнообразие грунтов, включая представленные в моделях рисунка 1:

(1) осадочные песчано-глинистые грунты, (2) скальные грунты, (3) мерзлые песчано-глинистые грунты, (4) скальные грунты с содержанием электропроводящих компонент (геосреды и геоматериалы рудного разнообразия), (5) мерзлые скальные грунты, (6) осадочные грунты с содержанием электропроводящих компонент (геоматериалы россыпей), (7) мерзлые осадочные грунты с содержанием электропроводящих компонент (россыпи северных территорий).

Агрегаты на рисунке (Б): 1- непроводящие и слабо-проводящие ток сферические фракции и минеральные скелеты, 2- поровый и трещинный заполнитель и 3- находящиеся в его водной обстановке эллипсоидальные глинистые включения, 4- лед в виде включений-инъекционных жил и лед поровый, образующий массивную текстуру, 5- твердые электропроводящие включения.

### Результаты

Естественно-засоленные грунты инженерно-геологических разрезов (до 50 - 70 метров) характеризует понижение эл. сопротивления водного заполнителя грунтов. На примере изысканий ГРЭС в пустынной зоне республики Казахстан это наблюдается в дифференциации графиков вертикальных электрических зондирований ВЭЗ (рис. 2).

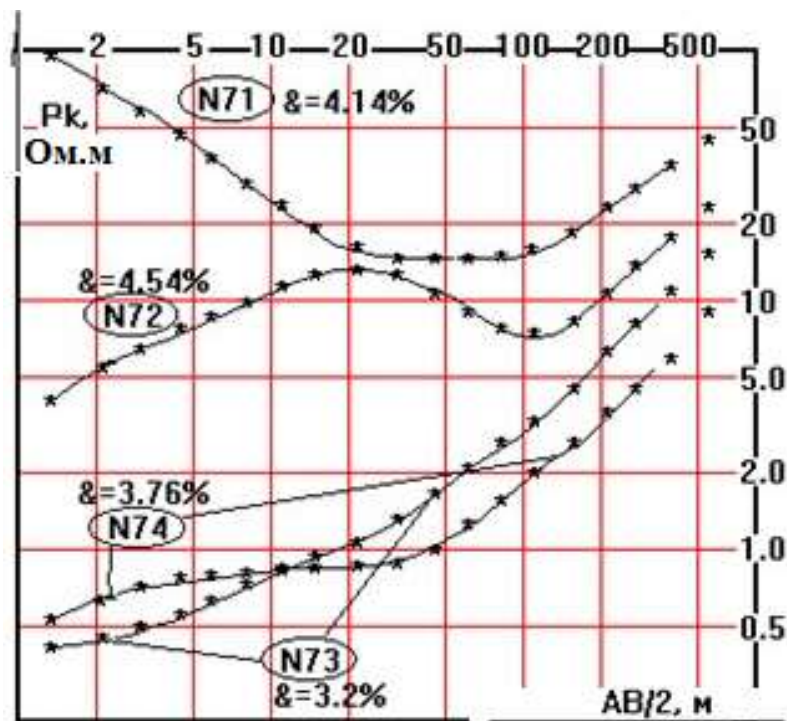


Рисунок 2. Графики ВЭЗ (эл. сопротивление Ом. м при длине полуразноса АВ/2, м)

Инновационный формуляр геотехнологии обеспечен расчетами физических и водных свойств номенклатурных видов грунтов: с- глинистость (%), содержание частиц диаметром менее 0.005 мм), n- пористость (д.е.), m- сумма солей в подземных водах (г/л), t(°C)- температура, g- степень влажности (д.е.), y- плотность скелета (т/м<sup>3</sup>), & (мм/м)- пучение при промерзании и осадка при оттаивании грунтов у поверхности в климатических условиях территории.

В ходе литолого-структурной интерпретации зафиксирован скачкообразный рост минерализации m от 1.1 до 40-50 г/л в слоях не глубже 24 метров (рис. 3).

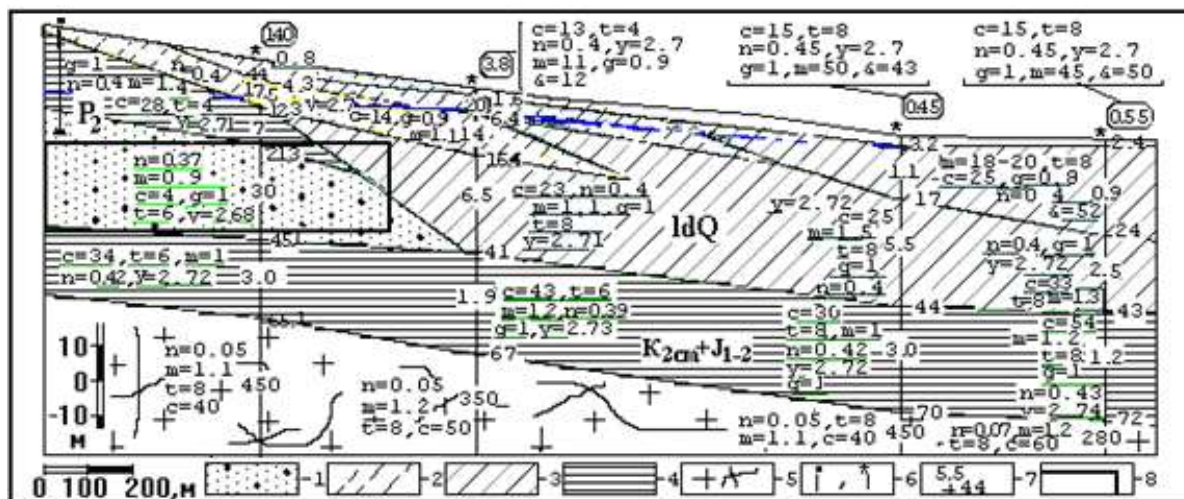


Рисунок 3. Инженерно- гидрогеологический разрез Тургайской ГРЭС респ. Казахстан

Вид грунтов (период и генезис): 1- пески (P2, K2cn-m, K2cm), 2- супеси (1dQ), 3- суглинки (1dQ), 4- глины (P2- вскрыты скв. 70, K2cm+J1-2- залегающие глубже), 5- долериты, 6- точки: скважина и ВЭЗ, 7- литологическая граница, эл.сопротивление (Ом.м) слоя над границей и ее глубина залегания (м), 8- уровень (м) грунтовых вод УГВ, 9- месторождение подземных вод.

Второй вид аномалий естественно-геологической природы встречается в зонах развития мерзлых грунтов и, так называемой, вечной мерзлоты Северных территорий.

Для рассмотрения интересен пример эндогенных измерений (рис. 4) для оценки качества выполнения принудительной оттайки (пос. Тихий, Уренгойская ГРЭС).

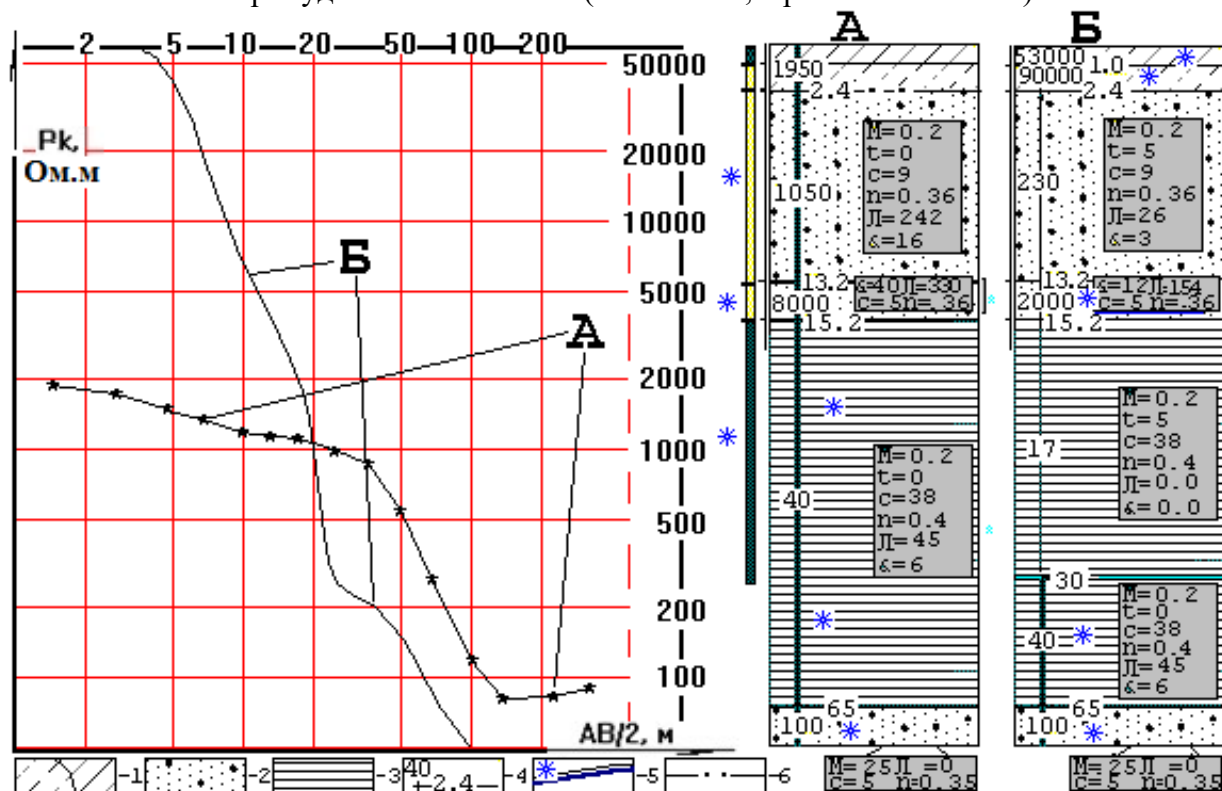


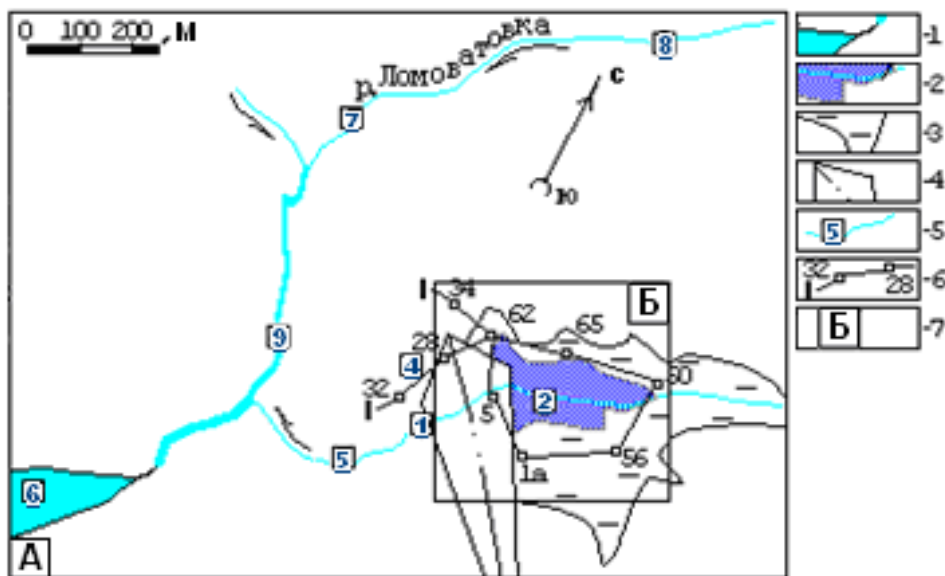
Рисунок 4. ВЭЗ и разрезы свайного основания 5-ти этажного жилого дома (А-до и Б- после оттайки многолетнемерзлой толщи на глубину 30 метров)

1, 2, 3- супеси (суглинки), пески и глины, 4- сопротивление и глубина слоя, 5- контакт оттайки и мерзлоты, 6- уровень грунтовых вод.

Льдистость: Л- матричная (усадка), инъекционная (просадка на полную жилу).

Как видно из примера, эл.сопротивления в 1050 и 8000 Ом.м характеризуют мерзлые пески, а 230 Ом.м – уровень талого состояния. В глинах 40 Ом.м – измеренный уровень мерзлоты, тогда как 17 Ом.м – зафиксированное значение оттаяния. График Б зондирования в этой области глубин показал пониженные рк.

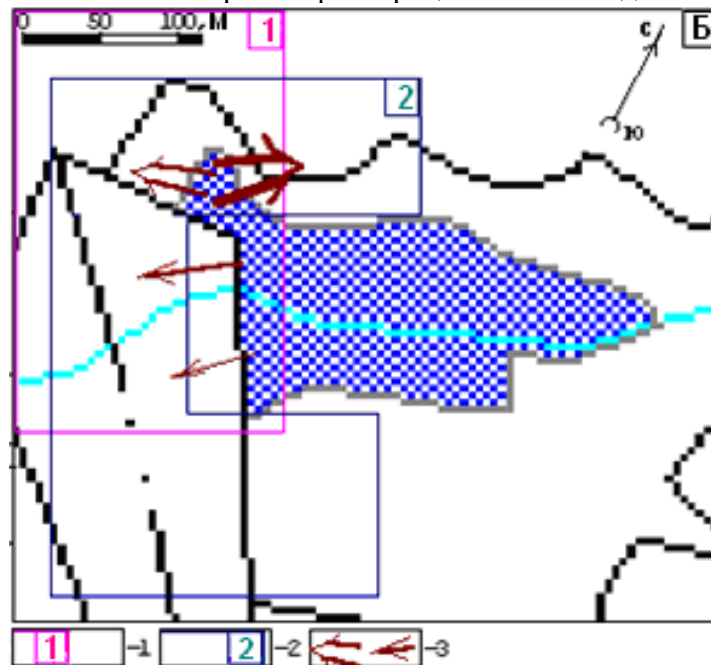
На примере изучения территории шламонакопителя был разработан прототип использования эндогенных сигналов электрометрии в условиях загрязнения (рис. 5).



**Рисунок 5. Территория шламоотвала Пермской ГРЭС (г. Добрянка).**

1 - область в залив Камского водохранилища, 2 - шламоотвал, 3 - его проектное положение, 4 - дамба и ее ось, 5 - точки отбора воды из поверхностных источников и номера проб, 6 - точки и номера электрозондирований ВЭЗ, 7 - «Б»- участок детального изучения.

При заполнении шламоотвала достижение проектного положения оказалось не возможным из-за утечек. Часть проб воды из 9-ти поверхностных источников показала превышение естественной минерализации (г/л): 1- 1.07, 2- 2.71, 4- 3.59, 5- 1.99, 6- 0.69, 7- 0.073, 8- 0.067, 9- 0.242. Выполнены измерения фильтрации и свойств дамбы (рис. 6).



**Рисунок 6. Участок детализации измерений.**

1-площадь съемки МС (ПСГ), 2- площадь съемки естественного поля (ЕЭП), 3- векторы направления фильтрации (скорость пропорциональна толщине стрелки).

Измерения площадного срединного градиента ПСГ позволили картировать контакты в обстановке субвертикальных шламового загрязнения и его интенсивность на фоне естественно-минерализованного водного заполнителя пор. Съемка ЕЭП выполнялась для разделения природы диффузии минерализованных растворов и адсорбции ионов на глинистых частицах (водоупорная емкость грунтов).

Данные ПСГ и ЕЭП позволили уверенно спланировать ВЭЗ, как ключевой метод дешифрирования насыщенности шламами. Загрязнитель был зафиксирован достоверно в показателях интерпретации сопротивления рухляков (рис. 7).

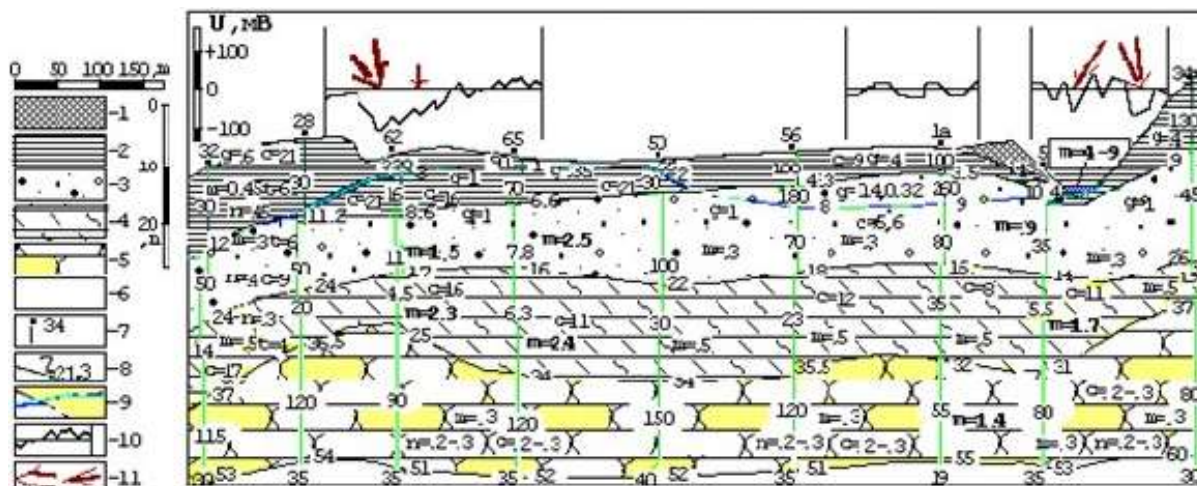


Рисунок 7. Разрез вокруг шламоотвала по результатам измерений ПСГ, ЕЭП и ВЭЗ.

- 1- насыпные грунты дамбы, 2- бурые глины и суглинки, 3- пески и гравийно-галечниковые грунты, 4- элювий рухляков алевролитов и аргиллитов, 5- песчаники, 6- алевролиты и аргиллиты, 7- точка ВЭЗ, номер, 8- эл.сопротивление и глубина слоя, 9- уровень грунтовых вод, 10- график ЕЭП по профилю, 11- скорость фильтрации (пропорциональна размеру стрелки).

На чертеже разреза жирным тоном показана шламовая минерализация  $m = 4.5, 2.5, 0.9$  г/л, тогда как естественная определена на уровне до 0.3 г/л.

В меридианальной зональности Юг- Север естественное гидрогеологическое разнообразие эндогенных сигналов электротметрии сформировано в связи с вариациями в грунтах разрезов (1) минерализации с повышением в южно-аридных областях и в силу (2) наличия льда и опасности проседания при вытаивании на территориях севера.

Интерпретация сигналов, картирующих карст и загрязнения жидкими отходами, эффективна в силу чувствительной природы измеряемых параметров электротметрии: по методу сопротивлений МС (ВЭЗ и ПСГ) и наблюдений естественных полей (ЕЭП).

В данных условиях дешифрирования техногенных составляющих операторы сигнальной математики модернизируются в расчетах гидродинамических состояний и гидравлики (1) дренирующих механизмов в карстопроявлениях, (2) моделей наливной пригрузки и параметров емкостно-объемных водоупоров: дамб шлаго- и хвостонакопителей, ограждающих дамб искусственных водоемов оборотки технологической воды, возводимых в энергетике тепловой генерации: ГРЭС, ТЭС, ТЭЦ [6- 9] .

### Обсуждение геотехнологии

Геофизический метод вертикальных электрических зондирований ВЭЗ отнесен к электроразведке по методу сопротивлений МС. Предмет изучения ВЭЗ – эндогенные- внутренние сигналы Недр, выражаемые через графики поглубинного распределения эл.сопротивлений. Традиционные представления в использовании – развертывание на массив данных скважинного изучения литологического строения. Ранее нами ВЭЗ в сочетании с ПСГ были предложены для картирования сортов твердых полезных ископаемых на горных блоках месторождений в естественном залегании [10], т.е. МС был методически обоснован сигналами оруденений, как инструмент геоинформатики в развертывании на массивы данных скважинной геохимии. В настоящей работе мы рассмотрели возможности развертывания на массив данных скважинного опробования с целью дешифрирования физических и водных свойств инженерно-геологических элементов (ИГЭ) разрезов в соответствии с требо-

ваниями строительства. Предмет изучения, картирования и дешифрирования в ВЭЗ – физические и водные свойства идентификации, как номенклатурных типов грунтов, так и водных свойств и состояний, что важно в решении эколого-инженерных задач при возведении объектов горной промышленности и гидротехнического строительства [6- 10].

Инновационная составляющая сигнальной математики и уравнений теории поля состоит в реализации «прямой электроагрегатной задачи» по алгоритму: вводим набор физических и водных свойств грунта → рассчитываем истинное сопротивление  $\rho_p$  (Ом.м), что численно запрограммировано в пп. 4- 7 IBM- программы KOBRA (рис. 8)



Рисунок 8. Сервисная страница программы и возможности интерпретатора.

Геоцифровизация интерпретационного процесса традиционно сталкивается с проблемой достоверного толкования цифровых двойников графических распределений ВЭЗ –  $r_k (AB/2) = F(\rho_p, h)$ , где  $r_k$  – измеренное кажущееся эл.сопротивление на полуразносе  $AB/2$  (дается в примерах на рисунков 2 и 4),  $\rho_p$  и  $h$  – интерпретационные истинные сопротивления и мощности грунтов (слоев) разреза.

Вредное действие принципа эквивалентности (неоднозначности) в проводящем слое формулируется следующим образом. Графики интерпретационный и измеренный добротно сходятся при постоянстве продольной проводимости  $S(\rho_p * h)$ , а искомые  $\rho_p$  и  $h$  при этом изменяются значительно (цифровые двойники). Двойники на графиках ВЭЗ для высокоомных слоев, напротив, возникают при равенстве примененного поперечного сопротивления ( $= h/\rho_p$ ).

Для регулярного преодоления предназначены расчеты  $\rho_p$  по свойствам кернов опорных скважин (рис. 8, п. 4- 7). Интерпретатор имеет возможность применения скважинных данных, кореллирует в интерпретируемом пространстве реперные и рядовые слои, посредством применения в расчетах лабораторных данных о кернах.

### Выводы

Изучение эндогенных сигналов электротометрии для дешифрирования водных свойств представляет важную научную и научно-практическую задачу развития геоинформационных сервисов эколого-инженерной оценки при возведении объектов горной промышленности и гидротехнического строительства.

Геоцифровизация при интерпретации, применение сигнальной математики и теории поля понимаются, как подход комплексирования, исключающий ошибки толкования цифровых двойников в силу преодоления вредного действия известных в геофизике принципов эквивалентности.



**Работа выполнена при поддержке РФФИ, в рамках грантов: № 94- 05- 16963- «а»; № 98- 05- 65001 «а», № 02- 05- 79130- «к», № 11- 05- 00159- «а» и в рамках тем государственного задания, выполняемых в ИГД УрО РАН с 1993 года.**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кикоин И. К. Таблицы физических величин. М.: Атомиздат, 1976.- 1008 с.
2. Петрофизика (1992): Справочник. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Н.Б. Дортман.- М.: Недра, - 361 с.
3. Шуй Р.Т. (1979) Полупроводниковые рудные минералы. Л.: Недра, 288 с.
4. Овчинников И. К. Теория поля /И. К.Овчинников// – М.: Недра, 1978. – 327 с.
5. Семенов А. С. Влияние структуры на сопротивление агрегатов /А. С. Семенов// Материалы ВСЕГЕИ. Геофизика. – 1948. – № 12. – С. 43-61.
6. Тимохин А.В. Гидродинамическое поле массивов горных пород в зоне непластового (нелинейного) сочленения систем с различными фильтрационными свойствами.// Экологическая безопасность ТЭК: проблемы, пути, решения. Тез. докл. Науч.-техн. Конф. - Пермь, 1994, - С.178 – 181.
7. Определение водного режима и состояния геологической среды на территории шламонакопителя / А.В. Тимохин // Гидротехническое строительство.- 1997.- № 3.- С. 17-18.
8. Устинов С.Н., Тимохин А.В. Моделирование электросопротивления горных пород при получении данных о геолого-тектоническом строении.// Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения). Тез. докл. Международной конференции. ИГД УрО РАН.- Екатеринбург. 1998. С. 43-50.
9. Тимохин А. В. Решение проблемы карстологической безопасности Урала с использованием измерительных средств картирования и геометризации геолого-техногенных сред /А. В. Тимохин // Золотодобывающая промышленность, 2010. – № 2 (38). – С. 26- 29. (продолжение) № 3(39). – с. 12-15, (окончание) № 4(40). – с. 8- 12.
10. Тимохин А.В. Задачи цифровой трансформации геоданных петрофизической оценки твердоминеральных ископаемых Урала в эпоху Индустрии 4.0 / А. В. Тимохин, А. М. Яковлев, В. Н. Шаповаленко / В сборнике: «Цифровая трансформация в горной промышленности и машиностроении». Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции. Екатеринбург, 2023. – с. 13- 18.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННОГО ПО

ТОМИЛОВ А. Д.

Научно-исследовательский и проектный институт АО «Уралмеханобр», Екатеринбург

**Аннотация.** В рамках проектирования отработки запасов Подольского месторождения за основу были взяты каркасы руды, созданные в программе MICROMINE на основе блочной модели, а также оси капитальных выработок, созданные в программе DATAMINE. Проектирование подготовительных и нарезных выработок, а также деление рудного поля на панели, ленты и выемочные единицы – камеры, производилось непосредственно в ПО DESWIK лабораторией геотехнологии отдела горной науки АО «Уралмеханобр».

Программный комплекс Deswik позволяет в режиме реального времени получить нужный разрез и работать в необходимой в данный момент плоскости. После построения 3d модели в основном cad модуле, дальнейшее проектирование выполняется с применением дополнительных модулей программы - выполняется создание связей и зависимостей в соответствии с обоснованным направлением и порядком отработки выемочных единиц. Задается порядок проходки подготовительных выработок с учетом времени ввода их в эксплуатацию. После выравнивания календаря добычи руды создается отчет с выводом годовой производительности, содержанием и количества полезного компонента по годам, с разделением на выемочные участки.

Построенная модель позволяет найти оптимальные технологические решения по ведению горных работ, определить влияние параметров технологических процессов горного производства на технико-экономические показатели проекта. Использование ПО DESWIK, при наличии определенных навыков, помогает быстро выполнять большие проекты, а также выполнять их корректировку при необходимости и получать точную оценку качественно количественных показателей проекта.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, Deswik, проектирование отработки, планирование, цифровизация.

## DESIGNING UNDERGROUND MINING OF ORE DEPOSITS USING MODERN SOFTWARE

TOMILOV A. D.

Research and Design Institute OJSC «Uralmekhanobr», Ekaterinburg

**Abstract.** As part of the design of the development of reserves of the Podolsk deposit, ore frames created in the MICROMINE program based on a block model, as well as the axes of capital workings created in the DATAMINE program, were taken as a basis. The design of preparatory and cutting workings, as well as the division of the ore field into panels, strips and mining units - chambers, was carried out directly in the DESWIK software by the geotechnology laboratory of the mining science department of Uralmekhanobr JSC.

The Deswik software package allows you to obtain the desired cut in real time and work in the plane required at the moment. After constructing a 3D model in the main CAD module, further design is carried out using additional program modules - connections and dependencies are created in accordance with the reasonable direction and order of mining of excavation units. The order of excavation of preparatory workings is set, taking into account the time of their commissioning.

After aligning the ore mining calendar, a report is created showing the annual productivity, content and quantity of the useful component by year, divided into mining areas.

The constructed model allows us to find optimal technological solutions for conducting mining operations and determine the influence of the parameters of mining technological processes on the technical and economic indicators of the project. Using DESWIK software, if you have certain skills, helps you quickly complete large projects, as well as make their adjustments if necessary, and obtain an accurate assessment of the qualitative and quantitative indicators of the project.

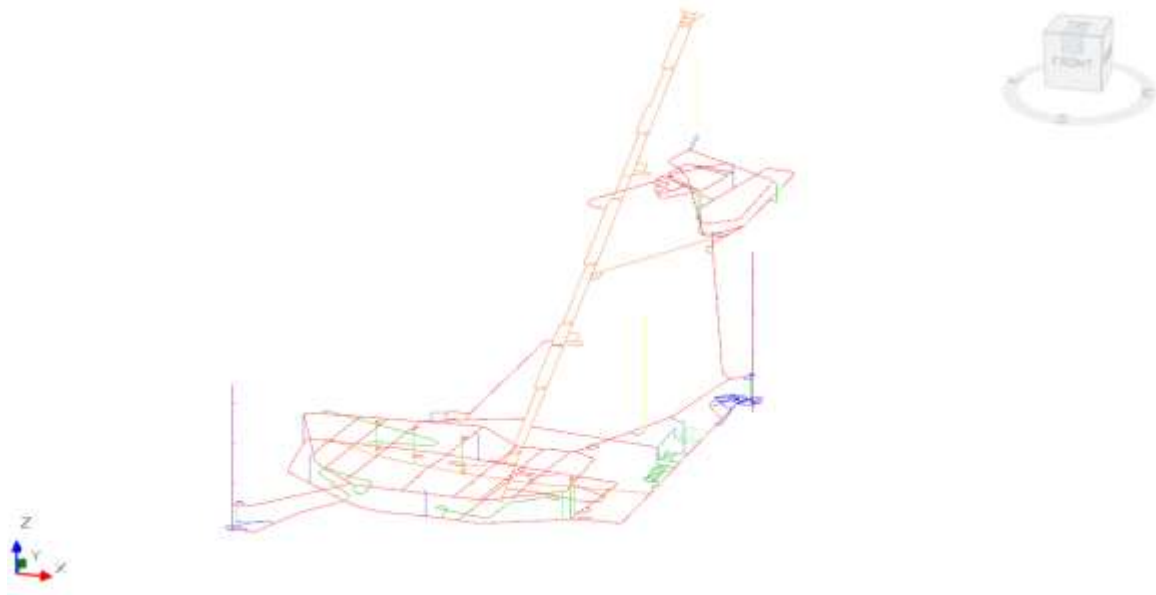
**Keywords:** software, Deswik, mining design, planning, digitalization.

### **Введение**

На сегодняшний день в горном деле достаточно остро встают вопросы цифровизации и автоматизации проектирования отработки месторождений. Просчёт сценариев, вариативность вскрытия и отработки занимают достаточно большой объём рабочего времени, цифровая модель в ПО DESWIK упрощает многие процессы, что в итоге позволяет увеличить точность и эффективность проектирования.

### **Исходные данные**

При проектировании отработки запасов Подольского месторождения за основу были взяты каркасы рудных тел (рис. 2), созданные в программе MICROMINE на основе блочной модели, а также оси капитальных выработок (рис. 1), созданные в программе DATAMINE. Программное обеспечение Deswik позволяет импортировать в свое пространство данные из любых программ, которые используются в горном деле. Создание 3D модели рудника, календаря строительства и добычи выполнялась в рамках работы «Корректировка технологического регламента», выпущенного АО Уралмеханобр в 2021 году. Все основные технологические решения этой работы и послужили исходными данными к проектированию.



**Рисунок 1 – Оси капитальных выработок Подольского месторождения**



**Рисунок 2 – Каркасы рудных тел основной залежи Подольского месторождения**

### Создание каркасов камер

Разделение рудного поля на панели, ленты и выемочные единицы – камеры, производилось непосредственно в ПО DESWIK лабораторией геотехнологии отдела горной науки АО «Уралмеханобр». Взяв за основу параметры выемочных единиц, обоснованных в технологическом регламенте на отработку запасов Подольского месторождения, используя дополнительный модуль Deswik.SO выполнили оптимизацию очистных пространств. Задаются параметры очистных камер, в том числе ограничения угла наклона днища камеры для передвижения ПДМ, бортовое содержание компонентов и др. Оптимизатор определяет прирезку вмещающих пород (разубоживание) и конструктивные потери руды, отстраивает каркасы камер. После получения каркасов (рис. 3) осуществляется заверка результатов автоматического построения – слишком маленькие камеры объединяются в большие по всем направлениям, в соответствии с геомеханическими ограничениями.

### Проектирование подготовительных и нарезных выработок, создание 3D модели

После получения проектных каркасов камер приступают к отрисовке осей подготовительных и нарезных выработок. По панели в каждом подэтаже проходит панельный орт, сбитый с полевым штреком с севера и юга, далее по почве каждой камеры буро-доставочный штрек и в кровле каждого блока, состоящего из 3 камер, вентиляционно-закладочный штрек.

Программный комплекс Deswik позволяет в режиме реального времени настроить нужный вид, разрез, отсечь лишнее и работать в необходимой в данный момент плоскости. На рисунке (рис. 4) показано рабочее пространство модели при проектировании подготовительно нарезных выработок в конкретной панели.

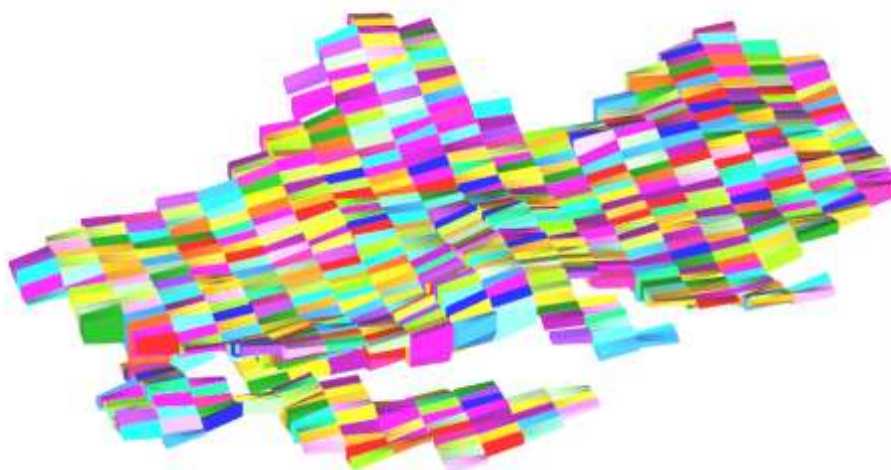


Рисунок 3 – Каркасы камер основной залежи после выполнения оптимизации Подольского месторождения

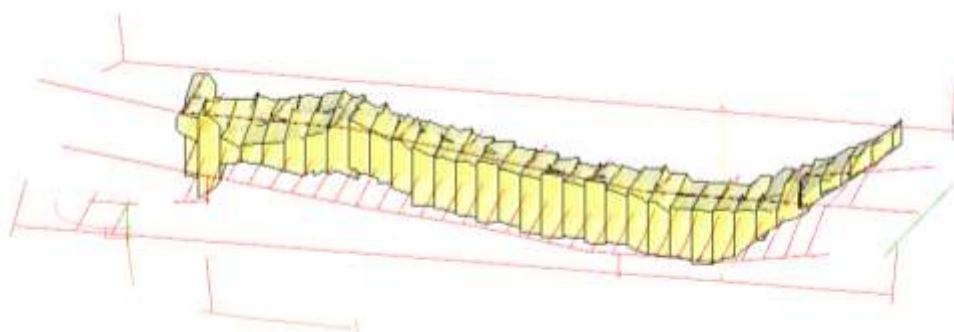


Рисунок 4 – Рабочий вид панели при проектировании подготовительных и нарезных выработок

Построив оси всех необходимых для отработки месторождения выработок, задав необходимые для дальнейшей работы атрибуты приступают к созданию 3D модели. Загружаются или проектируются необходимые сечения выработок (рис. 5), настраиваются типы задач – проходка, очистные пространства. Настраивается проект в дополнительном модуле Deswik.IS, с указанием свойств и данных для оценки полученных каркасов камер и выработок блочной моделью месторождения и запускается создание и просчет модели. Итогом этого этапа получаем построенную 3D модель рудника (рис. 6, 7) с данными по объемам руды, породы и полезного компонента внутри каждого отдельного каркаса (камеры).

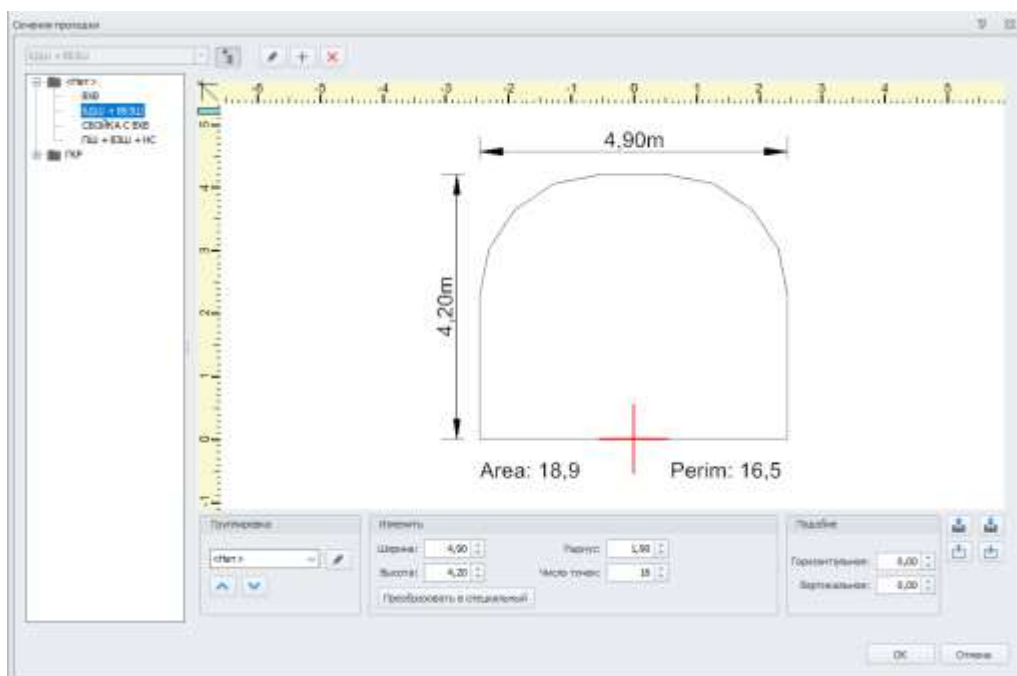


Рисунок 5 – Редактор сечений выработок

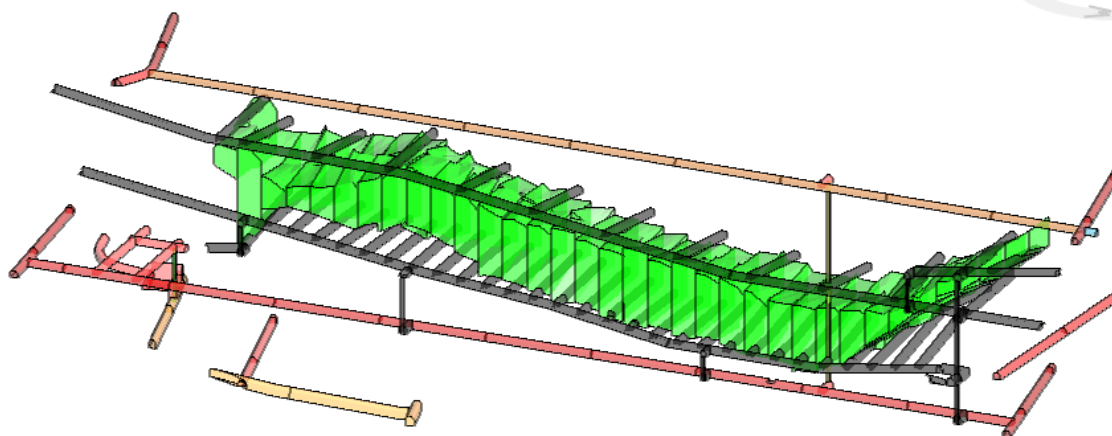


Рисунок 6 – Рабочий вид панели после построения 3D модели камер и горных выработок

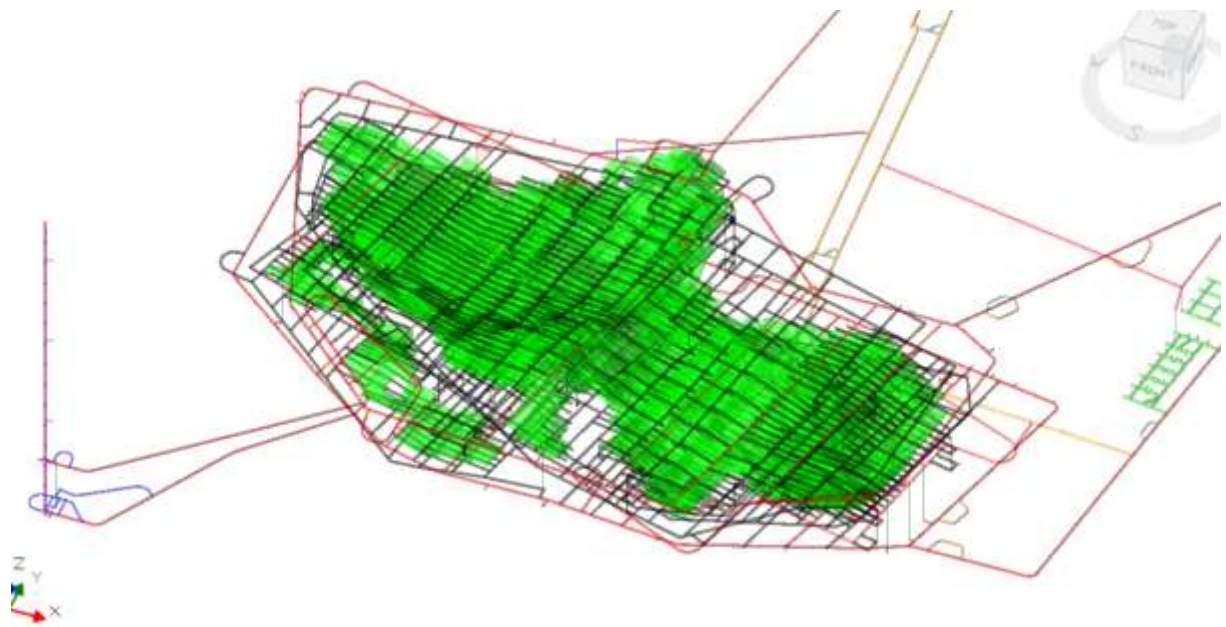


Рисунок 7 – Общий вид 3D модели основной залежи месторождения

### Проектирование календарного плана добычи руды

После построения 3d модели и заверки получившихся объёмов для недопущения ошибок, приступают к проектированию календарного плана добычи руды. Выполняется создание связей и зависимостей (рис. 8) в соответствии с обоснованным направлением и порядком отработки выемочных единиц. Задается порядок проходки капитальных, подготовительных и нарезных выработок с учетом скоростей проходки, нужного времени ввода их в эксплуатацию и ограничения по количеству одновременно работающих забоев. Исходя из этого мы получаем первичные данные о времени начала добычи и набору производительности. Создаются ресурсы необходимого или проектного количества шахтных машин с данными их производительности и присваиваются задачам, это начало работы по выравниванию набора производительности рудника по добыче руды. Далее производительность сглаживается вводом пределов ограничения (рис. 9), которые исключают резкие скачки и распределяют нагрузку на используемые ресурсы для планомерного развития и поддержания максимального периода проектной производительности.

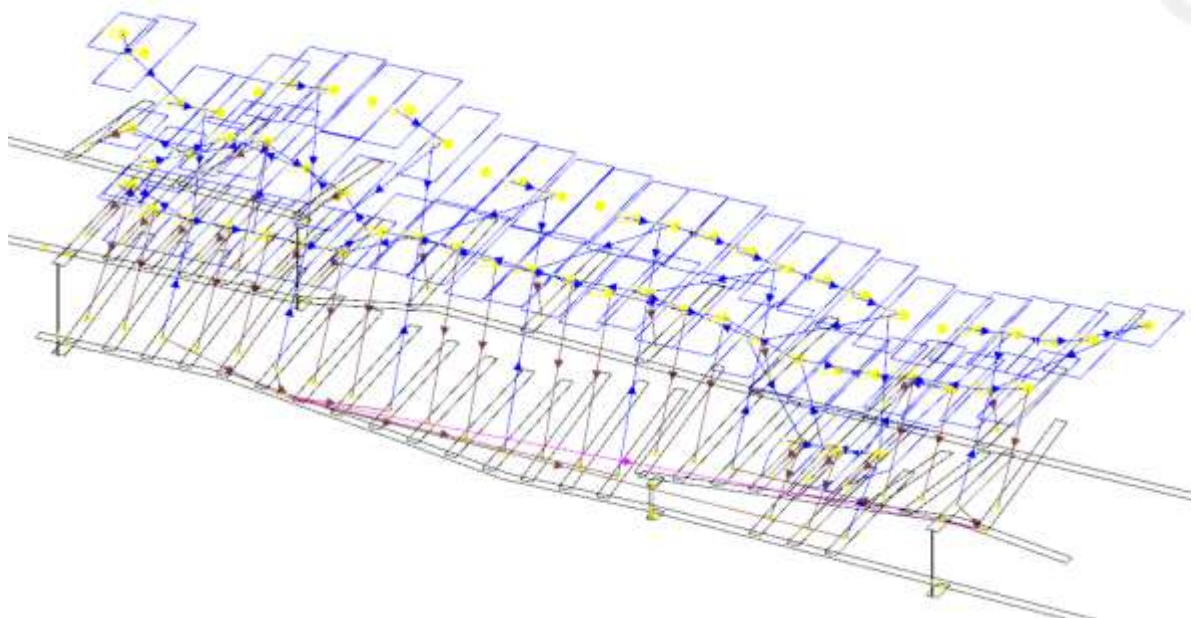


Рисунок 8 – Рабочий вид при создании связей и зависимостей

Описание: \_\_\_\_\_

Количественное поле: Эксп. затраты OZ 5+T      Ресурс: PDM OZ       Ответ с использованием условного форматирования

Фильтр источника: derived       Разрешить перенос

| Дата начала     | Каждые | Период | Для | Дата окончания     | Предел  | Стратегия последней задачи       |
|-----------------|--------|--------|-----|--------------------|---------|----------------------------------|
| 01.01.2031 0:00 | *      | 1 Year | 1   | 01.01.2032 0:00:00 | 950000  | Ближайшее к пределу              |
| 01.01.2032 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2033 0:00:00 | 1350000 | Ближайшее к пределу              |
| 01.01.2033 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2034 0:00:00 | 2400000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2034 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2035 0:00:00 | 2900000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2035 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2036 0:00:00 | 3700000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2036 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2037 0:00:00 | 3750000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2037 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2038 0:00:00 | 3790000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2038 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2039 0:00:00 | 3620000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2039 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2040 0:00:00 | 3850000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2040 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2041 0:00:00 | 4220000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2041 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2042 0:00:00 | 4600000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2042 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2043 0:00:00 | 4650000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2043 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2044 0:00:00 | 4630000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2044 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2045 0:00:00 | 4600000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2045 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2046 0:00:00 | 4580000 | Не превышать предельное значение |
| 01.01.2046 0:00 |        | 1 Year |     | 01.01.2047 0:00:00 | 4620000 | Не превышать предельное значение |

Рисунок 9 – Таблица настройки ограничений набора производительности

### Отчёт движения горных работ по результатам проектирования

После выравнивания календаря добычи руды создается отчет (рис. 10) с выводом годовой производительности, содержанием и количеством полезного компонента по годам, с разделением на выемочные участки. Также можно настроить разделение на подэтажи, яруса, панели, вывести отдельно значения по сортам руды, объёмы проходки по годам и многое другое. На данный момент в рамках нашей работы не возникло такой задачи, которую нельзя было решить, используя программное обеспечение Deswik.

### Вариативность сценариев и работа с готовой моделью рудника

После выполнения основной работы по проектированию 3D модели и представлению её заказчику дальнейшая работа связана с корректировкой входных данных для получения вариантов отработки месторождения.

Программное обеспечение Deswik позволяет внести изменения в готовый проект и тут же получить результат. Так как модель является динамичной можно проследить на каком участке месторождения и в какой момент возникают проблемы, пересмотреть и внести корректировку для получения наилучшего результата. Вводятся разные скорости проходки или сокращается срок твердения закладочной смеси, это связано с потребностью скорейшего выхода на проектную производительность или поднятием значения проектной производительности, а также поддержания максимального срока проектной производительности добычи руды. На рисунках (рис. 11 – 13) показан пример анализа чувствительности проекта рудника по разным факторам.





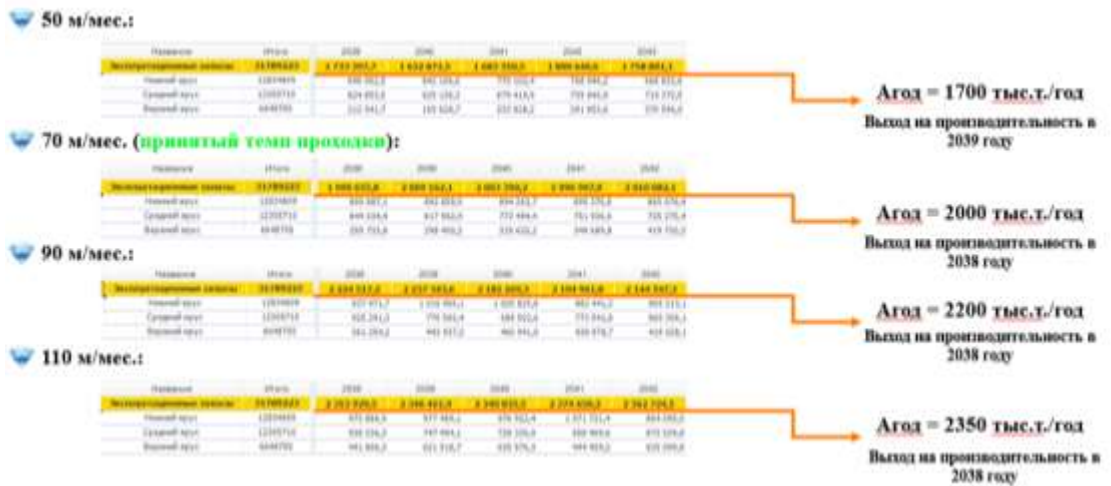


Рисунок 12 – Анализ чувствительности проекта по фактору скорости проходки выработок



Рисунок 13 – Анализ чувствительности проекта по фактору срока твердения закладочной смеси

### Заключение

Удобство и простота использования ПО DESWIK при наличии определенных навыков помогают быстро выполнять большие проекты, а также выполнять их корректировку при необходимости. Динамичность модели позволяет изменять значения основных факторов, влияющих на производительность рудника и наблюдать последствия этих изменений на отработке месторождения.

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ НА СТАДИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИЦЕНЗИИ НА ПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДРАМИ

ШАБАНОВА В. А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** Инструкция поэтапности и потребности в геоинформационных данных на этапах получения лицензии, подготовки проектной документации и эксплуатации месторождения полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** геоинформационные данные, лицензия, недропользователь, документы, распорядитель недр.

## GEOINFORMATION SUPPORT AND DATA PROCESSING AT THE STAGE OF OBTAINING A LICENSE FOR THE USE OF MINERAL RESOURCES

SHABANOVA V. A.

Ural State Mining University, Yekaterinburg

**Annotation.** Step-by-step instructions and the need for geoinformation data at the stages of obtaining a license, preparing project documentation and operating the place of birth of minerals.

**Keywords:** geoinformation data, license, subsoil user, documents, manager of the subsoil.

Перед началом отработки месторождения будущий недропользователь проходит несколько этапов согласования, сбора, обработки и анализа геоинформации. Под термином «геоинформация» подразумевается координированная информация о геопространстве и его объектах в цифровой компьютерно-воспринимаемой форме, предназначенная в качестве исходного материала для моделирования геопространства.

Порядок предоставления недр в пользование регламентирован Законом РФ "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1, в соответствии с которым «...пользование отдельными участками недр может быть ограничено или запрещено в целях обеспечения обороны страны и безопасности государства, рационального использования и охраны недр, охраны окружающей среды».

Самым первым этапом является подача пакета документов будущим недропользователем Распорядителю недр с заявкой о внесении участка в перечень участков недр, предлагаемых для предоставления в пользование (для разведки и добычи полезных ископаемых, а также геологического изучения, разведки и добычи полезных ископаемых).

На начальном этапе при формировании пакета документов на выдачу лицензии на право пользования недрами распорядителем недр выполняются запросы в организации, которые могут ограничить контуры лицензионного участка. Данную информацию будущий пользователь недр заказывает в ФГБУ «Росгеолфонде», либо его территориальных органах.

В результате этого в заявке отражаются такие данные, как:

- наименование участка недр;
- местоположение участка недр (субъект РФ, административный район);
- таблица географических координат угловых точек формируемого участка недр;
- планируемый вид пользования недрами;

– сведения о запасах и ресурсах основных полезных ископаемых, попутных полезных ископаемых и попутных компонентов, с указанием их количества по каждой категории, а также балансовой принадлежности запасов полезных ископаемых;

– краткое описание инфраструктуры района

Запросы отправляются в Минприроды региона, органы Минобороны и ФСБ, а также Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

1. Минприроды региона, предоставляет сведения об отсутствии на участке недр общераспространенных полезных ископаемых, а в случае наличия сведения о:

а) невозможности или затруднительности проведения геологического изучения, разведки и добычи твердых полезных ископаемых, не относящихся к общераспространенным полезным ископаемым, без вовлечения в освоение частей недр, содержащих общераспространенные полезные ископаемые;

б) невозможности включения частей недр, содержащих общераспространенные полезные ископаемые, в перечень участков недр местного значения по основаниям, предусмотренным пп. 1, 2 п. 8 Порядка подготовки, рассмотрения, согласования перечней участков недр местного значения или отказа в согласовании таких перечней, утвержденного приказом Роснедр от 15.06.2012 № 687, в связи с чем такие части недр не могут быть представлены для самостоятельной отработки по решению органа государственной власти соответствующего субъекта РФ.

2. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации представляет информацию о наличии или отсутствии особо охраняемых природных территорий федерального значения, а также сведения о наличии или отсутствии особо охраняемых природных территорий регионального и местного значения. Особо охраняемые природные территории (ООПТ) - участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны.

Пользование недрами на территориях населенных пунктов и зон с ООПТ может быть ограничено или запрещено в случаях, если это пользование может создать угрозу безопасности жизни и здоровья населения, охране окружающей среды, сохранности зданий и сооружений, включая сохранность горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недрами. местных ООПТ и т.д.

Пользование недрами на особо охраняемых природных территориях осуществляется в соответствии с режимом особой охраны их территорий» ст. 8 Закона РФ "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1.

3. Органы ФСБ и Минобороны РФ предоставляют данные об участках недр, отработка которых невозможна ввиду того, что они располагаются на особо охраняемых природных территориях, участках Минобороны, ФСБ России в части наличия или отсутствия земельных участков из состава земель безопасности и земель обороны в границах участка недр.

После получения данной информации Распорядитель недр формирует лицензионное соглашение, в котором по результатам вышеперечисленных запросов формируется контур месторождения, предоставляемый в пользование. Отмечаются основные условия и порядок отработки месторождения, границы санитарно-защитных зон, высотные отметки, формы государственной отчетности.

После получения заявки, соответствующей требованиям и содержащим полный перечень информации Распорядитель недр в срок не позднее 30 дней со дня регистрации, осуществляет формирование сведений об участке недр.

Для формирования участка недр Распорядителем запрашивается:

– справка из территориального фонда геологической информации, содержащая сведения:

– о соответствии координат формируемого участка недр паспорту месторождения (проявления) полезного ископаемого;

– о запасах и прогнозных ресурсах полезного ископаемого на участке недр, с учетом данных государственного баланса запасов полезных ископаемых и (или) соответствующих протоколов апробации (рассмотрения) прогнозных ресурсов;

– о наличии действующих лицензий на участке недр, о наличии в контуре формируемого участка недр месторождений и проявлений иных полезных ископаемых;

– справка ТФГИ с указанием геологических отчетов (название, автор, год составления, инвентарный номер хранения), по которым подготовлена информация о запасах и прогнозных ресурсах;

– отсканированные геологические карты и (или) схемы, на основании которых проведено определение контуров подсчета запасов и (или) прогнозных ресурсов, привязанные к соответствующей топографической карте (с приложением таблиц привязки (таблиц связей)), с указанием геологического отчета (название, автор, год составления, инвентарный номер хранения), по которому были подготовлены графические приложения;

– тейп-файл с оцифрованным контуром участка недр, предлагаемого для предоставления в пользование, на соответствующей топографической карте;

– копия протокола государственной экспертизы запасов по участкам недр и (или) протоколов апробации (рассмотрения) прогнозных ресурсов;

– выписку из государственного баланса запасов полезных ископаемых Российской Федерации, содержащую сведения по участку недр на последнюю отчетную дату;

– сведения о последнем периоде и стадиях геологоразведочных работ, проведенных на участке недр за счет средств федерального (регионального) бюджета и/или средств пользователей недр;

– сведения об отсутствии на участке недр общераспространенных полезных ископаемых, а в случае их наличия сведения о:

а) невозможности или затруднительности проведения геологического изучения, разведки и добычи твердых полезных ископаемых, не относящихся к общераспространенным полезным ископаемым, без вовлечения в освоение частей недр, содержащих общераспространенные полезные ископаемые;

б) невозможности включения частей недр, содержащих общераспространенные полезные ископаемые, в перечень участков недр местного значения по основаниям, предусмотренным пп. 1, 2 п. 8 Порядка подготовки, рассмотрения, согласования перечней участков недр местного значения или отказа в согласовании таких перечней, утвержденного приказом Роснедр от 15.06.2012 № 687, в связи с чем такие части недр не могут быть предоставлены для самостоятельной отработки по решению органа государственной власти соответствующего субъекта РФ.

– населенные пункты, транспортную сеть, гидрографическую сеть;

На следующем этапе пользователь недр обращается в проектную организацию. Главным инженером проектной организации определяются основные технические решения по отработке лицензионного контура месторождения, которые учитывают:

1. Техническое задание на проектирование.

В нем указываются общие данные заказчика, основные исходные данные для проектирования, в которых отмечают: способ отработки, сырьевую базу, состав и объем основного производства, режим работы безопасности, и охраны труда, охрана недр и прочее.

2. Данные о наличии/отсутствии ООПТ местного и федерального значения, наличие скотомогильников, захоронений, поселений коренных народов.

3. Отчет по геологическому изучению месторождения, а также балансовых запасов, поставленных на государственный учет.

Дополнительно проводится анализ расположения месторождения, его доступность (транспортные коммуникации), качество получаемого сырья, возможность отработки и подбор технологического оборудования. Результатом данной работы является технический проект на отработку месторождения.

После согласования проектной документации пользователь недр переходит к важному этапу отработки месторождения.

Отработка месторождения происходит согласно разработанной и утвержденной проектной документации. Ежегодно пользователь недр согласовывает и утверждает с распорядителем недр план развития горных работ, который должен учитывать и содержать данные, указанные в Приказе Ростехнадзора № 537 от 15.12.2020 г. Эти данные предоставляются в форме записки и чертежей.

Благодаря качественному анализу геоинформационных данных полученных на начальном этапе месторождение может быть отработано в наиболее полном объеме с учетом сохранения экологической среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Геоинформатика - новое направление в горной науке. <http://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatika-novoe-napravlenie-v-gornoj-nauke/viewer>.
2. Приказ Ростехнадзора № 537 от 15.12.2020 г.
3. Приказ Роснедр от 15.06.2012 № 687.
4. Закона РФ "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1.

УДК. 622.013

**ФАКТОРЫ МАРКЕТИНГОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО  
РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

СОБИРОВА Ш. Р.

Горно-металлургический институт Таджикистана, Чкаловск

*Аннотация.* Статья посвящена вопросам изучения влияния факторов на маркетингового регулирования устойчивого развития горных предприятий. Отмечены факторы, их влияние на маркетингового регулирования и методы управления этими факторами. Проведен краткий обзор влияния факторов и пути их регулирования.

*Ключевые слова:* маркетинговое регулирование, горные предприятия, факторы, развития, деятельность.

**FACTORS OF MARKETING REGULATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
OF MINING ENTERPRISES**

SOBIROVA SH. R.

Mining-metallurgical Institute of Tajikistan, Chkalovsk

*Abstract.* The article is devoted to the study of the influence of factors on marketing regulation of sustainable development of mining enterprises. Factors, their influence on marketing regulation and methods for managing these factors are noted. A brief overview of the influence of factors and ways of their regulation is provided.

*Keywords:* marketing regulation, mining enterprises, factors, development, activities.

Маркетинговое регулирование устойчивого развития горных предприятий зависит от множества факторов, которые влияют на их деятельность и позицию на рынке. К ключевым факторам можно отнести:

- Спрос и предложение;
- Конкурентная среда;
- Технологические изменения;
- Экологические ограничения;
- Законодательство и государственное регулирование;
- Географические и климатические условия;
- Социальные факторы.

Наглядно посмотрим влияние каждый из этих факторов.

**Спрос и предложение:**

Ценообразование: Уровень спроса и предложения напрямую влияет на цены на горные ресурсы. Когда спрос превышает предложение, цены обычно повышаются, что может привести к увеличению прибыли для горнодобывающих предприятий. Наоборот, избыточное предложение может привести к снижению цен и снижению прибыли. Регулирование

цен в данном случае может осуществляться путем управления объемами производства или складирования продукции.

**Маркетинговые стратегии:** Уровень спроса и предложения также определяет маркетинговые стратегии горнодобывающих предприятий. При высоком спросе компании могут сконцентрироваться на максимизации продаж и удовлетворении потребностей клиентов. В условиях низкого спроса компании могут пересмотреть свои стратегии и сосредоточиться на снижении издержек или поиске новых рынков сбыта.

**Исследования и разработки:** Когда спрос на определенные виды горных ресурсов возрастает, горнодобывающие предприятия могут инвестировать в исследования и разработки для повышения эффективности добычи и обработки руды. Это позволяет им адаптироваться к рыночным требованиям и удовлетворить растущий спрос.

**Диверсификация продукции:** На основе анализа спроса и предложения горнодобывающие компании могут принимать решения о диверсификации своей продукции. Если спрос на определенный вид ресурсов снижается, компании могут сосредоточить свое внимание на других видах полезных ископаемых, которые пользуются большим спросом. В этом плане следует учитывать то, что горные предприятия создаются там, где существуют месторождения полезных ископаемых и это является удерживающим фактором диверсификации в горных отраслях.

**Прогнозирование рынка:** Горнодобывающие предприятия могут использовать данные о спросе и предложении для прогнозирования будущих тенденций на рынке и разработки соответствующих стратегий маркетинга.

Регулирование спроса и предложения требует от горнодобывающих компаний гибкости и адаптивности, чтобы эффективно реагировать на изменения на рынке и максимизировать свою конкурентоспособность.

#### **Конкурентная среда:**

**Ценообразование:** Конкуренция со стороны других горнодобывающих предприятий может оказывать давление на цены. В рыночных условиях, где конкуренция высока, горнодобывающие компании могут быть вынуждены устанавливать более низкие цены для привлечения клиентов или могут сосредоточиться на других параметрах стоимости, таких как качество выпускаемого концентрата или металла.

**Продуктовые характеристики и дифференциация:** Конкурентная среда может стимулировать горнодобывающие предприятия к разработке и предложению новых или улучшенных продуктов и услуг. Дифференциация продукции может помочь компаниям выделиться среди конкурентов и удержать покупателей.

**Маркетинговые активности:** Для привлечения и удержания клиентов горнодобывающие компании могут интенсивнее вести маркетинговые активности, такие как рекламные кампании, улучшение бренда, участие в выставках и конференциях.

**Исследование рынка и анализ конкурентов:** Внимательное изучение конкурентов и их стратегий позволяет горнодобывающим компаниям лучше понимать свою позицию на рынке и разрабатывать эффективные маркетинговые стратегии, основанные на уникальных преимуществах и слабостях.

**Регулирование конкуренции:** Государственные органы могут вмешиваться для регулирования конкуренции на рынке горнорудной продукции, чтобы предотвратить монополизацию или злоупотребление доминирующим положением на рынке. Это может включать в себя антимонопольное законодательство и меры по защите конкуренции.

**Стимулирование инноваций:** Конкурентная среда может способствовать стимулированию инноваций и технологического развития в горнорудной отрасли, поскольку компании стремятся выделиться на фоне конкурентов через предложение уникальных продуктов или улучшение производственных процессов.

Регулирование конкурентной среды в горнорудной отрасли требует баланса между стимулированием конкуренции и предотвращением нежелательных последствий, таких как

монополизация рынка или демпинговая конкуренция. Это способствует развитию инноваций, повышению качества продукции и обеспечению лучших условий для потребителей.

**Технологические изменения:**

Улучшение производственных процессов: Внедрение новых технологий в добычу и обработку руды может повысить эффективность и производительность горнорудных предприятий. Это позволяет снижать издержки производства и улучшать качество продукции, т.е. повышается процент извлечения полезного компонента в руде, что может стать основой для маркетинговых стратегий, направленных на конкурентное преимущество.

Инновационные продукты и услуги: Новые технологии могут способствовать разработке инновационных продуктов и услуг, таких как рудные концентраты с улучшенными характеристиками или экологически чистые методы обработки руды. Это позволяет горнорудным предприятиям выделиться на рынке и удовлетворить изменяющиеся потребности клиентов.

Улучшение безопасности и экологической устойчивости: Технологические инновации могут также направляться на улучшение условий труда и соблюдение экологических стандартов. Горнорудные предприятия, обладающие передовыми технологиями в области безопасности и экологической устойчивости, могут использовать это в качестве конкурентного преимущества и часть своей маркетинговой стратегии.

Адаптация к изменяющимся требованиям рынка: Технологические изменения позволяют горнорудным предприятиям быстрее адаптироваться к изменяющимся требованиям рынка и изменениям в потребительском спросе. Это может включать в себя быструю переключаемость между видами продукции или гибкость в производстве.

Использование информационных технологий в маркетинге: Современные информационные технологии позволяют горнорудным предприятиям улучшать свои маркетинговые стратегии, собирать и анализировать данные о рынке, взаимодействовать с клиентами через цифровые каналы и т. д.

Регулирование технологических изменений может осуществляться через инновационную политику, научно-техническое сотрудничество с государством и общественными организациями, а также через стимулирование инвестиций в исследования и разработки в горнорудной отрасли. Это помогает обеспечить устойчивое развитие отрасли и поддерживать ее конкурентоспособность на мировом рынке.

**Экологические ограничения:**

Соблюдение экологических стандартов: Горнорудные предприятия должны соблюдать строгие экологические стандарты, установленные законодательством, включая ограничения по выбросам вредных веществ, обеспечение чистоты воды и воздуха, а также реструктуризацию территорий после добычи. Несоблюдение этих стандартов может негативно сказаться на репутации компании и ухудшить её конкурентоспособность.

Инвестиции в экологические технологии: Горнорудные предприятия могут использовать инновационные экологические технологии для снижения негативного воздействия на окружающую среду. Это может включать в себя внедрение чистых методов обработки руды, рециркуляцию воды, снижение выбросов и другие меры. Инвестиции в такие технологии могут стать частью маркетинговой стратегии, направленной на подчеркивание экологической ответственности компании и привлечение клиентов, для которых это важно.

Социально-экологическая ответственность: Горнорудные предприятия могут активно привлекать внимание к своей социальной и экологической ответственности в рамках маркетинговых кампаний. Это может включать в себя участие в проектах по охране окружающей среды, социальные программы в регионах своей деятельности, а также прозрачность в отношении своих экологических показателей и результатов.

Сертификация и экологические программы: Получение сертификатов и использование экологических программ для продукции может помочь горнорудным предприятиям



дифференцировать свои товары и услуги на рынке. Это может привлечь внимание клиентов, которые ценят экологически чистые продукты и готовы заплатить за них дополнительную цену.

**Взаимодействие с общественностью и заинтересованными сторонами:** Горнорудные предприятия могут активно взаимодействовать с общественностью и заинтересованными сторонами (например, местными сообществами, экологическими организациями, государственными органами) для обсуждения экологических вопросов и разработки совместных стратегий по их решению.

Регулирование экологических ограничений может осуществляться через законодательные меры, стимулирование инвестиций в чистые технологии, мониторинг и контроль за соблюдением экологических стандартов, а также через общественное давление и публичное мнение. Это помогает гарантировать устойчивое и ответственное развитие горнорудной отрасли.

#### **Законодательство и государственное регулирование:**

**Экологические нормы и стандарты:** Законы и нормативы, устанавливающие требования к защите окружающей среды, влияют на маркетинговые стратегии горнорудных предприятий. Компании вынуждены соблюдать эти стандарты, что может потребовать дополнительных инвестиций в экологически чистые технологии и процессы.

**Лицензирование и разрешительные процедуры:** Горнорудные предприятия должны получить соответствующие лицензии и разрешения на свою деятельность. Это может влиять на маркетинговые стратегии компаний, так как некоторые регионы могут иметь более строгие требования или процедуры получения лицензий.

**Налоговое регулирование:** Налоговые ставки и правила налогообложения также влияют на маркетинговые стратегии горнорудных предприятий. Например, налоговые льготы или скидки могут стимулировать инвестиции в развитие и модернизацию производства.

**Политика поддержки и стимулирования:** Государственные программы и инициативы, направленные на развитие горнодобывающей отрасли или поддержку инноваций, могут влиять на маркетинговые решения компаний. Например, государственные субсидии или гранты для исследований и разработок могут способствовать внедрению новых технологий и повышению конкурентоспособности.

**Антимонопольное законодательство:** Законы, регулирующие конкуренцию на рынке, могут ограничивать определенные маркетинговые практики, такие как ценовой демпинг или монополизация рынка. Это может потребовать от горнодобывающих компаний адаптировать свои стратегии и действия в соответствии с законодательством.

Регулирование законодательства и государственных органов может осуществляться через разработку и внедрение новых законов и нормативов, а также через контроль и надзор за их соблюдением. Это помогает обеспечить справедливую и эффективную конкуренцию на рынке горнорудной продукции и создать условия для устойчивого развития отрасли.

#### **Географические и климатические условия:**

**Доступность ресурсов:** Географическое расположение горнодобывающих предприятий определяет доступность рудных месторождений. Это влияет на выбор стратегий маркетинга, так как компании должны учитывать транспортные расходы и сложность добычи в различных регионах.

**Климатические условия:** Климатические факторы, такие как погода, сезонные изменения и климатические катаклизмы, могут влиять на производственные процессы и поставки горнодобывающих компаний. Это требует от компаний адаптировать свои маркетинговые стратегии, чтобы минимизировать риски и обеспечить непрерывность поставок.

**Инфраструктура и транспорт:** Географические условия могут также влиять на доступность транспортных маршрутов и инфраструктуры, необходимой для добычи и транспортировки руды. Это может повлиять на логистику и стоимость поставок, что нужно учитывать при разработке маркетинговых стратегий.

Развитие местных рынков: Географические условия могут определять развитие местных рынков и специфические потребности потребителей в различных регионах. Горнорудные компании могут адаптировать свои маркетинговые стратегии, чтобы учитывать эти различия и удовлетворять потребности клиентов в разных регионах.

Экологические особенности: Географические условия могут также включать в себя экологически важные области, которые требуют специального внимания и защиты со стороны горнодобывающих компаний. Это может влиять на их маркетинговые стратегии и общественное восприятие бренда.

Регулирование географических и климатических условий может осуществляться через инвестиции в инфраструктуру и транспорт, разработку технологий для адаптации к экстремальным климатическим условиям, а также через участие в экологических программах и проектах. Это помогает гарантировать устойчивое развитие горнодобывающей отрасли и обеспечивать эффективную работу предприятий в различных географических условиях.

#### **Социальные факторы:**

Уровень занятости: Горнодобывающие предприятия часто являются крупными работодателями в местных сообществах. Уровень занятости и благосостояние населения в регионе напрямую влияют на спрос на продукцию и услуги этих предприятий. Поэтому социальная ответственность компаний и их вклад в развитие трудовых ресурсов региона играют важную роль в маркетинговых стратегиях.

Взаимоотношения с местным населением: Взаимодействие с местными сообществами является ключевым аспектом маркетинговой деятельности горнодобывающих предприятий. Поддержка местных инициатив, социальных программ и инфраструктурных проектов помогает компаниям установить позитивные отношения с местным населением и укрепить свою репутацию в сообществе.

Безопасность труда и условия труда: Горнодобывающая отрасль связана с высокими рисками для работников. Обеспечение безопасности труда и создание благоприятных условий труда являются важными аспектами маркетинговой стратегии, поскольку это влияет на привлекательность компании как работодателя и на отношение местного населения к ней.

Участие в социальных и образовательных проектах: Горнодобывающие компании могут активно участвовать в социальных и образовательных программах в регионах своей деятельности. Это может включать в себя спонсорство местных мероприятий, финансирование образовательных программ и развитие инфраструктуры.

Культурные особенности: Понимание культурных особенностей и ценностей местного населения также играет важную роль в маркетинговых стратегиях горнодобывающих предприятий. Учитывая эти аспекты, компании могут адаптировать свои маркетинговые кампании и взаимодействие с местным населением для более эффективной работы на рынке.

Регулирование социальных факторов в маркетинге горнодобывающих предприятий может осуществляться через разработку и внедрение социальных программ, соблюдение нормативов по безопасности труда и трудовым отношениям, а также через активное взаимодействие с местными сообществами и общественными организациями. Это помогает создать устойчивые и долгосрочные отношения между предприятиями и их окружающей средой, что является важным аспектом успешного маркетинга.

Понимание и учет этих факторов помогает горнодобывающим компаниям разрабатывать эффективные маркетинговые стратегии и адаптироваться к изменяющимся условиям на рынке и в окружающей среде.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурчаков В.А. Методические рекомендации по определению границ и объемов товарных рынков угледобывающих предприятий. — М.: Изд-во МГГУ, 2002.
2. Бурчаков В.А. Маркетинг в горной промышленности: Учебное пособие. — М.: Изд-во «Горная книга», 2013.
3. Лузин В.П. Маркетинг минерального сырья: Учеб. пособие. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2007.

## СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РЕГИОНЕ

НАЗАРМАТОВ А. А.

Горно-металлургический институт Таджикистана, Чкаловск

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы, касающиеся размещения горнорудной промышленности в регионе. Классифицируются принципы и факторы размещения горнорудной промышленности. Показаны отличительные особенности, учитываемые при размещении горнорудной промышленности. Указаны некоторые проблемы, связанные с размещением и пути их решения. Отмечено влияние природных ресурсов на развитие и размещение горнорудной промышленности, а также влияние размещения горнорудной промышленности на развитие экономики региона.

**Ключевые слова:** размещение, горнорудная промышленность, факторы, влияние, регион.

## SPECIFIC FEATURES OF LOCATION OF THE MINING INDUSTRY IN THE REGION

NAZARMATOV A. A.

Mining-metallurgical institute of Tajikistan, Chkalovsk

**Abstract.** The article discusses issues related to the location of the mining industry in the region. The principles and factors of location of the mining industry are classified. The distinctive features that are absorbed in the placement of the mining industry are shown. Some problems associated with placement and ways to solve them are indicated. The influence of natural resources on the development and location of the mining industry, as well as the influence of the location of the mining industry on the development of the regional economy, is noted.

**Keywords:** location, mining industry, factors, influence, region.

Горнорудная промышленность играет ключевую роль в экономическом развитии регионов, обеспечивая сырьем для металлургии, строительства и других отраслей промышленности, при этом, в отличие от других отраслей промышленности имеет свои специфические особенности территориального размещения. В современном мире горнорудная промышленность является одним из важных элементов экономического развития многих регионов. Выбор места размещения горнорудных предприятий оказывает значительное влияние на эффективность и устойчивость производства. Эффективное размещение горнорудных предприятий в регионе зависит от различных факторов, таких как геологические особенности, инфраструктура, экологические требования и социальные аспекты. На рисунке 1 показаны основные факторы и принципы, проблемы и отличительные особенности размещения горнорудной промышленности в регионе.



**Рисунок 1. Основные аспекты размещения горнорудной промышленности в регионе**

Современная горнорудная промышленность требует комплексного и сбалансированного подхода к размещению, учитывая экологические, социальные и экономические аспекты. Только такой интегрированный подход может обеспечить устойчивое развитие региона и горнорудной отрасли в целом.

**Геологическая уникальность и ресурсная база.** Одним из первостепенных факторов является геологическая уникальность региона и наличие в нем богатых месторождений полезных ископаемых. Качество руды, ее концентрация и геологическая структура напрямую влияют на эффективность добычи и обработки.

**Инфраструктура и транспортная доступность.** Наличие развитой инфраструктуры, такой как транспортные сети, энергетические ресурсы, и обеспечение транспортной доступности к месторождениям, снижает затраты на логистику и обеспечивает эффективную транспортировку сырья и готовой продукции.

**Экологические и социальные аспекты.** Современные требования к экологической устойчивости ставят перед горнорудной промышленностью задачу минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Кроме того, важно учитывать социальные аспекты, такие как вовлечение местного населения, создание рабочих мест и реализация социальных программ.

**Экономическая целесообразность.** Анализ экономической эффективности включает в себя оценку затрат на добычу и обработку руды, конкурентоспособность на рынке, а также резервы прибыли. Экономическая целесообразность размещения горнорудных предприятий существенна для устойчивого развития отрасли.

Технологическая инфраструктура и инновации. Использование современных технологий, автоматизация и цифровизация процессов добычи и обработки руды становятся важными факторами для повышения эффективности производства и обеспечения конкурентоспособности.

Геополитические и законодательные факторы. Геополитическая стабильность региона и ясное законодательство в области горнодобывающей деятельности оказывают влияние на привлекательность для инвесторов и успешность бизнес-проектов.

Государственная поддержка и регулирование. Политика государства, наличие налоговых льгот, мер поддержки и степень регулирования отрасли также важны для определения места размещения горнорудных предприятий.

Анализ и учет вышеперечисленных факторов в совокупности позволяют создать баланс между интересами бизнеса, общества и природы, что способствует устойчивому и эффективному развитию горнорудной промышленности в регионе.

Следует отметить, что природные ресурсы играют ключевую роль в развитии и размещении горнорудной промышленности. Эти ресурсы представляют собой основу для деятельности горнорудной отрасли и определяют выбор месторождений для добычи и обработки полезных ископаемых. Влияние природных ресурсов на развитие и размещение горнорудной промышленности:

Месторождения и запасы руд. Наличие месторождений с высоким качеством и обширными запасами руды является ключевым фактором для размещения горнорудной промышленности. Различные типы металлических, неметаллических и энергетических полезных ископаемых привлекают внимание инвесторов и компаний.

Геологические особенности. Геологическая структура региона определяет доступность рудных месторождений. Например, горные породы, геологические складки или особенности земной коры могут создавать уникальные условия для формирования месторождений.

Качество руды. Качество добываемой руды влияет на эффективность производства и конечное качество продукции. Горнорудные предприятия часто ориентируются на месторождения с высоким содержанием ценных металлов и минералов.

Энергетические ресурсы. Доступность энергии является важным фактором для горнорудной промышленности. Регионы с обширными запасами энергетических ресурсов, таких как уголь, газ или гидроэнергия, могут быть предпочтительными для размещения горнорудных предприятий.

Вода и транспортные сети. Наличие воды для обработки руды и транспортных сетей для перевозки сырья и готовой продукции также важны. Регионы с доступностью воды и хорошо развитой транспортной инфраструктурой могут быть предпочтительными для горнорудной деятельности.

Экологическая устойчивость. Некоторые регионы могут быть особенно ценными для горнорудной промышленности из-за их экологической устойчивости. Внимание к соблюдению экологических стандартов и возможность использования экологически чистых методов добычи и обработки руды становятся важными.

Географическое положение. Географическое положение региона может оказывать влияние на стоимость транспортировки и логистики, что важно для экономической эффективности деятельности.

Климатические условия. Климатические условия могут влиять на технологии добычи и обработки руды. Например, сезонность и экстремальные погодные условия могут требовать специфических технических решений.

Природные ресурсы, таким образом, определяют возможности и ограничения горнорудной промышленности в конкретном регионе. Эффективное управление и использование этих ресурсов с учетом экологических, экономических и социальных аспектов способствует устойчивому развитию этой отрасли и региона в целом.

Размещение горнорудной промышленности в регионе часто сопряжено с различными проблемами, такими как экологические риски, социальные конфликты, и нестабильность рынка. Решение этих проблем требует комплексного подхода и сбалансированных стратегий. К возможным решениям этих проблем можно отнести:

**Экологическая устойчивость.** Внедрение чистых технологий и методов добычи, которые минимизируют воздействие на окружающую среду. Соблюдение строгих стандартов и нормативов по охране природы и внедрение мер по реабилитации земель после завершения деятельности. Активное взаимодействие с экологическими организациями и общественностью для обеспечения прозрачности и вовлеченности в процессы принятия решений.

**Социальная устойчивость.** Создание партнерств с местными сообществами, включая консультации и участие в принятии решений относительно размещения и развития предприятий. Развитие социальных программ, направленных на обучение и поддержку местного населения, а также создание рабочих мест. Установление открытого диалога с местными жителями, предоставление информации о влиянии горнорудной деятельности на их жизнь.

**Экономическая эффективность.** Проведение тщательного экономического анализа для оценки рентабельности проекта и его устойчивости в условиях рыночной нестабильности. Введение инноваций и современных технологий для повышения эффективности производства и снижения затрат. Взаимодействие с государственными и местными властями для создания благоприятных налоговых и законодательных условий для инвестиций.

**Геополитическая устойчивость.** Анализ и мониторинг геополитической ситуации в регионе для принятия предосторожностей в случае возможных рисков. Развитие стратегий диверсификации поставок и расширение рынков сбыта для снижения зависимости от изменчивости глобальной политической обстановки.

**Технологическая интеграция.** Инвестиции в исследования и разработку для внедрения передовых технологий, повышающих эффективность и снижающих негативное воздействие на окружающую среду. Обучение персонала с использованием новых технологий, чтобы повысить профессионализм и снизить воздействие на здоровье работников.

**Участие государства.** Введение строгого государственного контроля за выполнением экологических и социальных стандартов. Создание стимулов и льгот для компаний, соблюдающих высокие стандарты ответственного ведения бизнеса.

**Региональное сотрудничество.** Взаимодействие с другими предприятиями и региональными органами для совместных проектов и обмена опытом. Содействие в создании инфраструктуры, которая могла бы быть использована несколькими компаниями, снижая общие экологические и социальные издержки.

Решение проблемы размещения горнорудной промышленности в регионе требует гармонии между экономическими, экологическими и социальными интересами. Важна совместная работа компаний, государства, местных сообществ и экологических организаций для достижения устойчивого и взаимовыгодного развития.

В свою очередь, размещение горнорудной промышленности в регионе оказывает значительное влияние на развитие экономики, привнося в нее как положительные, так и отрицательные аспекты (рисунок 2).



**Рисунок 2. Влияние размещения горнорудной промышленности на развитие экономики региона**

Рассмотрим основные воздействия размещения горнорудной промышленности на развитие экономики региона.

**Положительные аспекты:**

**Экономический рост.** Горнорудная промышленность может стать движущей силой экономического роста в регионе. Разработка месторождений и добыча полезных ископаемых способствуют увеличению объемов производства и выручки, что влияет на общий экономический показатель региона.

**Создание рабочих мест.** Горнорудная промышленность требует значительного числа работников, начиная от горнорабочих и заканчивая инженерами и специалистами по обработке. Создание новых рабочих мест благоприятно сказывается на уровне занятости в регионе.

**Инфраструктурное развитие.** Размещение горнорудных предприятий стимулирует развитие инфраструктуры в регионе. Строительство дорог, энергетических объектов, жилой и социальной инфраструктуры способствует повышению общего уровня развития.

**Приток инвестиций.** Разработка горнорудных проектов привлекает инвестиции в регион. Это может способствовать развитию других отраслей, таких как строительство, транспорт, и обслуживающие сферы.

**Отрицательные аспекты:**

**Экологическое воздействие.** Горнорудная промышленность часто связана с значительным воздействием на окружающую среду. Добыча и обработка руды могут вызывать загрязнение воздуха, почвы и водных ресурсов, что может привести к экологическим проблемам.

**Социальные изменения.** Большой приток рабочей силы и изменения в инфраструктуре могут вызвать социальные изменения, включая увеличение числа населения и социальные напряжения.

**Цикличность рынка.** Горнорудная промышленность подвержена цикличности рынка. Спрос и цены на руду могут сильно колебаться, что влияет на доходность предприятий и финансовое состояние региона.

**Зависимость от мировых рынков.** Развитие горнорудной отрасли часто зависит от мировых рыночных условий. Изменения в глобальной экономике и сырьевых рынках могут сильно повлиять на экономику региона.

Ограниченность ресурсов. Долгосрочная устойчивость горнорудной промышленности может зависеть от ограниченности ресурсов на месторождении. Исчерпание запасов может привести к экономическим трудностям.

С учетом вышеперечисленных аспектов, важно проводить балансировку интересов, разрабатывать стратегии устойчивого развития, внедрять передовые технологии и учитывать социальные и экологические аспекты для достижения наилучших результатов в размещении горнорудной промышленности в регионе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крюков, В. А., Севастьянов А. Е., Токарев А. Н., Шмат В. В. Обоснование направлений развития ресурсных территорий – комплексная «мезоуровневая» проблема / В. А. Крюков, А. Е. Севастьянов, А. Н. Токарев, В. В. Шмат // Экономика региона. – 2015. - № 4. – С. 260-274.
2. Потравный, И. М., Новоселов А. Л., Новоселова И. Ю. Оптимизация использования ресурсов техногенных месторождений с учетом факторов неопределенности / И. М. Потравный, А. Л. Новоселов, И. Ю. Новоселова // Экономика региона. – 2017. - т. 13. - вып. 4. - С. 1280-1290.
3. Тенденции развития — 2019. 10 ключевых факторов, оказывающих влияние на будущее горнодобывающего сектора [Электронный ресурс] – Режим доступа: // URL: <https://www2.deloitte.com/ru/ru/pages/energy-and-resources/articles/tracking-the-trends.html> (дата обращения 25.12.2023).
4. Фоменко, А. А., Даваахуу Нямдорж Управление развитием территорий в районах деятельности горнодобывающих предприятий: экономические и экологические аспекты / А. А. Фоменко, Даваахуу Нямдорж. // Экономика и предпринимательство. – 2016. - № 10 (ч. 3). - С. 828-832.



## УПРАВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ХАДЖИБАЕВА М. М.

Горно-металлургический институт Таджикистана, Чкаловск

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся управлению человеческими ресурсами предприятий горной промышленности. Приведены некоторые вопросы, являющиеся важными для управления человеческими ресурсами на горных предприятиях. Отмечены особенности управление человеческими ресурсами на горных предприятиях, а также различные механизмы, используемых для эффективного управления персоналом на горных предприятиях.

**Ключевые слова:** человеческие ресурсы, управление, горные предприятия, особенности и механизмы управления, эффективность.

## HUMAN RESOURCE MANAGEMENT IN MINING ENTERPRISES

KNADZHIBAEVA M. M.

Mining-metallurgical institute of Tajikistan, Chkalovsk

**Abstract.** This article discusses issues related to human resource management of mining enterprises. Some issues that are important for human resource management in mining enterprises are given. The features of human resource management at mining enterprises are noted, as well as various mechanisms used for effective personnel management at mining enterprises.

**Keywords:** human resources, management, mining enterprises, features and mechanisms of management, efficiency.

Человеческий капитал является одновременно фактором и результатом развития горной промышленности, что во многом определяет особенности его формирования и использования. Управление формированием и использованием человеческого капитала в горной промышленности представляет собой сложную систему, разрешение которой требует разработки ряда теоретических, методологических и практических вопросов, направленных на обеспечение промышленной независимости страны, повышение конкурентоспособности продукции отечественных горнорудных предприятий, повышение качества жизни населения, стимулирование инновационной деятельности и инновационного развития горнорудной промышленности, обеспечение темпов роста производительности труда.

Управление человеческими ресурсами — это стратегическая функция в организации, которая занимается управлением и развитием человеческого капитала для достижения целей бизнеса. К ключевым аспектам управления человеческими ресурсами можно отнести:

Рекрутинг и найм: Процесс привлечения, привлечения и найма квалифицированных кандидатов для занятости в организации. Это включает в себя разработку вакансий, проведение интервью, оценку кандидатов и принятие решений о приеме на работу.

Обучение и развитие: Обеспечение сотрудников необходимыми навыками, знаниями и компетенциями для эффективной работы. Это может включать в себя организацию тренингов, семинаров, курсов обучения, программ наставничества и т.д.

Оценка и управление производительностью: Оценка работы сотрудников, установление целей и ожиданий, а также предоставление обратной связи для улучшения результатов. Это может включать в себя ежегодные обзоры производительности, 360-градусную обратную связь, разработку планов улучшения производительности и т.д.

Мотивация и поощрение: Создание стимулов для мотивации сотрудников к достижению высоких результатов. Это может быть выполнение бонусных программ, премии, возможности карьерного роста, признание достижений и другие меры.

Управление отношениями с сотрудниками: Работа с конфликтами, проблемами и жалобами сотрудников, поддержка хороших отношений в коллективе и создание благоприятной рабочей атмосферы.

Управление изменениями: Подготовка и поддержка сотрудников во время изменений в организации, таких как реорганизации, слияния, аквизиции или внедрение новых технологий и процессов.

Управление разделением и оплатой труда: Разработка системы компенсации и вознаграждения, управление бенефитами, а также обеспечение соблюдения законодательства в области труда и зарплат.

Эффективное управление человеческими ресурсами играет ключевую роль в достижении целей организации, обеспечивая наличие и развитие талантливых и мотивированных сотрудников.

Управление человеческими ресурсами на горных предприятиях имеет свои специфические особенности, учитывая особенности работы в условиях горных районов, опасности и тяжесть труда. Ниже приведены некоторые вопросы, которые могут быть важными для управления человеческими ресурсами на горных предприятиях:

Какие меры безопасности принимаются для защиты здоровья и безопасности работников в условиях горных работ?

Какие программы обучения и развития сотрудников предприятия разработаны для повышения их профессиональных навыков и безопасности на рабочем месте?

Каким образом осуществляется найм и отбор персонала, учитывая специфику работы на горных предприятиях?

Какие системы мотивации и вознаграждения используются для стимулирования производительности и удержания квалифицированных сотрудников?

Какие программы заботы о здоровье и благополучии работников предприятия предоставляются, особенно в связи с тяжелым трудом и возможными травмами?

Как управляется персонал в условиях временного изменения производственного объема, связанного с колебаниями рынка или другими факторами?

Как осуществляется коммуникация и управление конфликтами среди персонала, особенно в условиях тяжелых и опасных условий труда?

Какие меры принимаются для развития лидерских качеств и управленческого потенциала среди персонала, особенно с учетом необходимости оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации?

Какие инновационные подходы к управлению человеческими ресурсами используются для повышения эффективности работы и улучшения условий труда?

Как осуществляется управление многонациональным персоналом на горных предприятиях, учитывая возможные культурные различия и языковые барьеры?

Эти вопросы помогают оценить, насколько хорошо управляются человеческими ресурсами на горных предприятиях и какие могут быть улучшения в этой сфере.

Управление человеческими ресурсами (HR) в горных предприятиях имеет свои особенности из-за специфики работы в этой отрасли, которая часто связана с тяжелым физическим трудом, опасностями и высокими требованиями к безопасности. Ключевые аспекты управления человеческими ресурсами в горнодобывающих компаниях включают:

Безопасность: Одним из важнейших аспектов является обеспечение безопасности работников. HR-отделы горных предприятий должны разрабатывать и внедрять строгие

процедуры безопасности, обеспечивать обучение сотрудников и регулярно проводить аудиты и проверки соблюдения правил.

**Трудовая мотивация:** Из-за тяжелых условий работы в горных предприятиях важно создать системы мотивации и поощрения для сотрудников. Это может включать в себя бонусы за безаварийную работу, премии за высокие показатели производительности и другие стимулирующие меры.

**Обучение и развитие:** Горные предприятия должны инвестировать в обучение и развитие своих сотрудников. Это включает в себя как обучение новичков, так и программы повышения квалификации для опытных работников, чтобы они могли эффективно выполнять свою работу и приспосабливаться к новым технологиям и методам.

**Работа с персоналом:** HR-отделы горных предприятий должны активно управлять персоналом, заниматься наймом и увольнениями, а также решать возникающие конфликты и проблемы в коллективе.

**Здоровье и благополучие:** Помимо безопасности, важно также уделять внимание здоровью и благополучию работников. Это может включать программы по оздоровлению, медицинские осмотры, психологическую поддержку и другие меры, направленные на поддержание физического и психического здоровья сотрудников.

**Соблюдение законодательства:** HR-отделы должны строго соблюдать все требования трудового законодательства, включая нормы по оплате труда, рабочему времени, отпускам и другим аспектам.

**Управление человеческими ресурсами в горных предприятиях** требует особого внимания к безопасности и здоровью работников, а также эффективной системы мотивации и развития персонала.

Управление человеческими ресурсами в горных предприятиях включает в себя использование различных механизмов для эффективного управления персоналом.

**Системы безопасности и обучения:** Разработка и реализация систем безопасности и обучения, направленных на обучение сотрудников правилам и процедурам безопасности при работе на горных предприятиях. Это включает в себя проведение обучающих курсов, тренингов, симуляций и учебных материалов.

**Системы мотивации и поощрения:** Создание систем мотивации и поощрения, которые стимулируют сотрудников к высокой производительности и соблюдению стандартов безопасности. Это может включать в себя бонусные программы, премии, поощрения за безаварийную работу и достижение целей производства.

**Системы оценки производительности:** Внедрение систем оценки производительности, которые позволяют оценивать результативность работы сотрудников и предоставлять им обратную связь для улучшения результатов. Это могут быть ежегодные обзоры производительности, целевые показатели и средства для оценки качества выполнения задач.

**Системы обратной связи и коммуникации:** Разработка систем обратной связи и коммуникации, которые обеспечивают открытый и прозрачный обмен информацией между руководством и сотрудниками. Это может включать в себя регулярные собрания, опросы удовлетворенности сотрудников, открытые двери для обращений и другие механизмы.

**Системы развития карьеры и обучения:** Проведение программ развития карьеры и обучения для сотрудников, которые помогают им развивать профессиональные навыки и карьерные перспективы. Это может включать в себя программы наставничества, обучение новым технологиям и методам работы, а также возможности для продвижения по службе.

**Управление разделением и оплатой труда:** Разработка систем управления рабочим временем, оплатой труда и другими аспектами трудовых отношений, которые обеспечивают соблюдение законодательства и удовлетворяют потребности как сотрудников, так и организации.

Управление конфликтами и проблемами: Разработка механизмов управления конфликтами и проблемами на рабочем месте, которые позволяют быстро и эффективно решать возникающие споры и проблемы между сотрудниками или между сотрудниками и руководством.

Эти механизмы помогают горным предприятиям эффективно управлять человеческими ресурсами, обеспечивая безопасность, мотивацию и профессиональное развитие сотрудников, а также достижение целей бизнеса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Амстронг М. Практика управления человеческими ресурсами / М. Амстронг; перев.с англ. под ред. С.К. Мордовина. – 8-е издание. – СПб.: Питер, 2004. – 832 с.
2. Васильчук, Ю. Постиндустриальная экономика и развитие человека / Ю. Васильчук // Мировая экономика и международные экономические отношения. – 1997. - № 10 - с. 82-89.
3. Дмитриевская, Н.А. Инвестирование в человеческий капитал на микроэкономическом уровне: дис ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Н.А. Дмитриевская. – Москва, 1996. – 134 с.
4. Чечина О.С. Управление человеческим капиталом для инновационного развития региона: дис. ... доктора экон. наук. / О.С. Чечина. – Санкт-Петербург, 2017. – 353 с.

## КОМБИНИРОВАННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ ГЕОРЕСУРСАМИ

ХУСНУЛЛИН Д. Р.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

**Аннотация.** в статье рассматриваются методы управления техногенными объектами в сочетании с процессами комбинированной разработки природных георесурсов, что позволит не только расширить минерально-сырьевую базу, но и снизить нагрузку на окружающую среду, обеспечить экологическую безопасность горнотехнической системы

**Ключевые слова:** георесурсы, управления техногенными георесурсами, утилизация, разработка горных месторождений.

## COMBINED USE OF TECHNOGENIC GEO-RESOURCE MANAGEMENT METHODS

HUSNULLIN D. R.

Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Abstract.** The article discusses the management methods of technogenic objects in combination with the processes of combined development of natural geo-resources, which will not only expand the mineral resource base, but also reduce the burden on the environment, ensure the environmental safety of the mining system.

**Keywords:** georesources, management of man-made georesources, utilization, development of mining deposits.

В исследованиях отечественных ученых, занимающихся вопросами взаимодействия техногенных геосистем при освоении рудных месторождений, отмечается, что на основе прогноза горно-геологических и ресурсных изменений сформулированы принципы и обоснована постановка новых задач использования техногенных геосистем и этапов их взаимодействия во времени и пространстве с природной геосистемой для выбора комбинированных геотехнологий освоения мощных рудных месторождений различных морфологических типов; разработана структура и сформирован банк данных по освоению рудных месторождений комбинированными техногенными геосистемами, направленно создаваемыми на основе рационального сочетания технологических элементов открытых и подземных горных работ. Это позволяет получить выборки с заданными параметрами по широкому спектру геотехнологических и технических решений [2].

Как отмечает в своем исследовании Т.П. Плесовских, в настоящее время длительное освоение медно-колчеданных месторождений традиционными физико-техническими способами разработки обуславливает накопление на земной поверхности большого количества и широкого спектра отходов горного производства в виде отвалов некондиционных руд и вмещающих пород, промышленных стоков, выработанных пространств, отсевов радиометрической сепарации [3]. В качестве основных методов управления техногенными георесурсами при разработке горных месторождений Т.П. Плесовских выделяет следующие: полез-

ное использование (утилизация) техногенных ресурсов, складирование техногенных георесурсов и складирование с последующим использованием. При этом Т.П. Плесовских отмечает, что «использование существующих принципов и подходов к проектированию горнотехнических систем предусматривает обработку только природных георесурсов с образованием складированных техногенных отходов, которые в связи с пересмотром кондиций на минеральное сырье затрудняют последующую разработку запасов; а близость расположения горных производств к населенным пунктам обуславливает нехватку земельных площадей под складирование вновь образующихся отходов».

Ряд авторов предлагает техногенные георесурсы разделить на две группы: 1) георесурсы утилизация которых экономически целесообразна при существующем уровне развития техники и технологии их переработки; 2) техногенные георесурсы, утилизация которых экономически нецелесообразна, но в будущем их можно будет вовлечь в данный процесс [3,4,5,6]. В целом, утилизация техногенных георесурсов как один из методов добычи полезных ископаемых из техногенных месторождений, эффективна. Однако для этого требуется углубленное изучение качества георесурсов, их соответствие промышленным стандартам и техническим условиям.

Мы разделяем точку зрения специалистов о том, что комбинированное использование методов управления техногенными ресурсами позволит расширить минерально-сырьевую базу, снизить нагрузку на окружающую среду, обеспечить экологическую безопасность горнотехнической системы.

Наиболее благоприятные условия для управления техногенными георесурсами складываются при комбинированном способе разработки. Этот способ позволяет утилизировать техногенное сырье в процессе горнотехнической рекультивации карьера, а также при применении систем разработки с закладкой выработанного пространства, что, с одной стороны, обеспечит расширение минерально-сырьевой базы на дальнейшую перспективу горнодобывающих регионов, с другой – будет способствовать повышению экологической безопасности горнотехнических систем. Техногенные отходы часто представляют собой сильно перемешанные горные породы глинисто-песчано-зернистого состава, которые не могут быть непосредственно использованы для производства важных материалов для промышленности.

На сегодняшний день при добыче и переработке полезных ископаемых накоплено огромное количество техногенных отходов, использование которых в народном хозяйстве может принести большие экономические выгоды и важно для решения экологических проблем. Особенности природных и техногенных георесурсов определяют их потенциальные возможности хранения, переработки, утилизации или вторичного использования после надлежащего использования. Наибольшую ценность для человечества представляют технологии вторичной переработки, обеспечивающие возможность многократного использования георесурсов при производстве с минимальными дополнительными затратами. Результаты расчетов, подробно, представленные в научном исследовании Плесовских Т.П. показывают, что реализация методов управления техногенными объектами в сочетании с процессами комбинированной разработки природных георесурсов позволит расширить минерально-сырьевую базу, снизить нагрузку на окружающую среду, обеспечить экологическую безопасность горнотехнической системы [3]. Таким образом, исследования свидетельствуют о необходимости и целесообразности изменения принципов проектирования и конструкций горнотехнических систем по освоению месторождений полезных ископаемых, предусматривающих управление техногенными георесурсами в процессе эксплуатации месторождений комбинированным способом [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Калмыков В.Н., Петрова О.В., Плесовских Т.П. Методы управления техногенными георесурсами при комбинированной разработке рудных месторождений // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2013. № 8. С. 4-9.

2. Каплунов Д.Р., Чаплыгин Н.Н., Христоки К.Г., Милетенко И.В., Помельников И.И., Блюм Е.А., Шубодеров В.И. Закономерности взаимодействия техногенных геосистем при освоении рудных месторождений различного морфологического типа // Отчет о НИР № 97-05-64411. Российский фонд фундаментальных исследований. 1999.
3. Плесовских Т.П. Обоснование методов управления техногенными георесурсами при открыто-подземной разработке медно-колчеданных месторождений : автореф. канд. тех. наук / Т.П. Плесовских – Магнитогорск, 2013. –21 с.
4. Asmelash Abay, Mabel Imbuga, Chandara Malik, Kumar Singh, and Dmitriy Borodin Geo-Resources Recycling as the Way of Mining Wastes Disposing // E3S Web of Conferences 41, 02010 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184102010> IIIrd International Innovative Mining Symposium
5. V. Gogolin, Y. Lesin, A. Djagileva, E3S Web of Conferences, 15, 01001 (2017)
6. D'yakov S.N., Papin A.V., Nevedrov A.V., E.V. Zhbyr', Coke and Chemistry, 55:10, 363 (2012)
7. Kvasova, B. Gerike, E. Murko, D. Skudarnov, E3S Web of Conferences 21, 03016 (2017)

Научное издание

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

4–5 апреля 2024 г.

Сборник докладов

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

Редактор изд-ва Л. В. Устьянцева  
Компьютерная верстка В. В. Франц

Подписано в печать  
Печать на ризографе. Бумага писчая. Формат 60 × 84/8.  
Усл. печ. л. 32,55. Уч.-изд. л. 19,1 Тираж 80. Заказ.

Издательство УГГУ  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
Уральский государственный горный университет

Отпечатано с оригинал-макета  
в лаборатории множительной техники УГГУ