

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



Кафедра горного дела



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

20 – 21 мая 2021 г.  
Сборник докладов

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

Екатеринбург – 2021

М 43

**Председатель:**

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

**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 горнорудных предприятий ОАО «УГМК».

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

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

**Колесников А. А.** – главный инженер АО «Сибирь-Полиметаллы».

**Салахияев Р. Г.** – главный инженер 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 43 X Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений»**, г. Екатеринбург, 20-21 мая 2021 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 19-29 мая 2021 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2021. – 219 с.

Доклады X 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, 2021

© Авторы, постатейно, 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПОДЗЕМНАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ</b> .....	5
БАЛЕК А. Е. Оценка геодинамической активности породного массива на стадии проходки вскрывающих выработок* .....	5
ВАЛИЕВ Н. Г., ПРОПП В. Д., БЕРКОВИЧ В. Х., КОЛЕСНИКОВ А. А. К расчету параметров целиков при камерной системе разработки с закладкой выработанного пространства .....	12
РАХИМЖАНОВ А. М., ИСАГУЛОВ С. Т. О контроле положения огневых забоев при подземном сжигании угля .....	16
ГОЛУБКО Б. П., КРАПИВКА А. В., ВИНАЛЬЕВ Е. А. Технологии лазерного сканирования на примере Cavity Monitoring System (CMS) при производстве маркшейдерской съемки труднодоступных горных выработок .....	19
АНТИПИН Ю. Г., СМИРНОВ А. А., НИКИТИН И. В., СОЛОМЕИН Ю. М. Обоснование эффективности поэтажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой при освоении уральских медноколчеданных месторождений .....	27
БИСИНБАЕВ С. А., УГОЛЬНИКОВ А. В. Обоснование способов регулирования работы вентиляторных установок на горном предприятии (на примере шахты Ново-Учалинского рудника) .....	31
ВАНДЫШЕВ А. М., ТЮЛЬКИН В. П., ПОТАПОВ В. В., ПОТАПОВ В. Я. Повышение эффективности отработки мощных пологих и наклонных пластов .....	35
КАЗАРИНА Е. Н. Комбинированные технологии освоения россыпных месторождений ..	43
ГОЛУБКО Б.П., ДАНЧЕНКО О.Н., БАБКИНА Е.А. Геоинформационная система (ГИС) новый уровень маркшейдерских технологий на примере программы welltracking. ....	47
КАРДАПОЛЬЦЕВА В. Н., ПЕЧЕНКИН С. И. Верхний и нижний городские формообразования в условиях современной урбанистики .....	53
АНТИПИН Ю. Г., РОЖКОВ А. А., БАРАНОВСКИЙ К. В., ГОБОВ Н. В., ГУСМАНОВ Ф. Ф. Уменьшение размеров зон нерегулируемого дробления при подземной разработке месторождений .....	57
<b>ОТКРЫТАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ</b> .....	63
ШКАРУБА Н. А., КИСЛЯКОВ В. Е. Отбойка пород гидромонитором с управляемым содержанием тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде .....	63
ЛЕЛЬ Ю. И., ЗОТОВ И. Г., МАРТЫНОВ Н. В., СТЕНИН Ю. В. Результаты опытно-промышленных испытаний импортных буровых станков в условиях ПАО «Ураласбест» ..	69
БАИЗБАЕВ М. Б., КАЙНАЗАРОВ А. С., КАЙНАЗАРОВА А. С., МАТАЕВ А. К. Опыт профилактики эндогенных пожаров на угольных разрезах .....	77
ЖИГУЛЬСКАЯ А. И., ЯКОНОВСКАЯ Т. Б. Совершенствование технологии разработки торфяного месторождения .....	80
ЖИГУЛЬСКАЯ А. И., ЯКОНОВСКАЯ Т. Б. Особенности 3D моделирования торфяных месторождений .....	88
ЖИГУЛЬСКАЯ А. И., ЯКОНОВСКАЯ Т. Б. Комплексное и рациональное использование ресурсов торфяных месторождений .....	95
ЧЕБАН А. Ю. Технология выемки горной массы экскаватором с просеивающим ковшом .....	101
ЧЕБАН А. Ю. Оборудование для доработки прибортовых и подкарьерных запасов ценного минерального сырья .....	105
ИЛЬБУЛЬДИН Д. Х., ЕГОРОВ М. С., КОНУРИН А. И. Экспериментальное исследование системы дистанционного управления бурового станка PV-235 в условиях Айхальского гока .....	109
МЕДВЕДЬ Н. В., ЕГОРОВА Е. Л., МОРОЗОВ В. Н. Опыт применения земснаряда 300-40 на глубоком месторождении песчанно-гравийных материалов .....	116

АЛЕКСЕЕНКО В. Б., ХАЖИЕВ В. А., БАЙКИН В. С., ЛЕШКОВ Е. Ю. Исследование влияния гранулометрического состава отгружаемой скальной породы на техническое состояние экскаваторов рудоуправления ПАО «Ураласбест».....	120
ЭШМУРОДОВ З. О. Исследование эффективности работы систем рудоподготовки и транспортировки руды перерабатывающего комплекса .....	126
АРЕФЬЕВ С. А. Выбор автогрейдера для строительства и содержания дорог на крупных карьерах .....	131
ГОЛОВАНОВ К. С. Проектирование наблюдательных скважин на среднесарматский водоносный горизонт на Северо-Ставропольском ПХГ .....	136
<b>ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ</b> .....	143
ЮСУПОВ Т. И., УГОЛЬНИКОВ А. В. К вопросу о режимах работы шахтных водоотливных установок .....	143
ЮСУПОВ Т. И. Преимущества использования шахтных водоотливных установок, оборудованных центробежными насосами.....	146
ЭШМУРОДОВ З. О., АРЗИЕВ Э. И., ИСМОИЛОВ М. Т., ОРИПОВА У. З. Математические модели конвейеров транспортировки руды горнотранспортных систем .....	150
СТЕНИН Ю. В., ЛЕШКОВ Е. Ю. Анализ внеплановых простоев экскаваторно-автомобильных комплексов карьера ПАО «Ураласбест» .....	155
<b>ГЕОМЕХАНИКА</b> .....	161
ЦВЯК А. В., ПИГАЕВ В. Е. Опасные геодинамические процессы Южного Урала .....	161
ХАРИСОВ Т. Ф. Оценка предела прочности серпентинитов на сжатие с использованием регрессионного анализа .....	166
СУМБАЕВА А. М., ИМАШЕВ А. Ж. Геомеханическая оценка влияния внутреннего отвала на состояние подземной отработки месторождения Акжал .....	174
ЕФРЕМОВ Е. Ю. Характеристики уплотнения пород зоны обрушения Северопесчанского месторождения.....	179
<b>КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	187
БИЛЬДЮК Е. В., АСТАПЕНКО Т. С. Решение комплекса горных задач на базе анализа пространственно-распределенных данных геостатистическими методами.....	187
БАБИЧ В. Н., СИРАЗУТДИНОВА Н. Б. О целях и методах геометрического моделирования.....	191
<b>ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ</b> .....	197
ШАНГИНА Е. И. Управление качеством образования в техническом университете в эпоху цифровых преобразований .....	197
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ</b> .....	207
САВИНА Т. Е., ЯКУПОВ И. Ш., ПАНОВА Т. М. Применение сыпучих сорбентов для сбора нефти и нефтепродуктов с водной поверхности.....	207
КОСТРОМИН М. В., ПАНИНА Т. Ю. Влияние разработки месторождений полезных ископаемых Забайкалья на окружающую и геологическую среду .....	212

УДК 622.1:528

**ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА  
НА СТАДИИ ПРОХОДКИ ВСКРЫВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК\***

БАЛЕК А.Е.

Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** Представлен новый способ выявления в массивах скальных горных пород геодинамически активных границ, разделяющих крупномасштабные (размерами порядка 30 – 100 м) подвижные породные блоки, по результатам замеров вывалообразований контура поперечного сечения вскрывающих горных выработок, фиксируемых в процессе их проходки. Впервые предложено количественно оценивать геодинамическую активность пересекаемой междублоковой границы по отношению градиента увеличения замеренных размеров (вчерне) вскрывающей выработки к градиенту их последующего приближения к проектным размерам. Более активной границе между более подвижными блоковыми структурами соответствует скачкообразно быстрое увеличение и последующее более медленное приближение фактического радиуса выработки к проектным значениям. Это является закономерным следствием того, что по мере удаления от подвижной границы взаимные движения ее блоков тем дольше оказывают влияние на устойчивость незакрепленных призабойных участков выработки, чем выше активность пересекаемой межблочной границы.

В качестве базового объекта натуральных исследований использовали результаты маркшейдерских замеров, полученных в процессе вскрытия вертикальными стволами рудопородного массива шахты «10-летие независимости Казахстана», обрабатывающей Кемпирсайские хромитовые месторождения (г. Хромтау). Выбор объекта обусловлен его благоприятными условиями для изучения процессов междублоковых подвижек: сочетанием весьма высоких тектонических напряжений со сравнительно низкими прочностью и модулем упругости породного и рудного массива шахты.

**Ключевые слова:** шахта «Десятилетия независимости Казахстана», вертикальные стволы, проходка, массив горных пород, натурные исследования, напряженно - деформированное состояние, структурное строение, иерархическая блочность, современные геодинамические движения, геомеханическое обеспечение.

*\* Работа выполнена в ходе реализации государственного задания по теме № 0405-2019-0007*

**ASSESSMENT OF GEODYNAMIC ACTIVITY OF THE ROCK MASS AT THE STAGE  
OF EXCAVATION OF THE OPENING WORKINGS\***

BALEK A.E.

Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

**Abstract.** A new method is presented for detecting geodynamically active boundaries in rock massifs separating large-scale (about 30-100 m in size) mobile rock blocks, based on the results of measurements of the fallout of the contour of the cross-section of the opening mine workings

recorded during their penetration. For the first time, it is proposed to quantify the geodynamic activity of the intersected interblock boundary with respect to the gradient of the increase in the measured dimensions (rough) of the opening workings to the gradient of their sUral Branchsequent approximation to the design dimensions. A more active boundary between more mobile block structures corresponds to an abrupt rapid increase and a sUral Branchsequent slower approximation of the actual radius of production to the design values. This is a natural consequence of the fact that, as we move away from the mobile boundary, the mutual movements of its blocks affect the stability of the loose bottom-hole sections of the workings for the longer, the higher the activity of the intersecting interblock boundary.

As a basic object of field studies, the results of surveying measurements obtained during the opening of the vertical shafts of the ore-bearing massif of the mine "10th anniversary of Independence of Kazakhstan", working out the Kempirsai chromite deposits (Khromtau), were used. The choice of the object is due to its favorable conditions for studying the processes of interblock movements: a combination of very high tectonic stresses with relatively low strength and modulus of elasticity of the rock and ore mass of the mine.

**Keywords:** mine "Decades of Independence of Kazakhstan", vertical shafts, sinking, rock mass, field studies, stress-strain state, structural structure, hierarchical blockiness, modern geodynamic movements, geomechanical support.

*\* The work was carried out during the implementation of the state task on the topic No. 0405-2019-0007*

Важнейшей задачей геомеханического обеспечения подземных горных работ является оценка подвижности слагающих породный массив структурных элементов: породных блоков и оконтуривающих их тектонический нарушений. Качественные и количественные показатели взаимных перемещений структурных блоков, параметры которых варьируются в зависимости от рассматриваемого иерархического уровня, характеризуют геодинамическую активность породного и рудного массива месторождения.

Для выявления в массивах скальных горных пород геодинамически активных междублоковых границ на стадии вскрытия месторождения предложено учитывать результаты замеров вывалообразований контура поперечного сечения вскрываемых горных выработок вчерне, фиксируемых в процессе их проходки [1, 2]. Использовано экспериментально подтвержденное положение, что при приближении забоя выработки к границе между крупномасштабными (размерами в десятки – сотни метров) неподвижными породными блоками, оконтуриваемых зонами повышенной трещиноватости, происходит постепенное ухудшение устойчивости призабойного породного массива. Затем, по мере дальнейшей проходки выработки и удаления забоя от междублоковой границы, с тем же темпом происходит восстановление устойчивости массива.

Однако при пересечении забоем выработки границы «активной», под которой понимается граница между подвижными блоковыми структурами, ухудшение устойчивости призабойного породного массива происходит более быстро, чем при пересечении «пассивной» границы, т.е. границы между блоками неподвижными. Это отражается в провоцировании вывалообразований и, соответственно, в скачкообразном увеличении размеров выработки вчерне. По мере последующего удаления забоя от такого рода «активной» границы приближение контура выработки к проектным размерам, происходит более медленно, чем при удалении от границы «пассивной», т.к. на него продолжают оказывать влияние блоковые подвижки, провоцируемые проходкой выработки. Соответственно, коэффициент геодинамической активности пересекаемой междублоковой границы характеризуется отношением градиента скачкообразного

увеличения размеров выработки к градиенту их последующего приближения к проектным.

На стадии вскрытия месторождения наиболее наглядно данный критерий подвижности блоковых структур прослеживается при проходке вертикальных стволов. Это объясняется их большими размерами и меньшим влиянием случайных породных вывалов, происходящих под действием силы тяжести, чем в выработках горизонтальных.

Кроме того при проходке шахтных стволов детальные замеры породного контура предусмотрены нормативными документами, а их результаты подлежат архивированию. В соответствии с требованиями инструкции по производству маркшейдерских работ для оперативного контроля процесса проходки вертикальных стволов замеры контура их поперечного сечения вчерне регулярно выполняются маркшейдерскими службами горнопроходческих предприятий. Профили породных стенок строящегося ствола с точностью до сантиметра замеряются от центрального или боковых отвесов по восьми радиусам через  $45^\circ$  с шагом, кратным проходческим циклам, но не более чем через 8 м. Результаты замеров фиксируются в специальном журнале, который хранится в архиве предприятия и доступен для ретроспективного анализа.

В качестве базового объекта натуральных исследований использован рудопородный массив Кемпирсайских хромитовых месторождений, обрабатываемых шахтой «10-летие независимости Казахстана». Выбор объекта обусловлен его благоприятными условиями для изучения процессов разрушения и подвижек породных блоков, вследствие сочетания сравнительно высоких тектонических напряжений с низкими прочностью и модулем упругости скального породного и рудного массива шахты.

Вмещающий породный массив вскрывающих горных выработок шахты в основном представлен трещиноватыми габбро-амфиболитами и ультраосновными серпентинизированными породами: дунитами, перидотитами, пироксеновыми дунитами. Физико - механические свойства пород в образцах:

- предел прочности на одноосное сжатие  $[\sigma]_{сж} = -45 \div -90$  МПа;
- на одноосное растяжение  $[\sigma]_{раст} = 5 \div 9$  МПа;
- характер разрушения – хрупкий;
- статический модуль упругости  $E = 35 \div 40$  ГПа;
- статический коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25 \div 0,30$ .

Несмотря на достаточно высокий предел прочности пород, слагающих исследуемый массив, он характеризуется низкой устойчивостью в пределах IV – V категории в соответствии с классификациями З. Бенявского, Д. Лобшира, Н. Бартона и др [3 – 5]. Основным фактором, оказывающим столь негативное воздействие на устойчивость вмещающего массива, является наличие многочисленных хаотично направленных систем трещин и разноориентированных тектонических нарушений разбивающих массив на разномасштабные структурные блоки. Блоки с линейными размерами менее 0,1 – 0,5 м оконтурены трещинами преимущественно закрытыми или залеченными прочным заполнителем, а блоки размерами порядка 1 – 1,5 м и больше особенно в серпентинизированных породах оконтурены трещинами с милонитовым или серпофитовым тальковидными заполнителями, которые при увлажнении становятся мыльными на ощупь, что приводит к значительному снижению междублоковой связи. Соответственно, оказываются слабы и связи между крупномасштабными породными блоками, размерами в десятки и сотни метров, которые оконтуриваются зонами повышенной трещиноватости.

В ходе исследования проанализированы данные журналов проходки трех вскрывающих (диаметр в свету  $R = 8$  м) вертикальных стволов шахты: Вентиляционного, Скипового и Клетевого, в процессе строительства которых происходили нарушения постоянной крепи, связанные с горизонтальными подвижками вмещающего породного массива.

Проходка стволов Вентиляционный и Скиповой 2-й очереди шахты осуществлялась в схожих горно-геологических и геомеханических условиях, так как расстояние между ними составляет около 120 м. До глубины 900 – 1050 м их проходка велась в сравнительно устойчивом и однородном трещиноватом габбро-амфиболитовом массиве, а глубже – в неустойчивом напряженном массиве серпентинезированных пород.

Строительство ствола Клетевого, относящегося к центральной группе стволов и отстоящего от стволов 2-й очереди на 3,5 км, проходило в качественно иных условиях. На всем протяжении ствола проходка велась в трещиноватом неустойчивом массиве серпентинезированных пород при существенно более высокой геодинамической активности и, соответственно, напряженном состоянии вмещающего породного массива, чем в стволах Скиповой и Вентиляционный [6, 7].

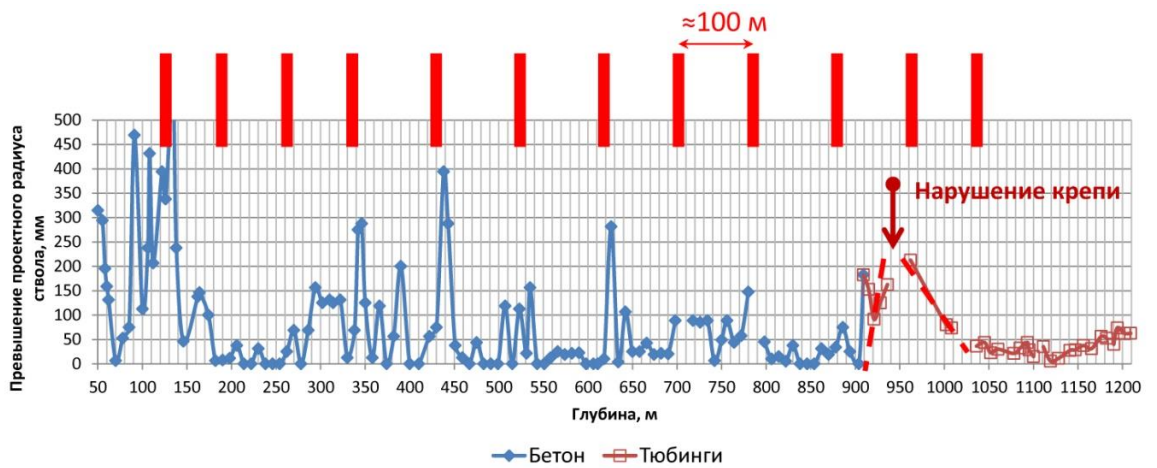
При проходке ствола Вентиляционный в 2015 г на глубине около 950 м на границе габбрового и серпентинитового массивов произошли нарушения двух колец тубинговой крепи: разрывы чугунных полок, трещинообразование в спинках и ребрах тубингов, сопровождаемые изгибами монтажных балок - расстрелов и формирование эллипсоидности тубинговых колец с максимальным суммарным отклонением  $\Delta R = 187$  мм. Замеры положения стенок ствола относительно центрального отвеса показали, что нарушения крепи произошли вследствие взаимных срезающих подвижек двух крупномасштабных блоковых структур вмещающего породного массива, наклонно пересекающих ствол, которые привели к смещению его сечения в восточном направлении на 50 мм [8].

При проходке ствола Скиповой в 2020 г в интервале глубин 1067 - 1077 м (также вблизи границы между габбровым и серпентинитовым массивами) в трех кольцах монолитной бетонной крепи высотой 6 м, наблюдалось выколы бетона и формирование наклонно секущих трещин с раскрытием до 3 мм. При этом ниже, на призабойном участке высотой 6 м, в ортогональном к нарушениям бетонной крепи направлении по изгибам временной крепи из колец СВП была зафиксирована подвижка породной стенки ствола на 400 мм.

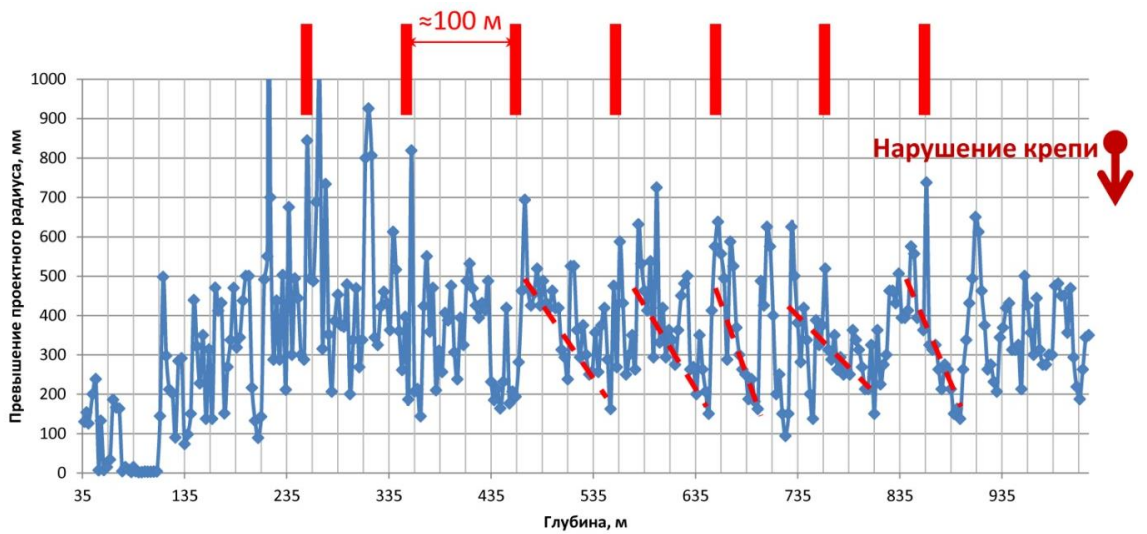
Судя по косвенным данным с горизонтальными подвижками крупных блоковых структур вмещающего породного массива связаны и нарушения бетонной крепи Клетевого ствола. На этом стволе в 1984 г при проходке в относительно однородном серпентинитовом массиве уходками по 3 – 4 м в интервале глубин 572 – 765 м произошло аварийное разрушение 193-метрового участка монолитной бетонной крепи. Причем произошло оно аномально быстро и неравномерно. После вывала крупного (свыше 20 м<sup>3</sup>) породного объема из северной призабойной стенки ствола на глубине 765 м и появления в вышележащем бетонном кольце первых трещин и выколов бетона началось интенсивное разрушение участка крепи, находящегося на 30 м выше, на глубине 727 – 730 м, а также трещинообразования в северо-восточной стенке ствола в интервале глубин 737 – 743 м. Затем, в течение последующих двух суток, произошло лавинообразное разрушение 193-метрового участка бетонной крепи [9].

Для выявления геодинамической активности междублоковых границ вмещающего породного массива были проанализированы замеры превышений проектных радиусов вышеперечисленных стволов в проходке. На стволах Вентиляционный и Клетевой замеры выполнялись с шагом 8 м (при уходках по 3 – 4 м), а на стволе Скиповой – 3 м (при уходках по 6 м). Результаты замеров, усредненные по периметрам поперечных сечений стволов, представлены на рисунках 1 – 3 в форме точечных диаграмм. Там же отмечены глубины, на которых происходили нарушения крепи, и границы крупномасштабных блоковых структур, выделяемых по пиковым превышениям проектных радиусов.

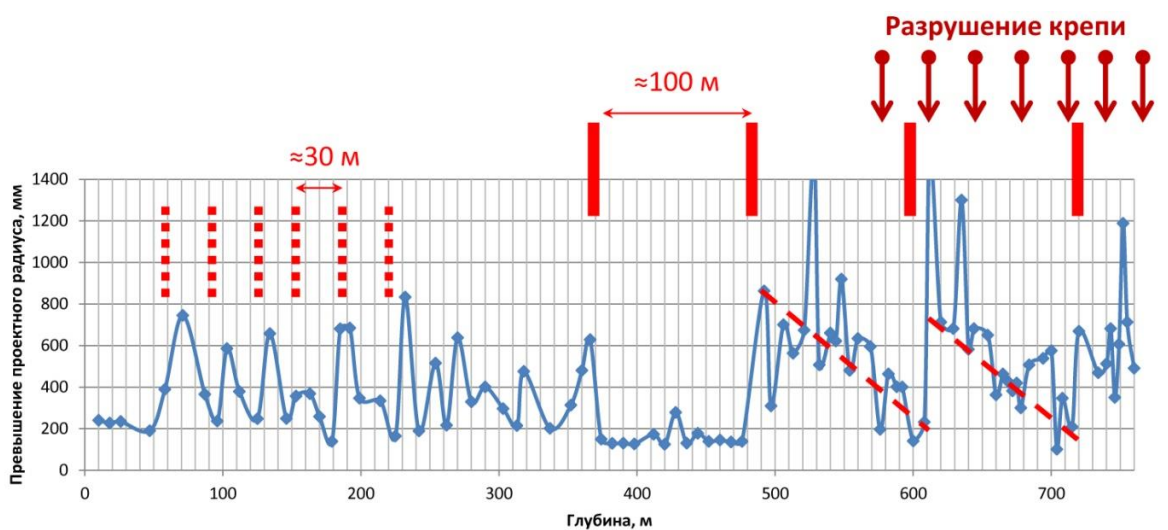




**Рисунок 1. Результаты замеров превышений проектного радиуса ствола Вентиляционный в процессе проходки**



**Рисунок 2. Результаты замеров превышений проектного радиуса ствола Скиповой в процессе проходки**



**Рисунок 3. Результаты замеров превышений проектного радиуса ствола Клетевой в процессе проходки**

Анализ точечных диаграмм свидетельствует о возможности выделения в массивах скальных горных пород в различных геомеханических и технологических условиях «активных» междублоковых границ, не выделяемых геолого-морфологическими методами.

В стволе Вентиляционный произошедшие на глубине 950 м подвижки крупномасштабных блоковых структур, наклонно пересекающих ствол и приведших к смещению его сечения на 50 мм, совпали со скачкообразным (за 8 – 9 уходов) ростом и последующим в 3 раза более постепенным (свыше 24 уходов) приближением усредненного радиуса ствола к проектным значениям (на рисунке 1 выделено пунктиром). Ранее фиксируемые в процессе проходки пиковые возрастания усредненного радиуса ствола, зачастую совпадающие с выделенными геолого-морфологическими методами тектоническими нарушениями, имели «симметричный» характер возрастания и уменьшения, что свидетельствовало о меньшей их геодинамической активности, по сравнению с нарушением на глубине 950 м.

Еще более наглядно, вследствие увеличенных уходов и меньшего шага замеров, данный критерий иллюстрируют результаты замеров в стволе Скиповой (Рисунок 2). Быстрые возрастания и медленные уменьшения усредненного радиуса ствола начали проявляться с глубины около 450 м. На рисунке 2 на это указывают пунктирные линии линейных аппроксимирующих трендов, отражающих существенно более медленные, чем возрастания (в 5 – 6 и более раз), приближения сглаженных значений усредненного радиуса ствола к проектным. Они свидетельствуют о наличии на глубинах около 470, 600, 660, 730 и 860 метров «активных» границ между крупномасштабными (размерами порядка 100 м) подвижными блоковыми структурами. Можно сказать, что при увеличенном масштабе в радиальных направлениях на этом участке внешний контур бетонной крепи ствола приобрел «штуцерообразную» форму.

Способ сглаживания замеренных значений радиуса ствола на их линейную аппроксимацию сказывается слабо, поскольку предлагаемый метод заведомо не требует больших коэффициентов аппроксимации. В любом случае линейные размеры подвижных блоковых структур составляли порядка 100 м, а размеры слагающих их более мелких породных блоков, выделяемых по «симметричным» пиковым превышениям проектных радиусов – около 30 м.

Такие же соотношения размеров «активных» и «пассивных» породных блоков прослеживается и по замерам в стволе Клетевой (рис. 3). Выделяются границы между 100-метровыми подвижными структурами, с коэффициентом взаимной активности около 5 – 6, которые сформированы из 30-метровых малоподвижных блоковых структур с коэффициентом активности порядка 1.

В этой связи следует отметить, что размеры более крупномасштабных подвижных породных блоков, ранее выявленных по замерам горизонтальных смещений реперных пунктов на поверхности шахтного поля, в среднем составляли 300 – 500 м [10]. Такое распределение размеров иерархий подвижных блоковых структур, с коэффициентом вложения около трех, хорошо вписывается в современные математические модели процессов самоорганизации (консолидации, вторичного структурирования) деформационного поля массива скальных горных пород, проявляющихся в формировании в нем относительно стабильных блоковых структур, выделяемых по согласованным смещениям слагающих их более мелкомасштабных породных блоков.

Таким образом, по результатам натурных исследований при проходке вертикальных стволов в тектонически напряженных массивах скальных горных пород выявлен новый критерий самоорганизации крупномасштабных (размерами порядка 100 м) подвижных блоковых структур, определяющих риск возникновения аварийных ситуаций в подземных выработках. Критерий предусматривает следующие положения:

- при пересечении забоем выработки потенциально опасной границы между подвижными блоковыми структурами происходит сравнительно быстрое ухудшение устойчивости призабойного породного массива, отражаемое скачкообразным увеличением размеров выработки вчерне, с последующим в несколько раз более постепенным их приближением к проектным;

- степень (коэффициент) геодинамической активности пересекаемой междублоковой границы характеризует отношение градиента скачкообразного увеличения размеров выработки к градиенту их последующего приближения к проектным размерам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балек А. Е., Озорнин И. Л., Каюмова А. Н. Совместные замеры напряженного состояния и модуля упругости породного массива при проходке шахтных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020.– № 3-1.– С 21–36. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-21-36.
2. J. Wang, E. Li, L. Chen, Y. Han, C. Wang Measurement and analysis of the internal displacement and spatial effect due to tunnel excavation in hard rock // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2019. – V. 84. – С. 151–165.
3. LaUral Branchscher D. H. and JakUral Branchec J. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses, In Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies (eds. W. A. Hustrulid and R. L. Bullok) // Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME, – 2001. – С. 475–481.
4. Avinash P., Murthy V. M. S. R., Prakash A., Singh A. K. Estimation of rock load in development workings of underground coal mines - A modified RMR approach // Current Science. – 2018. – Vol. 114. – No. 10. –С. 2167–2174.
5. Meshram V. M., Dahale P. P., Tiwari M. S., Ramteke S. B. Advancement of support system for underground drift excavation - a review // International Journal of Civil Engineering and Technology. –2018. – Vol. 9. – No 6. – С. 332–339.
6. Sashurin A. D., Panzhin A. A., Kharisov T. F., Knyazev D. Yu. Innovative approaches to rock mass stability in mining high-grade quartz veins // Eurasian Mining. – 2016. – № 2. – С. 3–5.
7. Харисов Т. Ф., Антонов В. А. Исследование деформации горных пород в процессе проходки вертикального ствола // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 3. – С. 146–150.
8. Озорнин И. Л., Балек А. Е., Каюмова А. Н. Формирования нагрузок на крепь шахтных стволов в иерархически блочной среде под влиянием современных геодинамических движений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020.– № 3-1.– С 173–181 ISSN 0236-1493. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-173-181.
9. Боликов В. Е., Балек А.Е., Тиль В. В., Зайцев Ю. Г. Геомеханические проблемы при проходке и креплении капитальных горных выработок на шахте Центральная // Горный журнал. – 1998.– № 6. – С. 15–17.
10. Балек А.Е. Геомеханическое обеспечение подземной разработки участка второй очереди шахты «Десятилетия независимости Казахстана» // 9-я Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 6-7 апреля 2020 г: сборник докладов / Урал. гос. ун-т.-Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. - С. 179-183.

## К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ЦЕЛИКОВ ПРИ КАМЕРНОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

ВАЛИЕВ Н. Г.<sup>1</sup>, ПРОПП В. Д.<sup>1</sup>, БЕРКОВИЧ В. Х.<sup>1</sup>, КОЛЕСНИКОВ А. А.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>АО «Сибирь-Полиметаллы»

**Аннотация.** Геомеханическое обоснование параметров системы разработки с уменьшенными геометрическими параметрами и закладкой выработанного пространства наряду с другими параметрами предусматривает определение размеров междублокового и междукамерных целиков, расчет которых произведен аналогично методике расчета прямоугольных междукамерных целиков при камерно-столбовой системе разработки с некоторыми поправками, повышающими коэффициент запаса. Расчет своден к определению давления на целик по методу Турнера-Шевякова.

**Ключевые слова:** Технология, системы разработки, геомеханическое обоснование, конструктивные параметры, междублоковый и междукамерные целики, длина и ширина камеры.

## TO THE CALCULATION OF PARAMETERS OF PILLARS IN THE CHAMBER SYSTEM OF DEVELOPMENT WITH THE LAYING OF THE GOVERNED-OUT SPACE

VALIEV N. G.<sup>1</sup>, PROPP V. D.<sup>1</sup>, BERKOVICH V. H.<sup>1</sup>, KOLESNIKOV A. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ural State Mining University

<sup>2</sup>JSC «Siberia-Polimetals»

**Abstract.** The geomechanical sUral Branchstantiation of the parameters of the development system with reduced geometric parameters and backfilling of the worked-out space, along with other parameters, provided for the determination of the dimensions of the inter-block and inter-chamber pillars, the calculation of which was made similarly to the method for calculating rectangular inter-chamber pillars with a chamber-pillar development system with some amendments that increase the safety factor. The calculation is reduced to determining the pressure on the rear pillar by the Turner-Shevyakov method.

**Keywords:** Technology, development systems, geomechanical sUral Branchstantiation, design parameters, inter-block and inter-chamber pillars, chamber length and width.

Корбалихинское полиметаллическое месторождение, расположенное в Западной Сибири на юге Алтайского края в 1,5 км к северу от гор. Змеиногорска, разрабатывается подземным способом Карболихинским рудником АО «Сибирь-Полиметаллы», входящим в группу предприятий ОАО «Уральская горно-металлургическая компания» (ОАО «УГМК»).

Продукцией предприятия является руда, основные полезные компоненты которой - медь, цинк, свинец. Руда поставляется на переработку на Рубцовскую обогатительную фабрику, входящую в состав АО «Сибирь-Полиметаллы».

Балансовые запасы залегают на глубине 200÷1250м от земной поверхности, причем, около 80% запасов залежей расположено на глубине более 400м.

Производительность Корбалихинского рудника в настоящее время составляет 400 тыс. т руды в год.

В связи с динамическим развитием ОАО «УГМК» поставлена задача увеличить производственную мощность рудника к 2025 году до 1,5 млн.т в год. Достигнуть такую

производительность при существующей на руднике технологии добычи руды (применяемая на руднике слоевая система разработки с закладкой выработанного пространства отличается низкой производительностью, большим объемом подготовительно-нарезных работ, высокой себестоимостью добычи руды) не представляется возможным.

Для решения поставленной задачи было предложено несколько новых для рудника технологических решений, позволяющих кардинально изменить технологию добычи руды с возможностью обеспечить производственную мощность рудника в 1,5 млн.т руды в год, из которых специалистами рудника для проведения опытно-промышленных испытаний выбран вариант камерной системы разработки с уменьшенными геометрическими параметрами и закладкой выработанного пространства, который наиболее эффективен с экономической точки зрения и, вместе с тем, более безопасен. Его преимуществами является исключение присутствия людей в выработанном пространстве, более высокая производительность добычных работ и оптимальные показатели излечения.

Геомеханическое обоснование параметров системы разработки [1-3] наряду с другими параметрами предусматривает определение размеров междублокового и междукамерных целиков, расчет которых произведен аналогично методике расчета прямоугольных междукамерных целиков при камерно-столбовой системе разработки с некоторыми поправками, повышающими коэффициент запаса. Расчет сведен к определению давления на целик по методу Турнера-Шевякова. Условие прочности для целиков с прямоугольной формой поперечного сечения определяется уравнением:

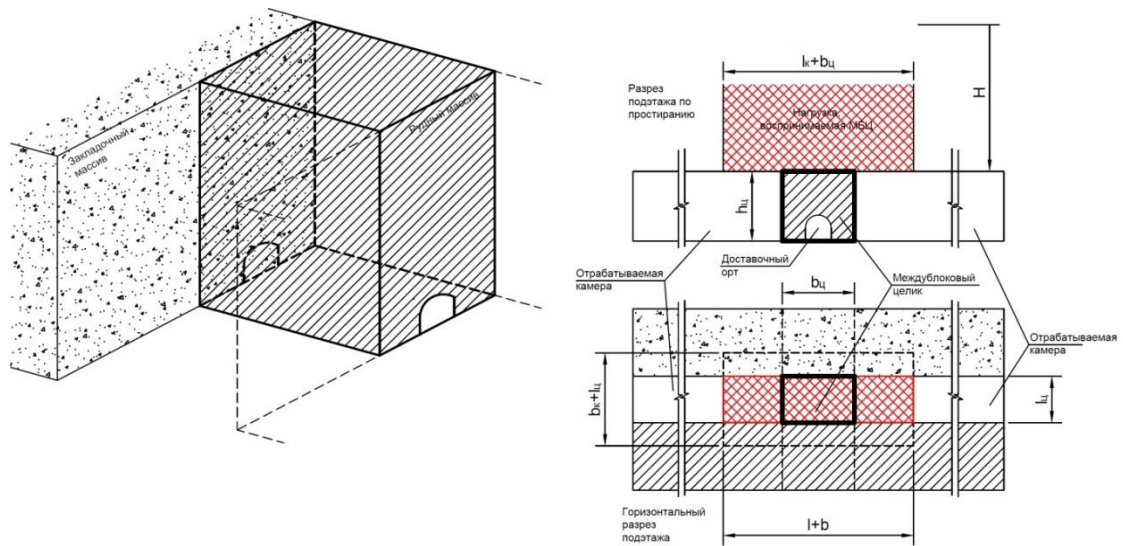
$$\frac{K_H K_\alpha \gamma H (b_k + l_c)(l_k + b_c)}{ab} = \frac{\sigma_{сж} K_{стр} K_{вр}}{K_{зап}} K'_\phi K''_\phi, \quad (1)$$

где  $b_k$  – ширина камеры, м;  $l_k$  – длина камеры, м;  $b_c$  – ширина целика, м;  $l_c$  – длина целика, м ( $l_c = b_k$ );  $K_H$  – коэффициент нагрузки, учитывающий долю веса пород налегающей толщи, воспринимаемую целиками;  $K_\alpha$  – коэффициент, учитывающий влияние угла падения рудного тела на величину нагрузки, приходящейся на целик;  $K_{стр}$  – коэффициент структурного ослабления, учитывающий снижение прочности пород в реальном массиве по отношению к их прочности в образце;  $K_{вр}$  – коэффициент, учитывающий влияние времени на несущую способность целика или кровли камеры;  $K_{зап}$  – коэффициент запаса прочности;  $K'_\phi$  – коэффициент формы целика, учитывающий влияние на его несущую способность соотношения параметров целика в плане;  $K''_\phi$  – коэффициент формы целика, учитывающий влияние на его несущую способность параметров целика в сечении, соответствующем направлению нагрузки на целик;  $\gamma$  – средний объемный вес пород налегающей толщи, МН/м<sup>3</sup>;  $H$  – высота столба пород, поддерживаемого целиком, м.

Расчетная схема для расчета междублокового целика приведена на рис. 1.

Выделяется постоянный коэффициент  $q$ :

$$q = \frac{K_H K_\alpha \gamma H K_{зап}}{\sigma_{сж} K_{стр} K_{вр} K_{осл}}, \quad (2)$$



**Рисунок 1. Схема к расчету ширины междублокового целика**  
**Figure 1. Scheme for calculating the width of the interblock rear sight**

Формула 4.10 примет вид:

$$q(b_k + l_{ц})(l_k + b_{ц}) = l_{ц}b_{ц}bK'_{ф}K''_{ф} \quad (3)$$

Тогда ширина целика находится по формуле:

$$b_{ц} = \frac{q l_k (b_k + l_{ц})}{l_{ц} K'_{ф} K''_{ф} - q (b_k + l_{ц})} \quad (4)$$

Используя рекомендации «Методических указаний ...» [2,3] принимаем следующие значения расчетных коэффициентов:  $K_H=0,3$  (с учетом перераспределения нагрузки на рудный и закладочный массив);  $K_{стр} = 0,8$ ;  $K_{вр} = 1$ ;  $K_{зап} = 1,5$ ;

$$K'_{ф} = 0,8 + 0,2 \frac{b_{ц}}{l_{ц}} \text{ и } K''_{ф} = \frac{l_{ц}}{h_{ц}}.$$

Коэффициент ослабления, связанный с проведением доставочной выработки и расчески, определяется:

$$K_{осл} = \frac{(b_{ц} - b_{орт} - 0,4)(l_{пр} - l_з - 0,4)}{b_{ц} l_{пр}}, \quad (5)$$

где  $b_{ц}$  – ширина целика, м;  $b_{орт}$  – ширина доставочной выработки, м;  $l_{пр}$  – расстояние между заездами, м;  $l_з$  – ширина заезда, м.

Расчет ширины междублокового целика при различных длине и ширине камеры (длины целика) приведены в табл. 1 и 2.

**Таблица 1. Расчет ширины междублокового целика при различной длине камеры**  
**Table 1. Calculation of the width of the interblock rear sight for different chamber lengths**

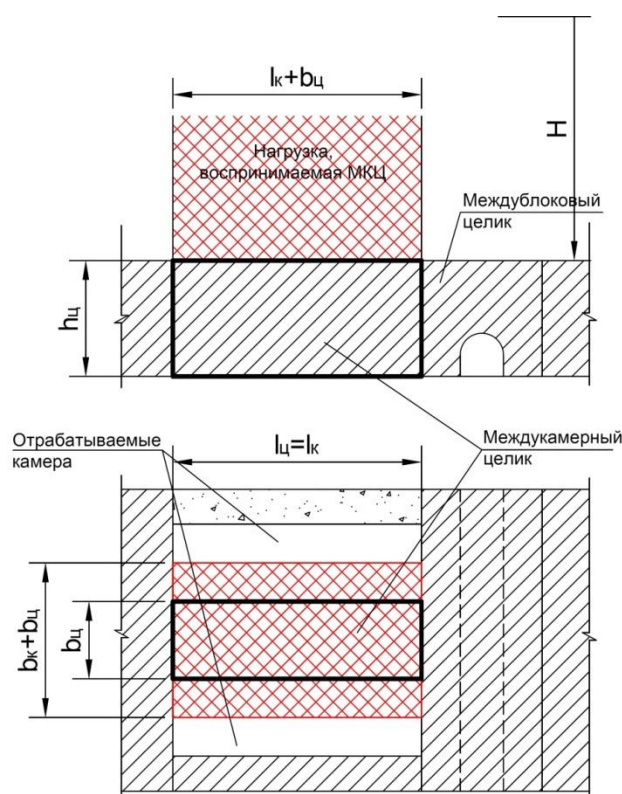
Коэффициент ослабления	$K_{осл}$	доли ед.	0,11	0,15	0,18	0,20
Коэффициент формы целика	$K'_{ф}$	доли ед.	0,85	0,84	0,84	0,83
Коэффициент формы целика	$K''_{ф}$	доли ед.	1,49	1,93	2,38	2,82
Длина целика	$l_{ц}$	м	6			
Ширина целика	$b_{ц}$	м	5,3	6,2	7,2	8,2
Коэффициент	$q$	-	0,13	0,14	0,15	0,17
Длина камеры	$l_k$	м	20	30	40	50
Ширина камеры	$b_k$	м	6			

**Таблица 2. Расчет ширины междублокового целика при различной ширине камеры**  
**Table 2. Calculation of the width of the interblock rear sight for different chamber widths**

Коэффициент ослабления	$K_{осл}$	доли ед.	0,20	0,23	0,25	0,26
Коэффициент формы целика	$K'_ф$	доли ед.	0,83	0,83	0,82	0,82
Коэффициент формы целика	$K''_ф$	доли ед.	2,82	2,82	2,82	2,82
Длина целика	$l_ц$	м	6	8	10	12
Ширина целика	$b_ц$	м	8,2	6,7	6,2	6
Коэффициент	$q$	-	0,17	0,14	0,13	0,13
Длина камеры	$l_к$	м	50			
Ширина камеры	$b_к$	м	6	8	10	12

Расчет показал, что при принимаемых параметрах варианта системы разработки, ширина междублокового целика составляет не менее 8,2 м.

Обработка запасов подэтажа по камерно-целиковой схеме предполагает оценку устойчивости междукамерного целика (камеры второй очереди). Расчет междукамерного целика аналогичен методике для расчета междублокового целика, приведенной выше. Некоторые допущения при расчете идут в запас устойчивости. Расчетная схема приведена на рис. 2. Расчет ширины междукамерного целика при различной длине камеры (длины целика) приведен в табл. 3.



**Рисунок 2. Схема к расчету ширины междукамерного целика**  
**Figure 2. Scheme for calculating the width of the inter-chamber rear sight**

**Таблица 3. Расчет ширины междукамерного целика при различной длине камеры**  
**Table 3. Calculation of the width of the inter-chamber rear sight for different chamber lengths**

Коэффициент формы целика	$K'_ф$	доли ед.	0,81	0,81	0,81	0,81
Коэффициент формы целика	$K''_ф$	доли ед.	1,93	2,38	2,82	3,27
Длина целика	$l_ц$	м	30	40	50	60
Ширина целика	$b_ц$	м	1,5	2	2,6	3,2
Коэффициент	$q$	-	0,06	0,08	0,10	0,12
Длина камеры	$l_к$	м	30	40	50	60
Ширина камеры	$b_к$	м	6			

Расчет показал, что при длине камеры равной 50 м достаточная прочность целика обеспечивается при его ширине 2,6 м. С учетом динамической устойчивости под воздействием взрывных работ по условию Ф.А. Барсукова [4] рекомендуется величину междукамерного целика принимать не менее 6 м.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борщ-Компониец В.И., Макаров А.Б. Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей. М.: «Недра», 1986. - 271 с.
2. Методические указания по управлению горным давлением при сплошных системах разработки на рудниках Норильского ГМК. Л.: Изд-во «ВНИМИ», 1976. - 74 с.
3. Методические указания по определению допустимых пролетов обнажений трещиноватых горных пород и размеров опорных целиков при подземной разработке рудных месторождений. М.: «ИПКОН» АН СССР, 1978. - 92 с.
4. Барсуков Ф.А. Проектирование технологических схем и процессов подземной добычи руд. М.: «Недра», 1993. - 285 с.

622.286.6

### О КОНТРОЛЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОГНЕВЫХ ЗАБОЕВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СЖИГАНИИ УГЛЯ

РАХИМЖАНОВ А.М. ИСАГУЛОВ С.Т.

Карагандинский государственный технический университет

**Аннотация.** Большое значение при получении модели системы подземного сжигания угля имеет знание параметров огневого забоя, а также его местоположения, пространственной ориентации, скорости перемещения. Для получения представления о тепловой активности в трех измерениях замерные скважины располагают на пути предполагаемого перемещения зоны горения. Скважины оборудуются несколькими термопарами, устанавливаемыми на определенном расстоянии друг о друга на всю мощность угольного пласта. Описан способ контроля, который заключается в использовании скважин, пробуренных в междупластье и соответствующем аналитическом решении задачи о прогреве пород междупластья.

**Ключевые слова:** Уголь, пласты, междупластье, подземная газификация, скважины, термопары, огневой забой.



## ABOUT THE CONTROL OF THE POSITION OF FIRE FACES DURING UNDERGROUND COAL BURNING

RAKHIMZHANOV A.M. ISAGULOV S.T.

Karaganda State Technical University

**Abstract.** Knowledge of the parameters of the fire face, as well as its location, spatial orientation, and speed of movement is of great importance in obtaining a model of an underground coal burning system. To get an idea of the thermal activity in three dimensions, measuring wells are located in the path of the intended movement of the gorenje zone. Wells are equipped with several thermocouples installed at a certain distance from each other for the entire capacity of the coal seam. The method of control is described, which consists in the use of wells drilled in the interlayer and the corresponding analytical solution of the problem of heating the rocks of the interlayer.

**Keywords:** coal, strata, interplast, underground gasification, wells, thermocouples, fire face.

Подземный теплогазогенератор как объект идентификации и управления является сложной нестационарной системой с распределенными параметрами, предварительная информация о которой носит интегральный характер и оказывается, как правило, недостаточной. В то же время процессы подземного сжигания угля в каждый момент времени достаточно локализованы в пространстве. В связи с этим особое значение для получения модели системы подземного сжигания угля приобретает знание параметров огневого забоя, его местоположения, пространственной ориентации, скорости перемещения.

На сегодняшний день известны следующие способы контроля положения огневых забоев.

Решение ряда важных задач контроля температурных режимов при подземной газификации угля может быть осуществлено на основе применения термочувствительных кабелей-датчиков (ТКД). В отличие от других типов датчиков температуры, ТКД позволяет зафиксировать температуру не в одной точке, а во всей области, где они пролегают [2].

При одновременном сжигании сближенных пластов угля в массиве вмещающих пород образуется, по меньшей мере, два подземных теплогазогенератора. Физическое тепло, получаемое в результате сжигания угольных пластов, стабильность процесса горения и газификации существенным образом зависят от поведения вмещающих пород. Это влияние наиболее существенно в том случае, когда мощность пород междупластья соизмерима или больше мощности сжигаемых угольных пластов. Наличие таких горно-геологических условий характерно для участков Карагандинского угольного бассейна. Из перечисленных выше возможных способов контроля положения огневого забоя наиболее практичным является способ, связанный с измерением температуры массива горных пород. При этом используются специальные скважины, которые бурятся на пути предполагаемого движения зоны горения с поверхности [1]. Эти скважины оборудуются несколькими термопарами, устанавливаемыми на определенном расстоянии друг от друга на всю мощность угольного пласта от его почвы до кровли. Путем расположения замерных скважин на пути предполагаемого перемещения зоны горения получают полное представление о тепловой активности в трех измерениях. При этом необходимо отметить следующее.

1. Требуется частая сетка скважин, пробуриваемых с поверхности.
2. Измерение температуры можно проводить только в определенных точках, при этом точность определения продвижения фронта огневого забоя существенно уменьшается.

3. Требуется обсадка скважин во избежание их затопления при пересечении водоносного горизонта.

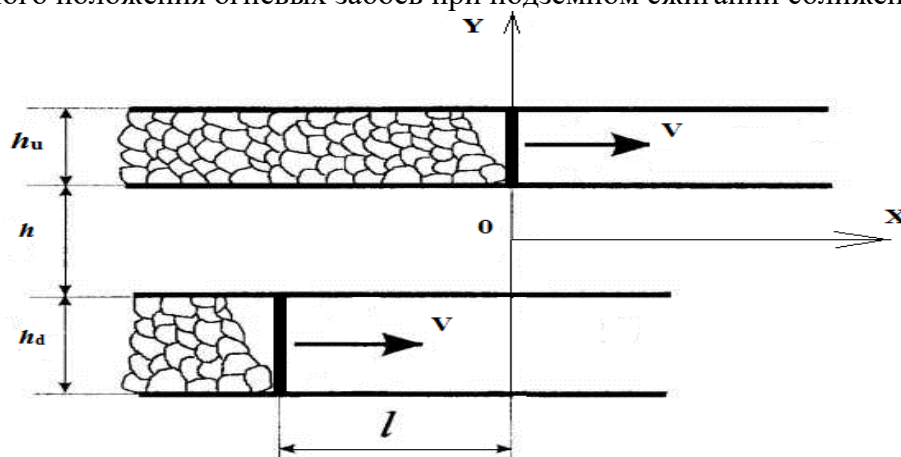
Разрабатываемый способ контроля заключается в использовании скважин, пробуренных в междупласть, и соответствующего аналитического решения задачи о прогреве пород междупластья (см. рис.). Скважины обсаживаются трубами, измерение температуры проводится термодарой, которая продвигается по трубе на специальном устройстве. В основу аналитического решения задачи о прогреве вмещающих пород положено известное решение задачи о мгновенном точечном источнике тепла, полученном в [3], которое, с учетом угла наклона реакционных поверхностей огневых забоев, будет выглядеть следующим образом:

$$t(X, Y) = \frac{q}{2\pi\lambda} * \left( \int_{\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}+h_u} e^{-\frac{V*X}{2a}} * K_0 \left( \frac{V*\sqrt{X^2+(Y-y')^2}}{2a} \right) dy' \right) +$$

$$+ \frac{q}{2\pi\lambda} * \left( \int_{-\frac{h}{2}}^{-\frac{h}{2}-h_d} e^{-\frac{V*(X+l)}{2a}} * K_0 \left( \frac{V*\sqrt{(X+l)^2+(Y-y')^2}}{2a} \right) dy' \right),$$

где,  $h$  - расстояние между пластами, мощность пород междупластья, м;  
 $h_u$  и  $h_d$  - мощности верхнего и нижнего пластов соответственно, м;  
 $V$  - скорость подвигания огневых забоев, м/с;  
 $\lambda, a$  - теплопроводность и температуропроводность среды соответственно;  
 $y'$  - переменная интегрирования;  
 $l$  - величина отставания нижнего забоя от верхнего, м;  
 $K_0$  — функция Мак-Дональда (бесселева функция 4-го рода нулевого порядка).

Сопоставление результатов измерения температуры пород междупластья наряду с исследованием решения (1) дает возможность разработать основы методики определения взаимного положения огневых забоев при подземном сжигании сближенных пластов угля.



Для получения данных в целях разработки методики определения взаимного положения огневых забоев, необходимо исследовать полученное математическое выражение на экстремум, что и будет являться предметом дальнейших исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Austin H.Earry, Temperature monitoring aids coal gasification tests.— «Instrum, and Contr. Svst.». 1981. 54. №6. С. 39-41.
2. Ямщиков В.С., Шкуратник В.Л. Контроль процессов при подземной газификации углей. М.: МГИ, 1987.
3. Глузберг Е.И., Исагулов С.Т. Аналитическое исследование прогрева массива вмещающих пород при сжигании сближенных пластов угля. Рукопись деп. в КазНИИНТИ Да 2388-Ка88 от 09.11.88. 16 с. ил.

**ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ CAVITY MONITORING SYSTEM (CMS) ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

ГОЛУБКО Б. П.<sup>1</sup>, КРАПИВКА А. В.<sup>2</sup>, ВИНАЛЬЕВА Е. А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>ПАО Гайский ГОК, Подземный рудник, г. Гай, Оренбургская обл.

**Аннотация.** В данной работе рассматривается технология лазерного сканирования, которая помогает проводить мониторинг труднодоступных или опасных подземных пространств. С ее помощью достигается абсолютная безопасность маркшейдерских работ, так как оператор находится в безопасном месте.

**Ключевые слова:** Лазерное сканирование, камеры, безопасность, облако точек, мониторинг, съёмка, 3D модель, Cavity Monitoring System.

**LASER SCANNING TECHNOLOGIES ON THE EXAMPLE OF CAVITY MONITORING SYSTEM (CMS) IN THE PRODUCTION OF SURVEYING SURVEYS OF HARD-TO-REACH MINE WORKINGS**

GOLURAL BRANCHKO B. P.<sup>1</sup>, KRAPIVKA A. V.<sup>2</sup>, VINALYEVA E. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural State Mining University

<sup>2</sup>PJSC Gaisky GOK, Underground mine, Gay, Orenburg region

**Abstract.** In this work, we consider the technology of laser scanning, which helps to monitor hard-to-reach or dangerous underground spaces. It achieves the absolute safety of the marking work, since the operator is in a safe place.

**Keywords:** Laser scanning, cameras, safety, point cloud, monitoring, shooting, 3D model, Cavity Monitoring System.

При добыче полезных ископаемых подземным способом система разработки связана с большим количеством видов подземных горных выработок, положение и состояние которых непрерывно меняется как с течением времени, так и в пространстве. Чем сложнее месторождение, тем важнее вопрос своевременной и точной увязки между собой подземных выработок, определения их объемов и контуров.

Одной из главных задач маркшейдерской службы является выполнение совокупности работ по геометрическому обеспечению проведения подготовительных, нарезных, очистных горных выработок в соответствии с технической проектной документацией [1].

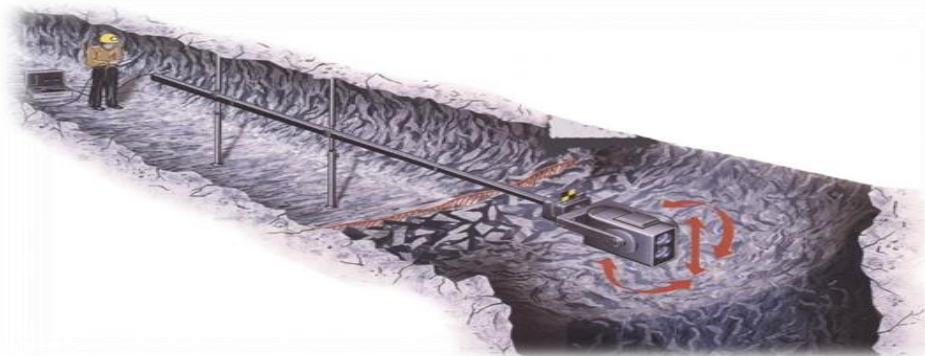
При подземной разработке месторождения маркшейдер производит съёмку горных выработок и элементов залегания полезного ископаемого, по результатам которой составляет и систематически пополняет планы горных работ. Полная и своевременная маркшейдерская съёмка горных выработок, координирование и ориентирование их в единой системе координат, принятой на земной поверхности, является важнейшим условием безопасного ведения горных работ.

Применение классических методов съёмок и соответствующих им приборов замедляет процесс получения результатов и снижает точность съёмки по причине, так называемого человеческого фактора. Зачастую исполнителям приходится находиться в

зонах опасных природных и техногенных процессов. Одним из возможных способов решения данных проблем является применение новых современных технологий съемок. Съемка очистного пространства производится для определения объема добычи горной массы, объёмов пустот, объема закладочной смеси, подсчета потерь и разубоживания, расположения контура камеры в пространстве, определения междукамерных целиков и дальнейшего проектирования горных работ [2]. Одним из возможных способов решения данных проблем является применения современных инновационных технологий съемки.

В современном мире нашли применение системы мониторинга труднодоступных полостей CMS (Cavity Monitoring System). Она была разработана канадской компанией Optech в 2003 году [3].

Одним из известных продуктов компании является Teledyne Optech CMS V500. Это широко используемая маркшейдерами всего мира система мониторинга недоступных полостей. Система собирает тысячи точно координированных точек, которые используются для определения размеров, ориентации и объемов полостей и создания подробной маркшейдерской горно-графической документации. При этом она обеспечивает абсолютную безопасность при проведении стандартных маркшейдерских работ, поскольку сенсор системы выдвигается в труднодоступные или опасные области, а оператор остается в безопасном пространстве (рис. 1).



**Рисунок 1. Работа CMS в горной выработке [4].**

Маркшейдерский сканер CMS Teledyne Optech позволяет решить задачу определения фактических контуров отбитых камер с целью установления положения бортов и кровли для дальнейшего составления проектов на эксплуатационное бурение соседних камер. При разбурировании, на основе имеющихся фактических контуров, появляется возможность определения фактического целика на контакте "руда-бетон", что уменьшает попадание закладки в отбитую руду и уменьшает её потери. Кроме того, использование сканирующей системы позволяет следить за обрушениями кровли камер в процессе отбойки и после ее завершения.

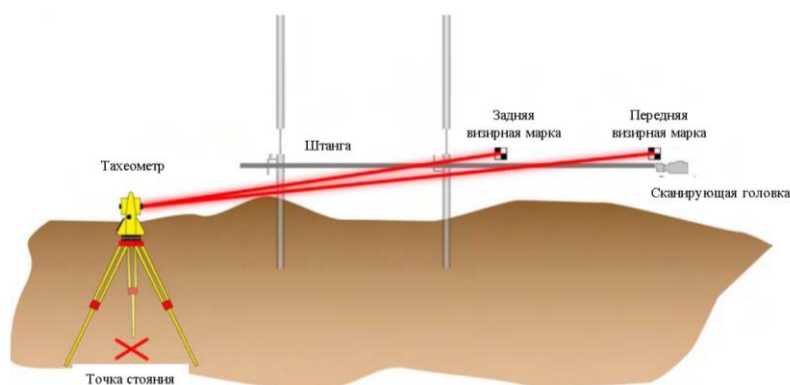
Принцип действия CMS основан на использовании лазерного сканирующего дальномера, который вводится в полость и вращается в ней на  $360^\circ$  по горизонтали и по вертикали на  $320^\circ$ , обеспечивая непрерывный сбор данных об углах и расстояниях.

Расстояние рассчитывается исходя из времени прохождения лазерного импульса до материала и обратно. Оно измеряется высокоточным счетчиком и преобразуется в расстояние, которое считывается микропроцессором. Быстрое пробуждение лазера и применение операции усреднения для уменьшения случайных ошибок позволяет дальномеру снимать показания с высокой разрешающей способностью независимо от расстояния.

Контроллер позволяет программировать съемку системой и дистанционно отслеживать процесс на дисплее. Управляющее программное обеспечение и все данные съемки хранятся в контроллере.

Компьютер соединен с точкой входа в сеть (концентратором) в блоке питания сетевым соединением.

Маркшейдерская привязка CMS производится с целью определения координат центра вращения лазерной сканирующей головы в системе координат горной выработки (рис. 2). Эти координаты вычисляются программой по координатам визирных марок и расстоянию от передней визирной марки до центра вращения сканирующей головы. Поскольку маркшейдерский сканер CMS производит съемку в условной системе координат, связанной с центром вращения лазерной головы, то знание координат этого центра, а также азимута начального направления позволяет составить модель снимаемого объекта в системе координат горной выработки [4].



**Рисунок 2. Геодезическая привязка лазерной сканирующей системы**

Рассмотрим основные этапы работы специалиста с прибором CMS Teledyne Optech:

Первым этапом работы является подготовка системы на поверхности, которая проходит в несколько этапов: отсоединение зарядного устройства от блока питания, проверка комплектации сканирующей системы CMS, и заключительный этап - транспортировка системы CMS к месту съёмки.

Второй этап непосредственная установка сканирующей системы в горной выработке: обследование места проведения съёмки с целью определения наилучшего положения для установки системы CMS (рис. 3), монтаж механических опор. После закрепления лазерной сканирующей шей головы и визирных марок, головка вводится в полость. Рекомендуется подождать некоторое время для того, чтобы дальномер приспособился к климатическим условиям, осмотреть линзы дальномера не конденсируется ли влага.



**Рисунок 3. Способы установки системы а) подкатная тележка, б) карбоновые штанги и мачты, в) штатив, г) вертикальная установка [4].**

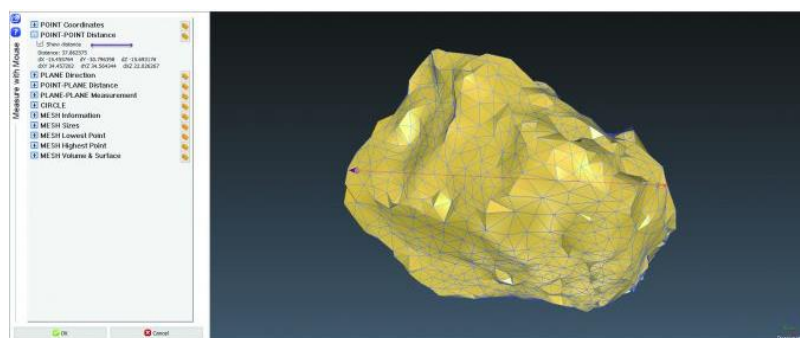
Основным этапом является съёмка полости камеры. Работа начинается с включения блока питания и активации контроллера. Как только индикатор беспроводного сигнала станет зелёным, на контроллере запускается программа CMS. После нажатия кнопки «Survey», сканирующая головка приводится к горизонту. Далее выбирается режим съёмки и название файла, устанавливаются параметры съёмки, отслеживается процесс

сбора данных на контроллере, координируются две визирных цели для вычисления координат (см. рис. 2) лазерной сканирующей головки. По окончании работы производится выключение контроллера и блока питания.

Затем следует этап демонтажа, состоящий из: извлечения лазерной сканирующей головки из полости, демонтажа системы CMS и монтажных опор, поднятия лазерной сканирующей системы и контроллера на поверхность для передачи данных.

Обработка данных производится в следующей последовательности: загрузка данных съёмки из контроллера на компьютер, конвертация данных съёмки в файл DXF для импорта в программу Mainframe, реге CAD-систему, для дальнейшей обработки. Получение 3D модели выработки (рис. 4).

Заключительным этапом является подзарядка батареи системы и контроллера.



**Рисунок 4. 3D-модель, созданная из облака сканирования, измерена для определения размеров и объема полости [6].**

Повышение информативности точечной модели достигается путем установки сканера на большей высоте над объектом съёмки, что позволяет увеличить обзор области сканирования и плотность расположения точек на скане [5].

Технология лазерного сканирования была успешно применена, когда обрушилась крыша туннеля на строительной площадке гидроэлектростанции в Бутане. Обрушение крыши внутри основного подъездного туннеля на строительной площадке плотины гидроэлектростанции в Бутане привело к гибели людей и значительной задержке строительства. Участники проекта не могли продолжить работу в туннеле до тех пор, пока не выяснили размер и состояние полости, которая осталась над обломками, блокировавшими камеру

APIPL (Associated Polytech Industries P Ltd) признал, что одним из жизнеспособных решений для точного обследования пространства было использование CMS.

Скважина, которую использовали для съёмки, была пробурена вертикально. В качестве дополнительной меры предосторожности внутренняя часть отверстия была облицована стальным кожухом. Эти условия способствовали безопасной установке и извлечению CMS V500 (рис. 5).

Специалисты предпочли использовать VIP (The vertical insertion package), предлагаемый вместе с CMS от Optech. Пружинный механизм VIP удерживал устройство в устойчивом положении и в центре обсадной колонны, когда оно безопасно опускалось в скважину.



**Рисунок 5. Комплект для вертикальной установки (VIP) удерживает CMS в устойчивом положении и по центру при его опускании в вертикальную скважину [6].**

При подготовке к сканированию полости специалисты сначала использовали CMS в наземном режиме, установленную на штативе внутри туннеля (см. рис. 3в). Они сделали пять сканированных изображений туннеля, начиная с места обрушения и затем продвигаясь к входу. Эта информация имела жизненно важное значение для представления полости в правильной ориентации и местоположении относительно всего комплекса подземных туннелей.

Перед установкой CMS к VIP был прикреплен автономный инклинометр, который спускался в скважину с помощью лебедки на поверхности над отверстием. Он фиксировал точные данные об ориентации и местоположении, когда он спускался в скважину до того, как достиг полости. Эти данные испытаний будут позже сопоставлены со сканами CMS и данными встроенного инклинометра для обеспечения точности позиционирования.

Затем система была подключена к VIP для сбора сканированных изображений. По мере того, как устройство опускалось с помощью лебедки, CMS, оснащенная камерой, фиксировала изображения и сканирование с низким разрешением внутри скважины, которые передавались в реальном времени по оптоволоконному кабелю на поверхность.

Специалисты изучали изображения на планшете, медленно направляя устройство вниз на метр за раз. На каждом метре была сделана отметка времени, чтобы данные сканирования CMS можно было сопоставить с записями позиционных данных инклинометра.

Оказавшись внутри камеры, CMS был переключен в режим «точного сканирования», в котором были получены тысячи лазерных измерений. Каждое сканирование фиксировало облако точек с полем обзора 360° x 320° в пустом пространстве. Инклинометр отслеживал положение сканера во время каждого сканирования, а тахеометр, установленный над скважиной, исследовал местоположение VIP, когда CMS опускалась.

После безопасного извлечения устройств программное обеспечение обработки Optech CMS Desktop использовалось для удаления шума из данных сканирования перед объединением сканированных изображений в трехмерное облако точек, представляющее всю полость. Данные от инклинометра и тахеометра использовались для регистрации сканов друг с другом, а затем для привязки облака точек к системе координат объекта проекта.

Как и ожидалось, облако точек показало большую полость со стенками неопределенной формы. CMS провела тысячи измерений внутри полости, а программное

обеспечение определило ее общий объем. Координатные данные точно определяли пустое пространство в существующей 3D-модели объекта. Эта информация позволила инженерам лучше понять условия в районе, где произошло обрушение, и позволила им приступить к разработке плана возобновления работ в основном туннеле [6].

Необходимо добавить, что при определении альтернативных методов съемки труднодоступных пустот существует несколько систем мониторинга других компаний. Основные технические характеристики лазерных сканеров этих компаний приведены в табл.1.

Погрешность определения объемов при маркшейдерской съемке определяется следующими факторами: погрешностями аналогии, методическими погрешностями, погрешностями определения пространственного положения съёмочных точек.

Погрешности аналогии происходят от того, что поверхность, описываемая съёмочными точками, не отражает всех изгибов и особенностей действительной поверхности снимаемого объекта. При применении высокоточной схемы погрешности аналогии очень незначительно искажают объем, так как плотность съёмочных точек достаточная (до 300 000 точек в сек.). Это позволяет достаточно точно изобразить действительную поверхность. Другие схемы съемок приводят к существенному влиянию погрешности аналогии, уменьшить которую возможно только увеличением количества съёмочных точек, что в данном случае невозможно в классической и современной схемах.

Методические погрешности очень близки к погрешностям аналогии. Но могут быть сведены к минимуму корректировкой методики измерений и обработки результатов измерений. Применение той или иной методики ведения съёмочных работ осуществляется исходя из точности измерений.

Согласно вышесказанному определим погрешность измерения линейных величин. Согласно инструкции [7] погрешности в определении контуров камер не должны превышать 1:100.

Определим допустимую погрешность измерения линейных величин по формуле  $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{100}$ , отсюда  $m_d = \frac{d}{100}$ , где  $d$  – длина линии. Тогда при параметрах камер от 20-80 м точность линейных измерений не должна превышать 0,2-0,8 м.

Далее произведем оценку точности определения объема.

Объем камеры можно определить по формуле:

$$V = a * b * h, \quad (1)$$

где  $a, b, h$  - линейные параметры камеры, соответственно длина, ширина и высота, м.

Средняя квадратическая ошибка объема камеры в этом случае составит

$$m_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial a} m_a\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial b} m_b\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h} m_h\right)^2} \quad (2)$$

После алгебраических преобразований получим относительную погрешность определения объема:

$$m_{V\text{отн}} = \sqrt{\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2}, \quad (3)$$

где  $m_a$ - погрешность линейных измерений, берется из технических характеристик прибора.



**Таблица 1. Технические характеристики сканеров**

Технические характеристики сканеров	Optech CMS модель V500	Компания Gexel HERON Lite	Компания Carlson		Компания GeoSLAM ZEB-Horizon
			VS150	C-ALS	
Диапазон действия Минимальная дальность: Максимальная дальность:	50 см до 500 м	- 100 м	0,5 м До 150 м	0,5 м До 150 м	- 100 м
Скорость сканирования, точек/с	57 600	300 000	200	200	300000
Точность линейных измерений, см	± 2	± 3	±1	±1	1-3
Разрешение:	0,02°	0,1°	0,1°	0,1°	0,1°
Область сканирования: По вертикали По горизонтали	от 0 до 320° от 0 до 360°	от + 15° до - 15° от 0 до 360°	от +135° до -135° от 0° до 360°	от + 90° до - 90° от 0° до 360°	от + 20° до - 20° от 0 до 360°
Точность отсчета угла:	±0,1°	± 0,2°	± 0,1°	± 0,2°	± 0,2°
Область применения	Съёмка камер и пустот	Съёмка поверхностных объектов и подземных камер	Съёмка камер и пустот	Съёмка камер и пустот	Съёмка поверхностных объектов и подземных камер
Особенности съёмки	Привязка сканера к маркшейдерским точкам	Без ограничений	Привязка сканера к маркшейдерским точкам	Привязка сканера к маркшейдерским точкам	Необходимость совпадения начала и конца съёмки
Стационарная установка сканера на месте съёмки	Требуется (с развёртыванием системы закрепительных штанг и шестов)	Не требуется (полностью мобильное решение)	Требуется (с развёртыванием системы закрепительных штанг и шестов)	Требуется (координация входа)	Требуется (с развёртыванием системы закрепительных штанг и шестов)
Вес сканера, кг	7	0,9	5	5,9	1,3
Производитель	Канада	Италия	США	США	Австралия
Стоимость млн. руб.	8-10	3-5	3-5	8-10	4-5

Средняя квадратическая ошибка объема камеры в этом случае составит:

$$m_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial a} m_a\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial b} m_b\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h} m_h\right)^2} \quad (2)$$

После алгебраических преобразований получим относительную погрешность определения объема:

$$m_{V\text{отн}} = \sqrt{\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2}, \quad (3)$$

где  $m_a$ - погрешность линейных измерений, берется из технических характеристик прибора.

Влияние погрешностей определения пространственного положения съёмочных точек зависит от формы и размеров объекта, а также густоты съёмочных точек на его поверхности.

Определение объема камеры, согласно инструкции, может производиться косвенным способом по контурам камер на планах и разрезах, построенных на основании результатов съемки и замера контрольных скважин [7].

Средняя квадратическая погрешность определения объема по графическим материалам зависит от точности нанесения контура на план и определяется по формуле:

$$\Delta d = \delta_{ан} * M = 0.0005 * M,$$

где  $\delta_{ан}$  – графическая точность нанесения элементов на план, принимаем равной 0,5 – 0,7 мм; M – знаменатель масштаба.

Технологии лазерного сканирования обеспечивают быстрое, точное, трехмерное геодезическое решение, полностью отвечающее потребностям маркшейдеров. Специалисты безопасно выполняют измерения, а полностью программируемые функции, простота транспортировки, настройки и привязки позволяет оптимизировать работу и получать данные в универсальном формате для организации эффективного рабочего процесса[8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ, серия 07. Нормативные документы по вопросам охраны недр геолого-маркшейдерского контроля. Выпуск 15. Охрана недр и геолого-маркшейдерского контроля. М., 2003. 118 с.
2. Красавин А. В., Колесатова О. С. Повышение эффективности маркшейдерских измерений для определения объемов подземных выработанных пространств с учетом технологии очистной выемки, г. Магнитогорск.
3. Ortech [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.gisa.ru/info\\_see.php?id=1843](http://www.gisa.ru/info_see.php?id=1843)
4. Система мониторинга недоступных полостей Teledyne Ortech CMS V500 [Электронный ресурс]. – URL: <http://novanet.su/catalog/87-sistemy-monitoringa/products/516-sistema-monitoringa-nedostupnyh-polostej-teledyne-optech-cms-v500>
5. Комиссаров А.В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий, г. Новосибирск, 2015.
6. Подземное 3D сканирование в Бутане [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gim-international.com/content/article/underground-3d-scanning-in-bhutan>
7. «Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр» (РД 07-408-01), утверждено постановлением Госгортехнадзора России от 22.05.01 № 18.
8. Лазерные сканеры Stonex Teledyne Ortech Trimble и программное обеспечение [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.geosalut.ru/lazernye-skanery/sistema-monitoringa-nedostupnyh-polostej-optech-cms-v500/>

## ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ ПРИ ОСВОЕНИИ УРАЛЬСКИХ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

АНТИПИН Ю.Г., СМИРНОВ А.А., НИКИТИН И.В., СОЛОМЕИН Ю.М.

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

**Аннотация.** Разработаны варианты подэтажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой, учитывающие специфику горно-геологических условий уральских медноколчеданных месторождений, позволяющие повысить экономическую эффективность подземных горных работ за счет снижения разубоживания руды и затрат на подготовительно-нарезные и закладочные работы, а также обеспечить их безопасность за счет повышения устойчивости очистного пространства в период отработки камер.

**Ключевые слова:** Медноколчеданное месторождение, подземная разработка, подэтажно-камерная система разработки, высота подэтажа, технико-экономическая оценка.

## JUSTIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE SURAL BRANCH-LEVEL CHAMBER MINING SYSTEM WITH SOLID FILLING AT THE MINING OF THE URAL CUPPER PYRITE DEPOSITS

ANTIPIN YU. G., SMIRNOV A. A., NIKITIN I. V., SOLOMEIN YU. M.

The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences

**Abstract.** Options of the sUral Branch-level chamber mining system with solid filling, accounting the specifics of the mining and geological conditions of the Ural copper pyrite deposits, allowing to increase the economic efficiency of underground mining operations by reducing the dilution of ore and the costs of pre-cutting and filling operations, and also to ensure their safety by increasing the stability of the stopping space during the mining of chambers, have been developed.

**Keywords:** Cupper pyrite deposit, underground mining, sUral Branch-level chamber mining system, sUral Branch-level height, technical and economic assessment.

Для медных подземных рудников характерно применение этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой и широким использованием самоходной техники (буровых установок, погрузо-доставочных машин, автосамосвалов). Наибольшее распространение получил двух- или трехстадийный порядок отработки этажа, способ подготовки днища камер – траншейный, выпуск руды – площадной. Данная технология обеспечивает полноту извлечения запасов и высокую производительность очистных работ. Параметры камер: длина 30-50 м, высота 60-80 м и ширина 10-20 м [1–3].

Особенностью горно-геологических условий эксплуатации медноколчеданных месторождений Урала является наличие неустойчивых вмещающих пород всячего бока мощностью от 2 до 20 м (иногда до 60 м), которые при обнажении отслаиваются и обрушаются в очистное пространство камер, что приводит к существенному увеличению разубоживания (до 16%) и снижению безопасности горных работ.

Перспективным направлением решения задачи по повышению устойчивости вмещающих пород всячего бока является уменьшения размеров камер, что позволяет снизить разубоживание и повысить безопасность горных работ без дополнительных затрат [4]. Длина камеры при ее расположении вкрест простирания залежи соответствует мощности рудного тела, ширина камеры определяется на основе геомеханических расчетов и принимается максимальной по условию ее устойчивости, следовательно высота камеры –

единственный параметр, который целесообразно изменять с целью обеспечения устойчивости всяческого бока и снижения разубоживания. С технической точки зрения это возможно путем применения подэтажно-камерной системы разработки.

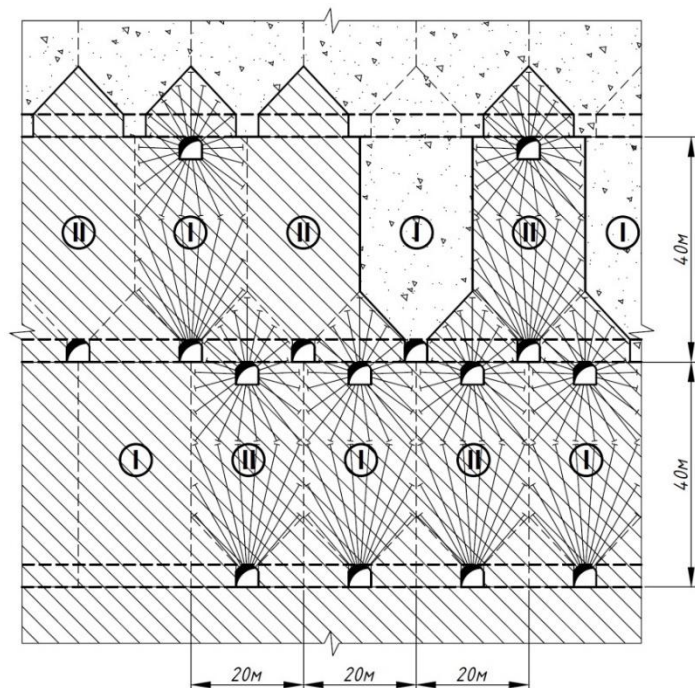
Таким образом, целью настоящих исследований является изыскание и технико-экономическая оценка вариантов подэтажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой, обеспечивающих снижение разубоживание и повышение безопасности горных работ при освоении уральских медноколчеданных месторождений.

При изыскании и конструировании вариантов подэтажно-камерной системы разработки исходили из следующих принципов [5–7]:

- соблюдение условий нисходящей отработки запасов;
- обеспечение полноты выемки и формирование качественного закладочного массива в почве и кровле камер;
- использование рациональной конструкции днища вышележащих камер с целью обеспечения устойчивости кровли нижележащих камер;
- обеспечение максимально возможной интенсивности очистной выемки руды.

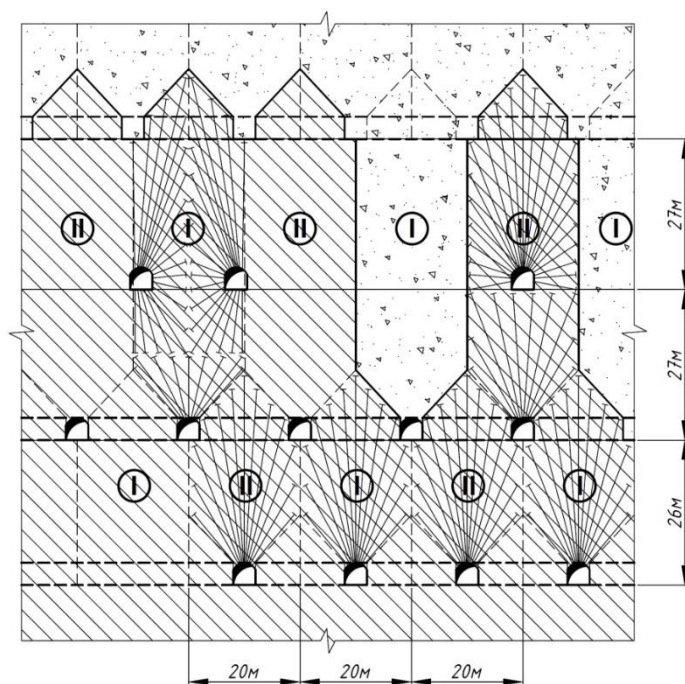
С учетом вышеуказанных принципов разработаны два варианта подэтажно-камерной системы разработки, отличающиеся высотой подэтажей. Приняты следующие горно-геологические условия: средняя мощность рудных тел – 40 м, угол падения – 65°, глубина подземной разработки – более 600 м, высота этажа – 80 м, руды устойчивые, вмещающие породы средней устойчивости и весьма неустойчивые.

Подэтажно-камерная система разработки двумя подэтажами одинаковой высоты (вариант 1). Верхний и нижний подэтажи высотой по 40 м отрабатываются в нисходящем порядке камерами I и II очереди шириной 20 м, расположенными вкрест простирания рудного тела. Способ и схема отбойки руды – веерами скважинных зарядов. Способ подготовки днища камер – траншейный, выпуск руды – торцовый при помощи ПДМ, оснащенной дистанционным управлением. Кровля всех камер предусматривается треугольной формы, что повышает устойчивость подрабатываемого закладочного массива. При отработке смежных камер между выпускными траншеями формируются рудные целики, которые вынимаются при отработке нижележащих камер (рис. 1).



**Рисунок 1. Подэтажно-камерная система разработки двумя подэтажами одинаковой высоты**

Подэтажно-камерная система разработки двумя подэтажами разной высоты (вариант 2). Верхний подэтаж высотой 54 м и нижний подэтаж высотой 26 м отрабатываются в нисходящем порядке камерами I и II очереди шириной 20 м. Способ и схема отбойки руды – веерами скважинных зарядов. Разбуривание камер I очереди верхнего подэтажа осуществляется из буровых ортов, расположенных на границе камер, камер II очереди – буровых ортов, расположенных по оси камер. Способ подготовки днища камер – траншейный, выпуск руды – торцовый при помощи ПДМ, оснащенной дистанционным управлением (рис. 2).



**Рисунок 2. Подэтажно-камерная система разработки двумя подэтажами разной высоты**

Применение вариантов 1 и 2 позволяет:

- уменьшить объем подготовительно-нарезных работ (ПНР) за счет исключения основной части выработок днища камер в результате применения торцового выпуска руды;
- снизить разубоживание руды за счет уменьшения объемов обрушения пород висячего бока в очистное пространство камер в результате уменьшения высоты камер, а также отслоения закладки кровли за счет придания ей более устойчивой формы;
- исключить потери отбитой руды в днище камер за счет использования ПДМ с дистанционным управлением;
- снизить расходы на формирование искусственного массива при закладке камер твердеющей смесью за счет снижения требований к его прочности при уменьшении высоты камер;
- повысить безопасность горных работ за счет повышения устойчивости очистного пространства камер.

Выполнена технико-экономическая оценка вариантов 1 и 2 по критерию прибыли, отнесенной на 1 т погашаемых балансовых запасов с учетом потерь и разубоживания [8]. Результаты расчета основных технико-экономических показателей (ТЭП) представлены в таблице.

**Таблица – ТЭП вариантов систем разработки медноколчеданных месторождений**

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Этажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой	Подэтажно-камерная система разработки двумя подэтажами одинаковой высоты (вариант 1)	Подэтажно-камерная система разработки двумя подэтажами разной высоты (вариант 2)
1	Потери	%	3,0	2,8	2,6
2	Разубоживание	%	16,0	10,0	10,0
3	Удельные затраты на добычу и обогащение руды, в том числе:	руб/т	1903,8	1860,2	1852,6
	- на ПНР	руб/т	113,9	104,4	99,8
	- на отбойку руды	руб/т	163,6	160,6	160,6
	- на выпуск и доставку руды	руб/т	142,8	144,1	145,3
	- на закладочные работы	руб/т	180,5	160,2	162,7
4	Извлекаемая ценность руды	руб/т	2076,2	2145,0	2155,3
5	Прибыль	руб/т	172,4	284,8	302,7

В результате выполненных исследований установлено, что применение подэтажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой при освоении уральских медноколчеданных месторождений по сравнению с традиционной этажно-камерной системой разработки позволяет повысить экономическую эффективность подземных горных работ за счет снижения разубоживания руды в 1,6 раза (с 16% до 10%) и уменьшения затрат на подготовительно-нарезные и закладочные работы на 8-12%, а также обеспечить их безопасность за счет повышения устойчивости очистного пространства в период отработки камер.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания №075-00581-19-00 по Теме №0405-2019-0005.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений: монография. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. – 340 с.
2. Аллабердин А.Б. Обоснование параметров этажно-камерной системы разработки с комбинированной закладкой выработанного пространства при восходящем порядке отработки медноколчеданных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 10-15.
3. Зубков А.В., Сентябов С.В. Методы управления горным давлением, основанные на выявленных закономерностях формирования напряженного состояния в горных конструкциях // Известия вузов. Горный журнал. – 2021. – № 2. – С. 14-25 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-14-25.

4. Антипин Ю.Г. Влияние геометрических параметров камер на эффективность обработки месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № 3. – С. 264-269.
5. Калмыков В.Н., Пергамент В.Х., Неугомонов С.С. Расчет параметров отбойки трещиноватых руд скважинными зарядами при системах разработки с твердеющей закладкой / Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2009. – № 1. – С. 22-24.
6. Смирнов А.А., Антипин Ю.Г. Технология обработки междурусного целика при освоении Гайского медноколчеданного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 11. – С. 53-56.
7. Смирнов А.А., Никитин И.В. Особенности технологической модернизации на горных предприятиях с подземным способом добычи руды // Проблемы недропользования [Электронный ресурс]. – 2020. – № 4. – С. 53-61. URL: <http://trud.igduran.ru> (дата обращения: 23.04.2021).
8. Волков Ю.В., Соколов И.В., Камаев В.Д. Выбор систем подземной разработки рудных месторождений. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 124 с.

УДК 622.684.0004.69

УДК 622.4

## **ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК НА ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ НОВО-УЧАЛИНСКОГО РУДНИКА)**

БИСИНБАЕВ С.А., УГОЛЬНИКОВ А.В.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** В статье подробно представлены регулирования производительности вентиляторных установок. Авторы отмечают, что режим работы вентилятора на шахтную сеть определяется, если известны его расход и депрессия, и зависит от общего сопротивления вентиляционной шахты. При этом не все режимы работы являются технически и экономически целесообразными, кроме этого, зачастую резерва по производительности или депрессии недостаточно при работе одного вентилятора.

**Ключевые слова:** Шахтные вентиляторные установки, главная вентиляторная установка, регулирование, вентиляторы главного проветривания, вентиляторы местного проветривания, режимы работы вентиляционного оборудования

## **JUSTIFICATION OF METHODS FOR REGULATING THE OPERATION OF FAN INSTALLATIONS IN A MINING ENTERPRISE (ON THE EXAMPLE OF THE NOVO- UCHALINSKY MINE)**

BISINBAEV S. A., UGOLNIKOV A. V.

Ural State Mining University

**Abstract.** The article presents in detail the performance control of fan installations. The authors note that the mode of operation of the fan on the mine network is determined if its flow rate and depression are known, and depends on the total resistance of the ventilation shaft. At the same time, not all operating modes are technically and economically feasible, in addition, often the reserve for performance or depression is not enough when operating a single fan.

**Keywords:** Shaft fan installations, main fan installation, regulation, main ventilation fans, local ventilation fans, ventilation equipment operating modes

Шахтные вентиляторные установки расходуют огромное количество электроэнергии, вырабатываемое в горном предприятии. К примеру, в горной отрасли на привод вентиляторов, обслуживающих шахту, уходит до 10% электроэнергии, расходуемой всей шахтой. В связи с этим, создание высокоэкономичных вентиляторов и правильное их использование имеет большое экономическое значение [1].

Как известно, вентиляторы, применяемые на шахтах и рудниках, по своему назначению делятся на вентиляторы главного проветривания; вспомогательные, или участковые; вентиляторы местного проветривания.

Основным узлом в системе проветривания подземных горных выработок шахт и рудников являются вентиляторные установки главного проветривания (ВУГП), расположенные, как правило, на дневной поверхности вблизи вентиляционного ствола, с которым соединяются подводными вентиляционными каналами. Подземные выработки должны проветриваться при помощи непрерывно действующих ВУГП, к которым предъявляется ряд требований по составу, месту расположения, приборам контроля подачи и давления, реверсированию вентиляционной струи с определенным расходом, мерам, исключающим поступление в них опасных газов. Способ проветривания шахт и рудников может быть нагнетательным, всасывающим или комбинированным [2].

Вентиляторные установки как главного, так и вспомогательного проветривания работают на сеть с переменными параметрами – сопротивлением и необходимым расходом воздуха. Основными причинами, вызывающими изменение этих параметров, являются: развитие фронта горных работ, увеличивающее потребность в воздухе в 1,5 – 2,0 раза; сезонные колебания температуры воздуха, вызывающие изменение внутришахтной депрессии на 10 – 15 % от номинальной; изменение утечек и подсосов воздуха в процессе эксплуатации горного предприятия; работа в ремонтные дни, когда потребное количество воздуха уменьшается на 30 – 50 %; изменение суточного ритма работ, производство массовых взрывов, требующих значительной интенсификации проветривания [4]. Создание необходимого давления для преодоления сопротивления вентиляционной сети и обеспечения расчетной производительности осуществляется центробежными или осевыми вентиляторами, устанавливаемыми в вентиляторных установках (ВУ). На Рисунки 1-3 приведены сводные графики областей промышленного использования шахтных ВУ главного и вспомогательного проветривания [2].

Следует отметить, что режим работы вентилятора на шахтную сеть определяется, если известны его расход и депрессия, и зависит от общего сопротивления вентиляционной шахты. При этом не все режимы работы являются технически и экономически целесообразными, кроме этого, зачастую резерва по производительности или депрессии недостаточно при работе одного вентилятора. Поэтому для вентиляции подземных сооружений часто используется работа нескольких вентиляторов.

Совместная работа вентиляторов возможна по следующим схемам: последовательная, параллельная и комбинированная. При этом возможна установка вентиляторов как на одном, так и на нескольких стволах.

А.В. Долганов отмечает, что изменение параметров сети вентиляторных установок приводит к необходимости регулирования режимов их работы во время эксплуатации. Принято считать целесообразными диапазонами регулирования производительности вентиляторных установок 1:2 и давления 1:3 с принятием дополнительных мер для интенсификации проветривания после массовых взрывов. Известны следующие способы регулирования вентиляторов:

1. дросселирование потока воздуха в линии нагнетания или всасывания;
2. изменение частоты вращения рабочего колеса;



3. изменение направления потока перед входом в рабочее колесо;
4. поворот лопаток или отдельных частей лопаток рабочего колеса [3].

В рамках данной статьи рассмотрим вентиляторное оборудование Ново-Учалинского рудника. Главная вентиляторная установка (ГВУ) располагается на поверхности у вентиляционного восстающего. Проветривание горных выработок происходит по всасывающей схеме. Струя свежего воздуха от ПНВ по вентиляционному каналу подается в ствол шахты «Скипо-Клетевая» и далее в подземный рудник. Исходящая струя выдается по вентиляционному восстающему через вентиляционный канал в ГВУ.

В соответствии с выполненными расчетами, требуемый расход воздуха для проветривания подземных горных выработок, составит  $635 \text{ м}^3/\text{с}$ , давление (депрессия)  $4100 \text{ Па}$  ( $410 \text{ даПа}$ ). В период максимального развития подземного рудника, ГВУ должна обеспечивать необходимую подачу и давление. В качестве установки главного проветривания принимается установка ZVN 1-44-4600/8, которая комплектуется двумя однотипными вентиляторными агрегатами (рабочий, резервный). В Таб.1 представлена техническая характеристика вентиляторной установки Ново-Учалинского рудника.

**Таблица 1. Техническая характеристика вентиляторной установки**

Наименование параметра	Значение
Диаметр рабочего колеса, мм	4400
Частота вращения ротора, об/мин	50
Подача номинальная, $\text{м}^3/\text{с}$	35
Статическое давление (депрессия), даПа	410
Время перехода в режим реверса, не более, мин	10
Подача при реверсе, не менее, %	60
КПД максимальный статический, %	83
Мощность электродвигателя, кВт	4600

Механическая часть реверсивного вентилятора состоит из ротора с одним рабочим колесом, корпуса с поворотным спрямляющим аппаратом, трансмиссионного вала, коробки входной, диффузора, системы смазки подшипников ротора, тормоза. Привод рабочего колеса вентилятора осуществляется через трансмиссионный вал с муфтой от асинхронного электродвигателя. Корпус вентилятора и диффузор представляет собой сварную металлоконструкцию из листового профильного проката. На вентиляторах применены подшипники качения имеющие жесткую фиксацию внутреннего кольца на валу от осевого смещения. На вентиляторах применяется циркуляционная смазка подшипников при помощи гидравлических маслостанций. Вентилятор изготавливается в реверсивном исполнении. Реверсирование воздушной струи производится путем изменения направления вращения приводного двигателя, регулирование производительности вентилятора осуществляется путем поворота лопаток рабочего колеса.

Данная вентиляторная установка соответствует требуемым параметрам сети рудника и требованиям ФНП «Правила безопасности при ведении горных работ...», утвержденные приказом от 11 декабря 2013 г. № 599. Время перехода установки в режим реверса составляет не более 10 минут, подача не менее 60% от номинальной.

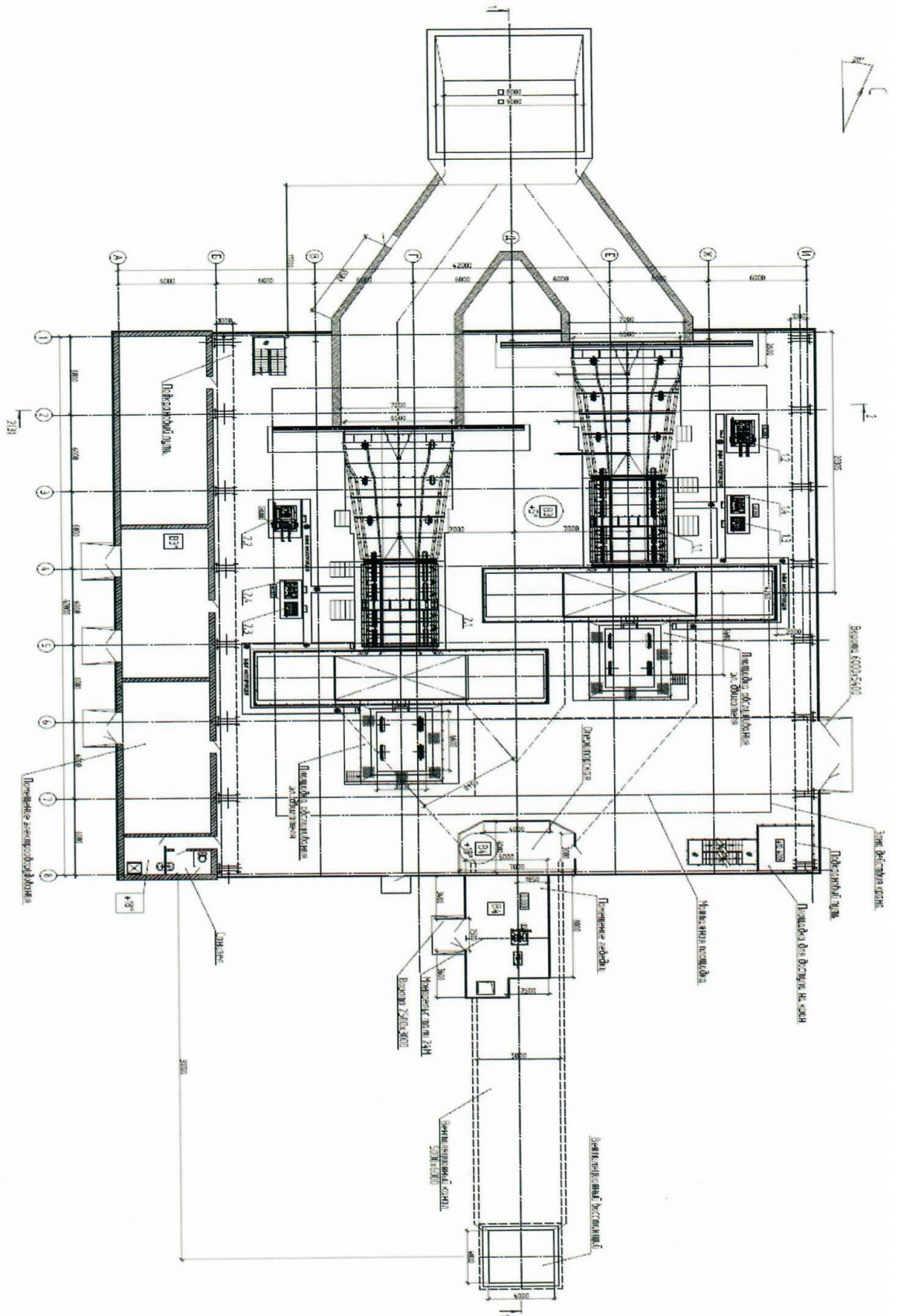


Рисунок 1. Главная вентиляционная установка (ГВУ) Ново-Учалинского рудника

Здание главной вентиляторной установки разработано на основании планировки предоставленной заводом изготовителем, габариты здания в плане 42х42м. Здание оснащено приточно-вытяжной вентиляцией, отапливается до +5° С, имеет рабочее и аварийное освещение. Контроль за работой вентиляторной установки осуществляет оператор. Для создания нормальных санитарно-гигиенических условий в помещении оператора поддерживается температура воздуха +18°С при влажности воздуха 60%. Для выполнения ремонтных работ в здании предусмотрен мостовой электрический опорный кран грузоподъемностью 50 т. Вентиляционный канал и ствол шахты «Скипо-Клетевая» оборудованы противопожарными (отсекающими) лядами.

Используются следующие режимы управление ГВУ:

- местный (ручной режим управления непосредственно у вентилятора);
- дистанционный (автоматический режим, с пульта оператора ГВУ).

Таким образом, регулирование шахтных вентиляторов может вестись с использованием одновременно двух-трех способов. Выбор того или иного способа регулирования вентиляторов должен решаться с учетом наибольшей его экономичности, простоты и удобства обслуживания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. И. Алыменко, Д. Н. Алыменко Вентиляторные установки для различных горно-технических условий // Горное эхо.- № 3-4 (33-34) июль-декабрь 2008. – С. 33-34
2. Братченко Б.Ф. Стационарные установки шахт. М.: Недра, 1977. - 1 с. 440.
3. Долганов А.В. Стационарные машины // учебник. М: Уральский государственный горный университет. - 2017. - С. 93-113.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Утверждены Приказом Ростехнадзора от 11.12.2013 № 599. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2015 212 с.
5. Щербина Г.С. Горный англо-русский словарь // Изд-во: Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк). – 2014. – 306 с.

УДК. 622.275. 622.831

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ

ВАНДЫШЕВ А.М., ТЮЛЬКИН В.П., ПОТАПОВ В.В., ПОТАПОВ В.Я.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** В статье приводится анализ влияния основных горно-геологических и горно-технологических факторов, влияющих на эффективность отработки мощных пологих и наклонных пластов. Изложены рекомендации по совершенствованию слоевых систем разработки и конструктивных параметров технологических схем, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности горных работ

**Ключевые слова:** Мощные угольные пласты, горные выработки, технологические схемы, системы разработки, полевая подготовка

# INCREASING THE EFFICIENCY OF DEVELOPMENT OF THICK FLAT AND INCLINED SEAMS

VANDYSHEV A.M., TYULKIN V.P., POTAPOV V.V., POTAPOV V.Ya.

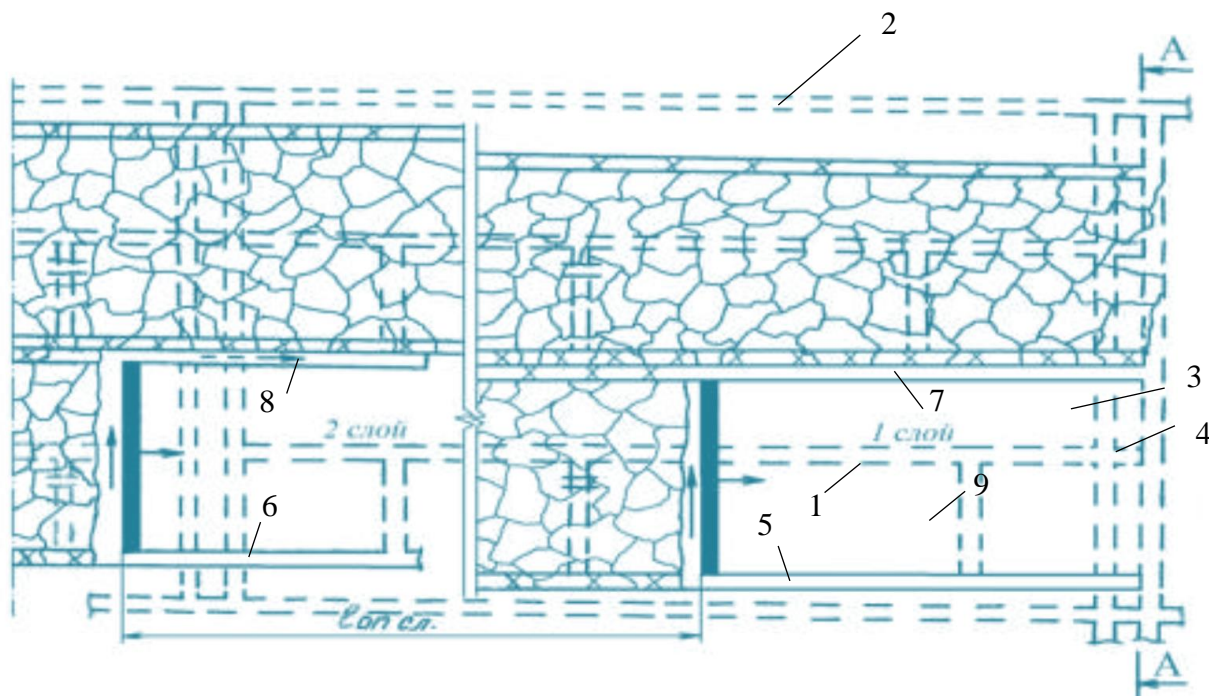
Ural State Mining University

**Abstract.** The article analyzes the influence of the main mining-geological and mining-technological factors affecting the efficiency of mining thick flat and inclined seams. Recommendations are given for improving the layered development systems and design parameters of technological schemes that ensure an increase in the safety and efficiency of mining operations.

**Keywords:** Thick coal seams, mine workings, technological schemes, development systems, field preparation

Многообразие горно-геологических условий разработки мощных пластов является основной причиной принятия различных технических решений по их разработке. Эти решения, как показывает анализ, не всегда являются бесспорными и требуют дальнейшего совершенствования. Особенно это относится к разработке мощных пластов угля, склонного к самовозгоранию и при слабых вмещающих пласты породах. При переходе горных работ на большие глубины недостатки, присущие применяемым в практике вариантам подготовки и отработки мощных пластов, усугубляются, что не позволяет достигать высоких технико-экономических показателей несмотря на применение высокопроизводительной техники.

Анализ отечественного и зарубежного опыта отработки мощных пологих и наклонных пластов [1,2] показывает, что наиболее перспективной является технологическая схема с полной полевой подготовкой и проведением слоевых штреков вприсечку к выработанному пространству впереди очистного забоя отдельными участками до очередного промежуточного квершлага или гезенка (Рисунок 1). Такая схема позволяет иметь минимальную протяжённость поддерживаемых присечных выработок, обеспечить надёжную изоляцию выработанных пространств отработанных участков и достаточно просто регулировать разрыв во времени между отработкой смежных столбов и слоёв.



**Рисунок 1. Схема отработки пласта наклонными слоями при полной полевой подготовке: 1 – полевой откаточный штрек; 2 – полевой вентиляционный штрек; 3,4 – полевой бремсберг с ходком; 5,6 – слоевые конвейерные штреки; 7,8 – слоевые вентиляционные штреки; 9 – участковый квершлаг.**

При этом возможные варианты с одновременной и разновременной отработкой слоев этаже (ярусе). При одновременной отработке слоев расстояние между смежными лавами следует принимать в пределах 25-60 м. При его уменьшении менее 25 м может существенно сказаться влияние очистных работ в нижнем слое на верхний. Увеличение этого расстояния более 60 м приводит к значительному ухудшению состояния слоевых штреков и повышению эндогенной пожароопасности.

При разновременной отработке слоев в этаже (ярусе) предусматривается проведение той же сети выработок, что и при одновременной отработке слоев. Главное отличие заключается в том что, очистные забои в слоях выемочного поля ведутся практически не зависимо друг от друга, расстояние между ними жестко не регламентируется. Минимально допустимое опережение во времени при разработке смежных слоев зависит в основном от времени стабилизации активных сдвижений горных пород при отработке вышележащего слоя и активности углей к самовозгоранию.

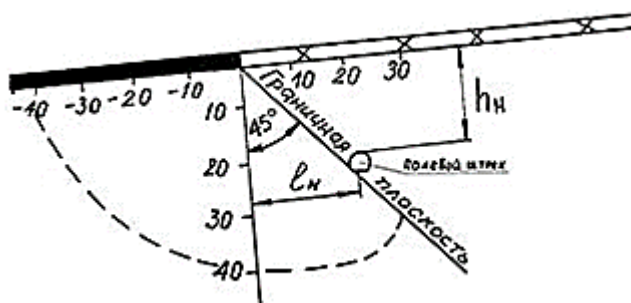
Рекомендуемые разрывы во времени при рассматриваемом варианте отработки слоев приведены в табл. 1.

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

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

При слоевой отработке мощных пластов полевые выработки подвергаются неоднократному воздействию очистных работ. Это естественно должно учитываться при выборе места их расположения относительно надрабатываемого пласта.

Для правильного расположения горизонтальной полевой выработки относительно надрабатываемого пласта необходимо знать два главных параметра [2] – расстояние от выработки до кромки пласта по напластованию  $l_n$  и минимальное расстояние выработки до надрабатываемого пласта (по нормали)  $h_n$  (рис. 2).



**Рисунок 2. Схема к определению места заложения полевых штреков**

Установлению параметров  $l_n$  и  $h_n$  при однократной надработке полевых штреков посвящено значительное количество исследований, выполненных для различных угольных бассейнов и месторождений. На базе многолетних исследований ВНИМИ разработаны рекомендации по выбору места расположения полевых выработок [3]. Эти рекомендации приведены в табл. 2 и 3.

**Таблица 2. Минимальная глубина заложения полевой выработки под надрабатывающим пластом при однократной надработке**

Расчётная глубина расположения выработки $H_p$ , м	Минимальная глубина заложения выработки под надрабатывающим пластом $h_n$ (м) при сопротивлении пород сжатию $R_c$ , МПа		
	До 40	40-60	Более 60
300	15	10	10
600	20	15	10
900	25	20	15
1200	30	25	2

**Таблица 3. Расстояние от полевой выработки до кромки пласта при однократной надработке**

Расчётная глубина расположения выработки $H_p$ , м	Расчётное сопротивление пород сжатию $R_c$ , МПа	Расстояние от полевой выработки до кромки пласта (по напластованию) $l_n$ (м) при расстоянии от надрабатывающего пласта до выработки (по нормали) $h_n$ , м			
		10	20	30	40
300	До 40	20	20	25	50
	40-60	15	15	20	15
	Более 60	10	10	15	10
600	До 40	20	25	30	25
	40-60	20	20	25	20
	Более 60	15	15	15	10
900	До 40	25	30	30	25
	40-60	25	25	25	20
	Более 60	20	20	15	10
1200	До 40	30	35	35	30
	40-60	30	20	25	20
	Более 60	25	25	20	15

Проведенные исследования на шахтах Челябинского бассейна и месторождений Средней Азии [1] также показали, что вторичная и последующие надработки полевых выработок оказывают существенное влияние на их состояние. Это должно учитываться при определении величин  $l_n$  и  $h_n$ .

На основании обобщения материалов исследований для определения места заложения полевых выработок под мощным надрабатываемым пластом, отрабатываемым наклонными слоями в нисходящем порядке, рекомендуется принимать следующие параметры.

Минимальная глубина заложения выработки  $h_n^M$  (м):

а) при разделении пласта на два наклонных слоя

$$h_n^M = 1,2 h_n, \quad (1)$$

а) при разделении пласта на три и более наклонных слоёв

$$h_n^M = 1,25 h_n, \quad (2)$$

где  $h_n$  – минимальная глубина заложения полевой выработки под надрабатываемым пластом средней мощности (по нормали) при однократной надработке (см. табл. 2), м.

Минимальное расстояние полевой выработки до кромки пласта (по напластованию)  $l_n^M$  (м):

$$l_n^M = l_n + v(n-1), \quad (3)$$

где  $l_n$  – расстояние от выработки до кромки надрабатываемого нижнего слоя при однократной надработке (см. табл. 3), м;

$v$  – ширина слоевого штрека, м;

$n$  – количество наклонных слоёв, на которые разделяется мощный пласт.

При слабых вмещающих угольные пласты породах и склонности к самовозгоранию угля не представляются в полной мере возможным использовать имеющиеся рекомендации по широкому кругу горных вопросов (технологические схемы отработки пластов, их конструктивные элементы и параметры, управление неустойчивыми кровлями, охрана подготовительных горных выработок и др.), разработанных для других бассейнов. Системный анализ горно-геологических условий разработки мощных пологих угольных пластов на шахтах Среднеазиатского региона, результатов экспериментов и натурных исследований позволили определить перспективные технологические решения их отработки.

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

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

Угол падения пласта оказывает существенное влияние на смещения пород в выработках и характер формирования зоны сдвижения пород при очистной выемке угля.

С увеличением угла падения нагрузка на крепь распределяется неравномерно и наблюдается асимметричность зоны сдвижения пород. Этим предопределяется потеря устойчивости краевых зон угольного пласта и кровли, сползание и опрокидывание крепи.

Нарушенность горного массива вызывает аномальные проявления горного давления, оказывает значительные трудности в технологии отработки пластов, особенно с применением механизированных комплексов, где возникает проблема перехода геологических нарушений и удержания призабойного пространства от массового обрушения

пород. Интенсивность нарушения пласта предопределяет размеры выемочных блоков по простирацию (падению) пласта и целесообразности применения механизированных комплексов. При расстоянии между разрывными нарушениями более 500 м экономически целесообразно отработку блоков производить с применением механизированных крепей; при расстояниях менее 500 м отработку блоков рациональнее производить узкозахватными комбайнами в комплексе с индивидуальной гидравлической крепью.

Пласты рассматриваемых месторождений характеризуются наличием слабых неустойчивых пород непосредственной кровли и почвы, которые в процессе эксплуатации подвергаются интенсивным деформациям, что обуславливает наличие большого количества вывалообразований в призабойном пространстве. При этом естественно требуется выполнение дополнительных мероприятий по обеспечению устойчивости пород кровли.

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

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

Устойчивость кровли верхнего слоя оценивается коэффициентом устойчивости  $\mu$ , который вычисляется по формуле [4]

$$\mu = K \cdot h_{\text{ср}} \cdot \sigma_{\text{сж}}, \quad (4)$$

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

$h_{\text{ср}}$  – средняя мощность слоёв в пределах одной литологической разности, м;

$\sigma_{\text{сж}}$  – средневзвешенный предел прочности породы слоёв при одноосном сжатии, МПа.

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

Повышение устойчивости кровли в рабочем пространстве лав рекомендуется производить одним или комбинацией способов, приведенных на рис 3.



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



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

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

$$h = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{0,6 \cdot R \cdot \gamma \cdot h_{\text{НК}} \cdot L}{\sigma_{\text{сж}}}} \quad (5)$$

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

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

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

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

$L$  – пролёт обрушения, м;

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

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

$$L_{\text{ш}} = L_{\text{с}} \cdot n - R + 0,5, \quad (6)$$

где  $L_{\text{с}}$  – суточное подвигание линии очистного забоя, м;

$n$  – количество суток, на время которых подготавливается фронт работы;

$R$  – радиус распространения укрепляющего состава вглубь массива, м;

0,5 – превышение величины подвигания очистного забоя, м.

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

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

$$Q = V(n - W)m, \quad (7)$$

где  $V$  – объём укрепляемой породы, м<sup>3</sup>;

$n$  – пористость породы, %;

$W$  – влажность пород, %;

$m$  – коэффициент заполнения пор раствором; (принимается равным 0,5).

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

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

Независимо от типа применяемых ампул (стеклянные, полиэтиленовые и т. д.) при заполнении ими шпуров должно быть строго соблюдено соотношение вяжущего и затвердителя [4].

При выемке верхнего слоя с залеганием в непосредственной кровле сухих тонкослоистых пород, обводнённых песчаников (пывунов) или наличии капежа из пород кровли для повышения устойчивости кровли рекомендуется оставлять предохранительную угольную пачку, мощность которой, как правило, составляет 0,4...0,6 м. Для образования устойчивой кровли из обрушенных пород в отработанное пространство необходимо подавать глинистую пульпу или вязущие растворы. Оптимальный расход глинистой пульпы консистенции Т : Ж = 1 : 3 составляет 0,04...0,06 м<sup>3</sup> на м<sup>2</sup> обрабатываемой площади.

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

$$S = 4,349 W^{0,007} V^{0,118} T^{0,257} Q^{0,202}, \quad (8)$$

где  $W$  – влажность пород, %;

$V$  – скорость подвигания очистного забоя, м/мес.;

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

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

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесцеликовая отработка мощных пологих и наклонных пластов / В. Н. Корнилков, А. М. Вандышев, В. В. Таскаев и др. М.: Недра, 1978. 171 с.
2. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых: учебник для студентов вузов в 2 томах / Л.А. Пучков, Ю.А. Жежелевский. – Т.1. – М.: горная книга, 2008. – 682 с.
3. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Л.: ВНИМИ, 1981. 222 с.
4. Вандышев А. М., Тюлькин В. П. Кокарев К.В. Обоснование конструктивных параметров технологических схем разработки мощных пологих пластов. VII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 10-11 апреля 2018 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 9-18 апреля 2018 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. –с. 61-65.

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

КАЗАРИНА Е.Н.

ФГБУН Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук

**Аннотация.** Усложнение горно-геологических и горнотехнических условий при разработке россыпных месторождений предопределяет необходимость совершенствования технологий добычи ценного минерального сырья. При разработке россыпей, запасы которых представлены мелким и тонким золотом, применение традиционных технологий обогащения в ряде случаев является нерентабельным в связи с большими потерями золота в хвостах. Поэтому перспективным направлением освоения является применение технологии подземного выщелачивания. Проводится анализ известных способов выщелачивания, обеспечивающих повышение извлечения золота при разработке россыпных месторождений. В статье предлагается технология освоения сложноструктурных глубокозалегающих месторождений, заключающаяся в локальной механической выемке богатых участков россыпей, содержащих крупное золото, которое невозможно в полном объеме растворить выщелачивающими растворами, остальная часть россыпи отрабатывается с применением технологии подземного выщелачивания. Применение комбинированных методов позволит увеличить извлечение ценного минерального сырья из недр и повысит рентабельность горного производства.

**Ключевые слова:** Комбинированные способы, выщелачивание, золото, россыпные месторождения, масса, породы.

## COMBINED TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF PLACER DEPOSITS

KAZARINA E.N.

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

**Abstract.** The increasing complexity of mining and geological and mining technical conditions during the development of placer deposits predetermines the need to improve technologies for the extraction of valuable mineral raw materials. When developing placers, the reserves of which are represented by fine and thin gold, the use of traditional beneficiation technologies in a number of cases is unprofitable due to large losses of gold in the tailings. Therefore, a promising area of development is the use of in situ leaching technology. The analysis of known methods of leaching, providing an increase in gold recovery in the development of alluvial deposits, is carried out. The article proposes a technology for the development of complex-structured deep-seated deposits, which consists in local mechanical excavation of rich areas of placers containing large gold, which cannot be fully dissolved with leaching solutions, the rest of the placer is mined using the underground leaching technology. The use of combined methods will increase the extraction of valuable mineral raw materials from the sUral Branchsoil and will increase the profitability of mining.

**Keywords:** combined methods, leaching, gold, placer deposits, weight, breed.

На Дальнем Востоке России ведется добыча золота, серебра, платины, алмазов, цветных металлов и других полезных ископаемых, при этом золото добывается как из рудных, так и из россыпных месторождений [1-5]. В настоящее время при разработке

россыпных месторождений применяется все более мощное оборудование и комплексная механизация производственных процессов [6-8]. В ряде случаев при разработке россыпей запасы, которых в значительной степени представлены мелким и тонким золотом применение традиционных технологий обогащения является нерентабельным. Перспективным направлением освоения подобных россыпей является применение технологии подземного выщелачивания [9]. Выщелачивание широко используют в производстве урана, золота, меди, цинка, молибдена, вольфрама, алюминия и других металлов. Выщелачивание представляет собой метод, позволяющий вовлекать в переработку минеральное сырье низкого качества и эффективно осваивать месторождения с малыми запасами, экономически невыгодными для переработки другими методами.

Целью работы является анализ известных технологических схем освоения россыпных месторождений золота с применением подземного выщелачивания и определение возможных путей совершенствования данных технологий применительно к разработке сложноструктурных глубокозалегающих россыпей.

В зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий технологии подземного выщелачивания могут иметь свои особенности. В работе [10] описан способ отработки полезных ископаемых подземным выщелачиванием, включающий обнаружение рудного тела системами закачных и откачных горных выработок, формирование выщелачивающего раствора, подачу раствора в пласт через систему закачных скважин с использованием естественного фильтрационного потока. Раствор подается в пласт через систему закачных скважин и скважин двойного назначения в верхнюю и нижнюю части продуктивного пласта до полного влагонасыщения. Системы закачных и откачных выработок располагают соответственно в верхней и нижней частях рудного тела по отношению к направлению естественного фильтрационного потока. Известен способ добычи металлов выщелачиванием из россыпных месторождений, заключающийся в вскрытии слоев песков канавами, обойденными по границе запасов в верхней и нижней частях по падению россыпи, подачу растворителя в верхнюю канаву и откачку продуктивных растворов из нижней канавы на поверхность, их технологический передел и подачу в пласт для использования в новом цикле выщелачивания [11]. В канавах располагают основные электроды: в верхней канаве - с положительным зарядом; в нижней канаве - с отрицательным. Промежуточные электроды устанавливаются с поверхности до почвы вскрытого пласта песков. Расположение электродов позволяет управлять температурой рабочего раствора по всему объему обрабатываемого массива для равномерной и качественной проработки песков. Применение электродов обеспечивает необходимую рабочую температуру в результате теплового нагревания горной массы и растворов. В работе [12] представлен способ подземного кучного выщелачивания металлов из мерзлых пород, особенностью способа является разрушение породы продуктивного горизонта взрывами в нижних частях скважин. Для обеспечения хорошей проницаемости массива разрывами в нижних частях откачных скважин образуют зоны дробления и большой трещиноватости в подстилающих породах для сбора продукционного раствора. Способы, предлагаемые в работах [10-12] имеют общий недостаток, который заключается в том, что выщелачивание равномерно действует на золотины разной крупности, в тоже время на различных участках содержание и крупность золота могут существенно различаться. В связи с этим выщелачивающий раствор не обеспечивает полного растворения относительно крупных золотинок, следовательно, из богатых зон не будет растворена и извлечена существенная часть золота.

Для россыпей характерна неоднородность горно-геологических условий отработки: значительное изменение мощности пласта продуктивных песков и содержания металла; усложнение границ и глубины залегания песков; уменьшение крупности золота и связанный с этим рост потерь металла при извлечении; увеличение объемов перерабатываемой горной массы на единицу извлекаемого металла. Так исследование Куранахского золотороссыпного

месторождения с применением цифровой геолого-маркшейдерской базы данных и горно-геологической информационной системы “Майнфрейм” (ГоИ КНЦ РАН), программы BTSOD (ИГДС СО РАН), установили структурную неоднородность запасов различных участков месторождения (таблица 1). Расчеты, проведенные по группам разведочных линий, показали, что неравномерность сосредоточения запасов характерна не только для участков месторождения, но и для отдельных блоков между разведочными линиями.

**Таблица 1. Структурная неоднородность запасов согласно [13]**

Содержание, г/м <sup>3</sup>	Доля, %			
	Участок 1		Участок 4	
	пески	металл	пески	металл
0-0.03	43.7	4.0	20.9	0.7
0.03-0.1	26.2	15.4	18.7	4.9
0.1-0.3	21.7	36.9	32.7	25.0
0.3-0.6	6.4	24.9	18.67	31.8
0.6-1.0	1.3	9.9	6.3	19.4
1.0-8.0	0.6	9.0	2.8	18.2

Для разработки сложноструктурных россыпей предлагаются комбинированные технологии отработки, позволяющие уменьшить недостатки способов, описанных выше. Способ кучно-скважинного выщелачивания золота из техногенных минеральных образований или песков неглубокозалегающих россыпей [14], заключается в бурении закачных скважин для подачи активированных выщелачивающих растворов в продуктивный пласт. Дренажные выработки формируются путем локального извлечения золотосодержащей минеральной массы из зон с повышенным содержанием илисто-глинистых фракций. Между дренажными выработками ведут бурение закачных скважин, извлеченную минеральную массу подвергают агломерации, затем складировать ее на поверхности зон с пробуренными скважинами, после чего осуществляют закачку концентрированных растворов выщелачивающих реагентов в оставшуюся неизвлеченной золотосодержащую минеральную массу. В работе [15] предлагается способ комбинированной разработки месторождений золота из россыпей и техногенных минеральных образований заключающийся во вскрытии месторождения и последующей опережающей очистной выемке балансовых песков и формированием выработок с локальным извлечением богатых песков. Оставшиеся запасы с низким содержанием ценного компонента извлекаются с применением технологии скважинного выщелачивания. При этом хвосты гравитационной переработки богатых песков с тонкими фракциями недоизвлеченного мелкого и пластинчатого золота размещаются в гидроизолированной центральной зоне выработки для последующего выщелачивания. Однако способы [14-15] не подходят для освоения глубокозалегающих россыпей.

В настоящее время в связи с отработкой приповерхностных запасов россыпного золота все больший интерес для недропользователей начинают представлять глубокозалегающие россыпи. Данные россыпи во многих случаях также имеют сложную структуру с наличием небольших объемов богатых песков, содержащих крупное золото, которое невозможно в полном объеме растворить выщелачивающими растворами. Для извлечения подобных богатых участков предлагается использовать технологию выбуривания горных пород скважинами большого диаметра с подачей извлеченных богатых песков на обогатительные установки. После извлечения крупного золота в ходе обогащения оставшаяся горная масса, содержащая тонкое и мелкое золото возвращается в полученные выработки путем засыпания им скважин большого диаметра. После механической выемки богатых песков, оставшийся массив глубокозалегающей россыпи отрабатывается с применением подземного выщелачивания с использованием известных схем.

Применение комбинированного метода разработки россыпей с опережающим локальным механическим извлечением богатых песков с крупным золотом путем выбуривания с последующим выщелачиванием основной части россыпи, содержащей тонкое и дисперсное золото, позволит увеличить извлечение ценного минерального сырья из недр и повысит рентабельность горного производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шемякин С.А., Иванченко С.Н., Мамаев Ю.А. Ведение открытых горных работ на основе совершенствования выемки пород. Москва. Горная книга. 2008. 307с.
2. Чебан А.Ю. Способ выемки взорванной горной массы экскаватором при разработке сложноструктурных месторождений // Маркшейдерский вестник. 2020. №2. С. 66-70.
3. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 18-23.
4. Ермаков С.А., Потехин А.В. Анализ применяемых способов разработки и оборудования на россыпных месторождениях Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №S7. С. 218-224.
5. 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.
6. Литвинцев В.С. Проблемы рационального освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в восточных районах России // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. №1. С. 97-104.
7. Чебан А.Ю., Шемякин С.А. Параметры скреперов для внедрения послойно-полосовые технологии открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. Т. 10. №12. С. 285-294.
8. Чебан А.Ю., Шемякин С.А. Соппротивление разгрузке удлиненных ковшей скреперов // Строительные и дорожные машины. 2008. №6. С. 45-48.
9. Тимощенко С.Н., Воронов Е.Т., Овсейчук В.А., Урунов М.А. Скважинное выщелачивание золота из глубокозалегающих (погребенных) россыпных месторождений. Чита, Изд-во. ЗабГУ. 2015. 164с.
10. Патент № 2156861 Российская Федерация, МПК E21B 43/28, Способ отработки полезных ископаемых подземным выщелачиванием.
11. Патент № 2310746 Российская Федерация, МПК E21B 43/28, Способ добычи металлов выщелачиванием из россыпных месторождений.
12. Патент № 2270916 Российская Федерация, МПК E21B 43/28, Способ подземного кучного выщелачивания металлов из мерзлых пород.
13. Ермаков С.А., Бураков А.М. К вопросу разработки сложноструктурных золотороссыпных месторождений Якутии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. №2. С. 123-131.
14. Патент № 2553811 Российская Федерация, МПК E21B 43/28, Способ кучно-скважинного выщелачивания золота из техногенных минеральных или песков неглубокозалегающих россыпей.
15. Патент № 2678344 Российская Федерация, МПК E21B 43/28, E21C 41/00, Способ комбинированной разработки месторождений золота из россыпей и техногенных минеральных образований.

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА (ГИС) НОВЫЙ УРОВЕНЬ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММЫ WELLTRACKING

ГОЛУБКО Б.П.<sup>1</sup>, ДАНЧЕНКО О.Н.<sup>2</sup>, БАБКИНА Е.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>ООО «Газпромнефть – Развитие», г. Тюмень

**Аннотация.** В данной работе рассматривается технология, которая помогает автоматизировать процессы проектирования и бурения скважин. У специалиста есть возможность получить полную информацию о работе, связанной с добычей полезного ископаемого из недр Земли на месторождениях, контролировать все стадии бурового процесса и минимизировать риски на производстве. Также, технология позволяет анализировать геоданные в формате 3D и быстро формировать отчеты и документацию.

**Ключевые слова:** Геоинформационная система, ГИС, скважина, WellTracking, куст скважин, бурение, нефтедобыча.

## GEOINFORMATION SYSTEM – A NEW LEVEL OF MINE SURVEY SUPPORT ON THE EXAMPLE OF THE WELLTRACKING PROGRAM

GOLURAL BRANCHKO B. P.<sup>1</sup>, DANCHENKO O. N.<sup>2</sup>, BABKINA E. A.<sup>1</sup>

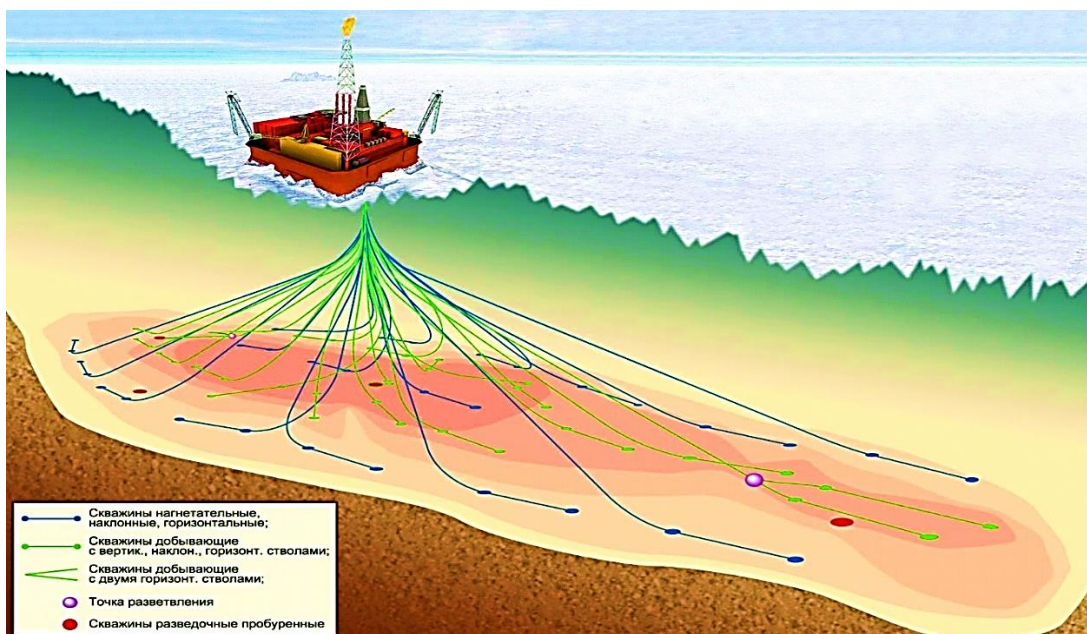
<sup>1</sup>Ural State Mining University

<sup>2</sup>LTD «Gazpromneft - Razvitie»

**Abstract.** In this work, we consider the technology that allows you to automate the processes of planning and well drilling. The specialist has the opportunity to get full information about the work related with mining, to control all stages of the drilling process and to minimize the risks during production. The technology also allows you to analyze geodata in 3D format and quickly generate reports and documentation.

**Keywords:** Geographic information system, GIS, well, WellTracking, well cluster, well drilling, oil extraction.

В начале 60-х был поднят перспективный вопрос, а именно, как удержать уровень добычи нефти при прохождении пика и истощении запасов Волго-Уральского региона. В результате началось активное освоение месторождений Западной Сибири. В короткие сроки этот район стал крупнейшим в СССР нефтедобывающим регионом [1]. Началом промышленной разработки нефтяных месторождений Западной Сибири принято считать 1965 год [2]. Плотность разбуривания между скважинами, которые уже были разбурены и между теми, которые планируется достаточно высока. На сегодняшний день она достигла своих максимальных значений. Именно по этой причине для того, чтобы спланировать бурение следующей скважины, нужно повысить пространственную информацию о ней. При увеличении количества скважин кустовой площадки (Рисунок1) возрастает вероятность пересечения стволов. По этой причине, чтобы безопасно произвести бурение необходимо знать точно координатную информацию по устью скважины, по точке забоя, по тому как ствол будет проходить относительно уже пробуренных скважин. Принимая тот факт, что достоверность работ в значительной мере зависит от корректности представления координатной информации. Все специалисты, использующие эту информацию о скважине, предъявляют самые точные требования к её достоверности и актуальности.



**Рисунок 1. Куст нагнетательных и добывающих скважин [3]**

Ещё двадцать лет назад все данные по скважинам хранились в бумажном виде и с течением времени каждое предприятие принимало решение хранить информацию самостоятельно. Некоторые ввели расчёты в электронных таблицах Excel, некоторые пытались создавать свои собственные программы, производящие расчеты. Всё это в полной мере не гарантировало целостность и сохранность данных. Отсутствие четкого определения хранения данных порождало на серверах компании несовместимость форматов и маркшейдерские службы отвечали на тысячи запросов в ручном режиме. Поэтому возникла необходимость создать единое окно доступа ко всем видам данных, которое позволяло автоматизировать процессы, связанные с сопровождением жизненного цикла скважины и позволило бы хранить в едином месте, в единой инфраструктуре все данные, по уже существующим и проектным скважинам.

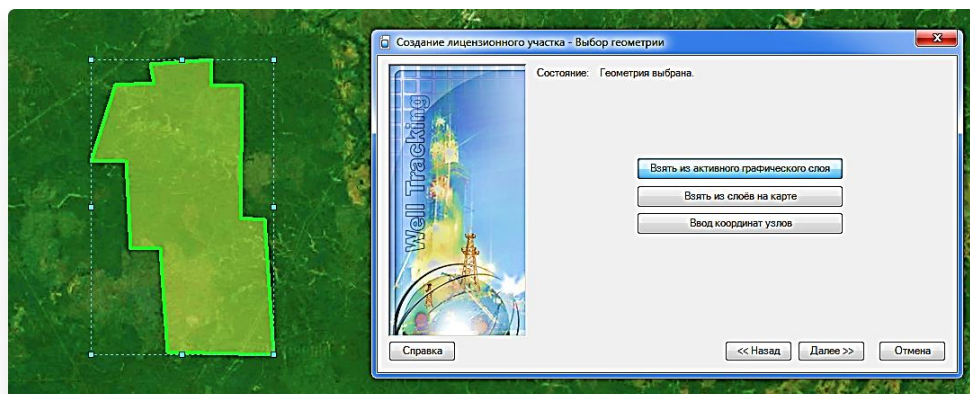
В связи с этим, была создана технология, которая получила название геоинформационная система (ГИС). ГИС — это автоматизированная интегрированная информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит географическая информация [4]. Информационная система обеспечивает сбор, хранение, обработку и отображение пространственных данных, полученных в результате бурения. Она полностью автоматизирует работу маркшейдерских и геологических служб, связанных с ведением баз геоданных [5].

В качестве примера, десять лет назад на базе ESRI был разработан настольный модуль для ArcGIS под названием WellTracking. В современной версии ArcGIS присутствует эталонная иерархическая структура данных [5]. Даже при самом первом импорте данных программа проверяет на правильность ввода данных. Также информация защищается как на уровне приложения WellTracking, так и на уровне баз геоданных. К примеру, пользователь не может создать скважину с одинаковым именем, в пределах одного месторождения. На уровне баз геоданных можно регулировать доступ пользователей к своей системе координатной информации в соответствии с регламентом. Анализ и просмотр данных в 2D и 3D позволяет оценить качество уже имеющихся в базе геоданных, а также спрогнозировать поведение проектных скважин.

На сегодняшний день программа включает в себя 60 инструментов обработки данных по бурению. Рассмотрим поэтапно работу маркшейдера с программой WellTracking.

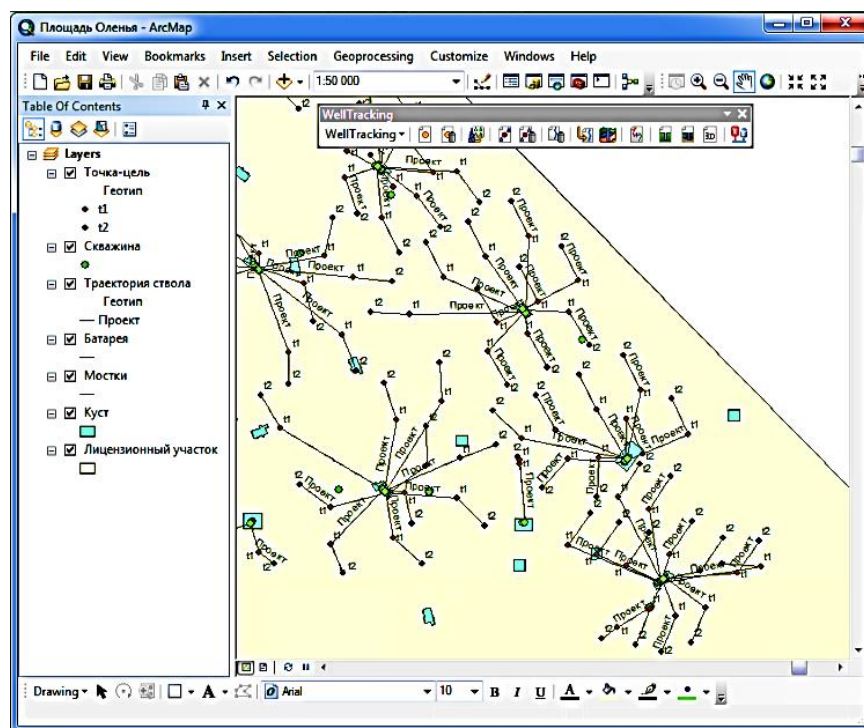


1. Предприятие получает лицензию на право пользования недрами;
2. Создание как лицензионного участка, так и месторождения, где вносятся определенные параметры, относящиеся к месторождению (рис. 2);



**Рисунок 2. Создание лицензионного участка [6]**

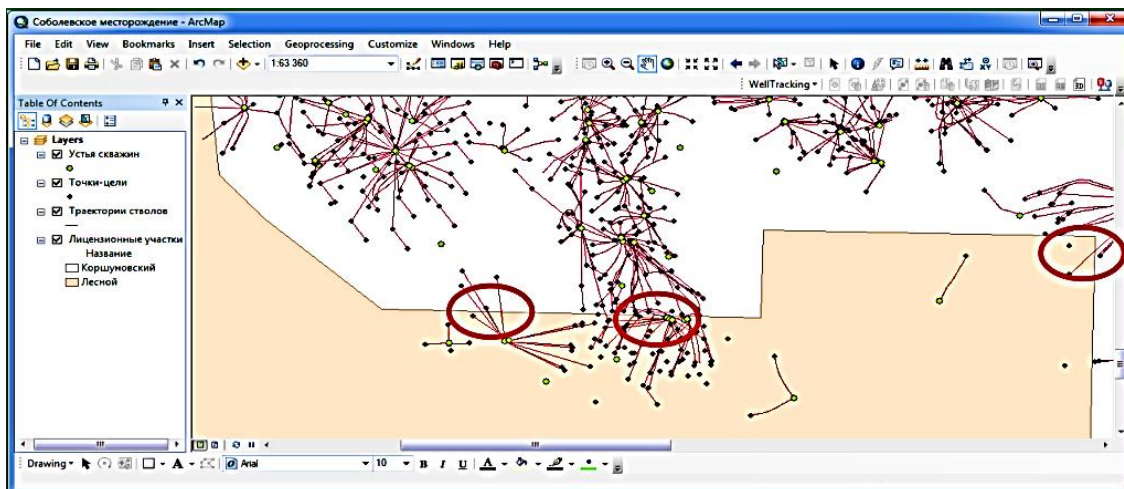
3. По ранее изученным данным предприятие получает информацию о геологическом разрезе месторождения, тем самым определяют глубины залегания полезной толщи. Далее материал вносится в базу геоданных для дальнейшего проектирования буровых работ.
4. На месторождении в пределах лицензионного участка проектируется кустовая площадка. В WellTracking это регулируется определенным инструментом, при помощи которого он создает проектную геометрию куста (рис. 3);



**Рисунок 3. Проектная геометрия куста [6]**

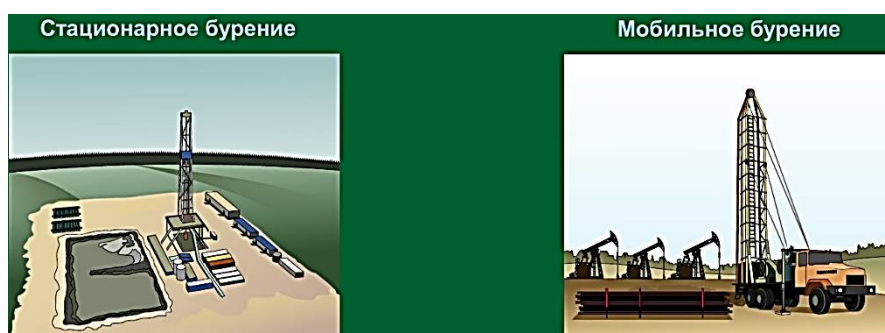
5. После отсыпки площадки появляется координатная информация и другие параметры, которые могут быть также обновлены;

6. После того как геологическая служба вынесет первую скважину, в программе создается проектная скважина инструментом создания точки цели, и её привязка соответственно к кусту. На этом этапе проверяется нет ли пересечений с лицензионным участком (рис. 4);



**Рисунок 4. Проверка пересечения границ с лицензионным участком[6]**

7. Если планируется разбуривать куст, то после получения координат устьев проектируется линия направления движения станка. Для этого используется инструмент создания батареи, а для устья– соответственно инструмент устье. На этом этапе определяется вид бурения – мобильный или стационарный (рис. 5);



**Рисунок 5. Виды бурения [6]**

8. Этап проектирования скважин сопровождается отчётной документацией. С помощью инструмента загрузки старого фонда выполняется пакетная загрузка устьев пробурённых скважин и полученных по ним данных инклинометрии и гироскопа. Так как иногда используют две технологии бурения, приложение поддерживает обработку данных, полученных в результате стационарного и мобильного бурения;

9. Полученные сведения по траектории ствола заносятся в базу с помощью инструмента инклинометрии и по умолчанию в программе используется метод средних углов, однако у пользователя есть шанс выбрать другие методики, согласно инструкции по маркшейдерским и топографогеодезическим работам в нефтяной промышленности [7];

10. Файл со стратиграфическими разбивками, вводится в диалог пластопересечений, и на траекторию ствола наносятся точки, в которых скважина пересекает определённый пласт. Расчет координат точек пластопересечений маркшейдер может получить из отчёта;

11. Отклонения фактической траектории пробуренного ствола от проектной определяется при помощи инструмента 3D анализа (рис. 6). К примеру, узнать критическое расстояние между траекториями стволов и вычислить координаты узлов и лицензионного участка;

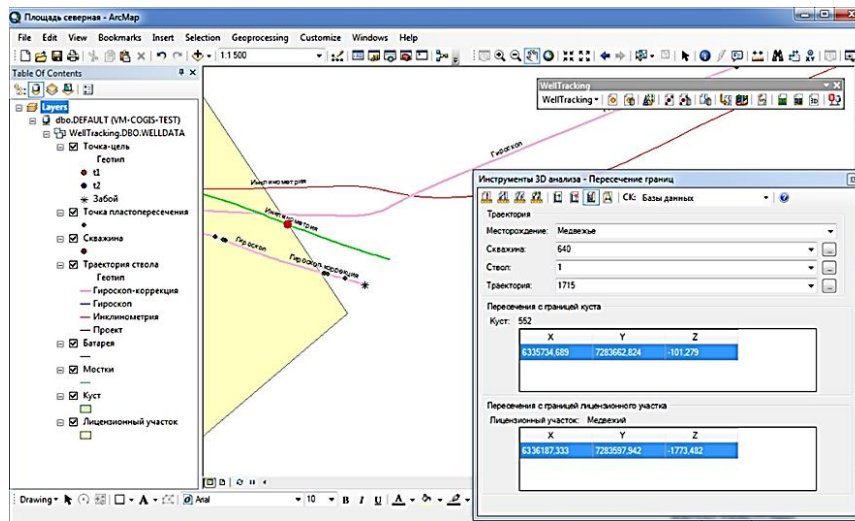


Рисунок 6. 3D анализ [6]

12. Проводя замер фактических координат устьев в приложении производится их корректировка, в результате которой все объекты, связанные с участком, изменяют своё местоположение, за исключением первоначальной точки-цели[4].

Каждый этап можно сопроводить маркшейдерским отчетом, например, интегральный отчет по месторождению выдаст полную статистику по всем скважинам в данном месторождении.

Какие результаты дает внедрение этого модуля:

- единый подход к решению задач, обработки и упорядоченного хранения данных;
- актуализация данных;
- получить целостную актуальную картину подземного пробуренного мира, и соответственно мы получаем быстрый доступ к необходимой информации. Все пространственные данные по скважинам, включая архивный фонд, доступны для работы, приведены к единым форматам и структурированы согласно бизнес логике производственных процессов [8];

– снижение рисков (Технологические риски, человеческие факторы). Автоматическая обработка позволяет избежать потери данных, что гарантирует их точность и актуальность в любой момент времени. Встроенный контроль траектории ствола и точек пересечения, а также автоматическая проверка на соответствие проектным данным позволяют не допустить столкновения с существующими стволами или нарушения границ лицензионного участка [8];

– повышенная скорость обработки данных. «Скорость работы маркшейдера только при выдаче задания на бурение выросла в 4 раза. Получаем целостную актуальную подземную картину пробуренного фонда и как следствие - быстрый доступ к данным. Всегда можно выдать гироскопический ориентир, координаты точек пластопересечений по любому количеству скважин, и это вопрос всего нескольких секунд. Снизилось количество ошибок, возникающих из-за усталости сотрудников от выполнения рутинных операций, а также технологических ошибок, так как при составлении план-программы мы можем ориентироваться на общую подземную картину и минимизировать риски возникновения аварий при бурении. Автоматизация процессов позволяет уменьшить количество однообразных и утомительных операций, что улучшает общий психологический

микроклимат и положительно влияет на работоспособность всей команды», - отмечает Наталия Долгих, начальник отдела геоинформационного обеспечения управления МиЗР ОАО «Самотлорнефтегаз» [9].

Так же большие корпорации создают свои продукты на основе ГИС. Например, ПАО «Газпром» использует такие программы, как Qgis, MAPInfo [10]. Разработка проектной документации для внедрения «Единой интегрированной горно-геологической информационной системы АК «АЛРОСА» (ОАО) на программных платформах Micromine & MineFrame» является одной из составных частей Программы создания ЕГГИС. Использование единой системы позволит существенно упростить миграцию данных, повысить точность имеющейся информации, существенно снизить затраты на приобретение и последующее обслуживание системы, сократить период и количество обучений для сотрудников компании [11].

Геоинформационное сопровождение (ГИС) маркшейдерских работ с помощью программ сегодня широко используется специалистами при проведении проектно-изыскательских и геологоразведочных работ. Это позволяет автоматизировать бизнес-процессы, связанные с проектированием и бурением скважин. ГИС дает возможность получить полную картину работ на месторождениях, контролировать все стадии бурового процесса и минимизировать риски на производстве. Вместе с тем, с помощью своих программ специалисты на рабочем месте могут анализировать геоданные в формате 3D и оперативно формировать необходимые отчеты и документацию [9].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краткая история добычи нефти в России [Электронный ресурс]. – URL:<https://petrodigest.ru/articles/history/kratkaja-istorija-dobychi-nefti-v-rossii>;
2. Д.В. Новицкий, С.В. Кузьмин, В.В. Иванов. История становления и этапы развития нефтегазовой отрасли. Тюмень 2017;
3. Опыт ликвидации аварийной скважины на подземном хранилище газа (ПХГ) методом прямой стыковки стволов на заданной глубине. [Электронный ресурс]. – URL: <https://lektsii.org/16-84258.html>;
4. Федотов, Г.А. Инженерная геодезия: Учебник/Г.А. Федотов. — 2-е изд., исправл.— М : Высш. шк., 2004. — 463 с : ил. .
1. 5.Н.Д. Долгих, С.И. Кирилов Автоматизация маркшейдерских работ «Самотлорнефтегаз» с помощью новой версии WellTracking 6.3 в среде ArcGIS, 2018;
5. WellTracking[Электронный ресурс]. – URL:<https://welltracking.dataeast.com/ru/overview/>;
6. Инструкция по маркшейдерским и топографогеодезическим работам в нефтяной промышленности. Киев, типография «Наукова книга», 1987 г. 370 с.;
7. О программе WellTracking [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт: WellTracking>;
8. Приложение: WellTracking [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.petroleumengineers.ru/app/11708>;
9. Группа компаний ГПН, Методический документ «Требования к цифровому описанию пространственных данных информационной платформы производственных данных БРД», 2020.
10. Проектная документация на модернизацию «Единой интегрированной информационной горно-геологической системы (ЕИИГТС)», АК «АЛРОСА» (ОАО), 2014.

## ВЕРХНИЙ И НИЖНИЙ ГОРОДСКИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ УРБАНИСТИКИ

КАРДАПОЛЬЦЕВА В. Н., ПЕЧЕНКИН С. И.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** В условиях современной урбанистики на смену полисам с максимальным развитием по вертикали постепенно будут приходить и уже приходят полисы с комплексным использованием подземного пространства по единому градостроительному плану, увязанному с генеральным планом развития города. Подземная структура может вместить все виды деятельности, способные обеспечить нижнему городу собственную жизнь и особый характер. Нижний город формируется параллельно наземному и в тесной их взаимосвязи, имея свой отличный от другого характер деятельности и свои особенности.

**Ключевые слова:** Формирование нижнего города, подземная структура, верхний город, землескребы, подземная урбанистика, подземное пространство.

## UPPER AND LOWER URBAN FORMATIONS IN THE CONDITIONS OF MODERN URBANISM

KARDAPOLTSEVA V. N., PECHENKIN S. I.

Ural State Mining University

**Abstract.** In the conditions of modern urbanism, policies with maximum vertical development will gradually be replaced by policies with the integrated use of underground space according to a single urban planning plan linked to the master plan of the city's development. The underground structure can accommodate all activities that can provide the lower city with its own life and special character. The lower city is formed in parallel with the terrestrial one and in their close interconnection, having its own character of activity and its own characteristics, which is different from the other.

**Keywords:** Lower city formation, underground structure, upper city, earthscrapers, underground urbanism, underground space.

### **Недра — это не только полезные ископаемые**

Существует стереотип в понимании горного дела как исключительно добычи и переработки полезных ископаемых, но отдельное место в классификации георесурсов занимают природные и техногенные полости — подземное пространство. [1]

Пещера — самое древнее убежище человека эпохи неолита. Она защищала его от непогоды, оберегала от хищников, сохраняла тепло и покой. С древних времен и до наших дней сохранились подземные города, самые крупные из которых находятся в турецкой области Каппадокия. Прямо внутри скал вырублены отдельные кельи и церкви, в этих помещениях предположительно жило до 60 тысяч человек. В эпоху раннего средневековья первые христиане скрывались тут от преследования римских язычников. В XVI столетии Леонардо да Винчи предложил устраивать улицы в разных уровнях для отдельного движения «сеньоров» и простого люда. Однако масштабное городское подземное строительство началось лишь во 2-ой половине XIX века. В эпоху промышленной революции этому способствовало появление и развитие рельсового транспорта.

К подземному пространству относят пещеры, карсты, горные выработки, пригодные для повторного использования, а также специально создаваемые сооружения [1]. Способность породы защищать от внешнего воздействия позволяет использовать подземные сооружения для укрытия от средств массового поражения, катастроф и стихийных бедствий. В подземных пространствах размещаются хранилища, музеи, театры, церкви и концертные залы.

Во всём мире растёт интерес к освоению подземного пространства. Появилось отдельное направление — подземная урбанистика (подземное градостроительство). По определению профессора Г. Е. Голубева, она является «областью архитектуры и градостроительства, связанной с комплексным использованием подземного пространства городов и других населённых пунктов» [1].

#### **На земле становится тесно**

Сейчас в крупных городах всего мира резко обострилась проблема нехватки места. Это хорошо видно на примерах мегаполисов США, Канады, Мексики, Японии, Южной Кореи, Голландии. Уже сегодня население таких городов, как Мехико, Стамбул, Шанхай, Нью-Йорк, Токио, составляет от 11 до 30 миллионов, а плотность населения колеблется в пределах от 3 до 7 тысяч человек на квадратный километр. В Москве — около 4,8 тысячи. По прогнозам, к 2025 году население крупнейших мегаполисов составит от 19 до 35 миллионов человек в каждом.

Согласно данным Департамента по экономическим и социальным вопросам организации Объединенных Наций к середине века 68% населения планеты будет жить в городах, быстрее всего растет городское население стран Азии и Африки, второе место занимает Европа. В странах северной и Латинской Америки в городах проживает более 80% населения, а площадь застройки в некоторых государствах Европы уже достигает 20 процентов от их общей территории [4].

Стоимость земли в мегаполисах вызывает желание выжать из нее максимум. Появляются футуристические проекты строительства крупных подземных объектов, чаще всего там размещаются пересадочные железнодорожные узлы, подземные парковки, магазины, торгово-развлекательные комплексы. Такие подземные объекты уже давно существуют во многих городах США, Японии, Китая и России. Возможно ли создать подземное «отражение» современного города хотя бы частично? Убедительный ответ на этот вопрос даёт опыт канадского Монреаля. The Underground City, нередко именуемый «внутренним городом», является крупнейшим в своём роде подземельем мира. Площадь, используемая для жилья и работы, составляет более 3,5 миллиона квадратных метров [2]. Зимой Underground City ежедневно посещает примерно полмиллиона человек. Здесь есть почти всё нужное для жизни: торговые центры, отели, банки, музеи, университеты, станции метро, пересадочные узлы железной дороги, автостанция и другие объекты развлекательной и деловой инфраструктуры. Жители домов, соединённых с подземным городом, в холода спускаются за покупками, не выходя на улицу. Кроме того, они используют подземные дороги, чтобы быстрее добраться из одной точки наземного города в другую.

Опыт Москвы показывает, что строительства станций метрополитена является мощным стимулом для формирования крупных развитых центров города. Причем в условиях уже сложившейся застройки (как известно линии метрополитена прокладывают в уже сформировавшиеся жилые районы) способом реализации этой функциональной привлекательности места является в значительной мере использования подземного пространства. Работа современного метрополитена не может быть ограничена только транспортными функциями, она предполагает наличие естественной взаимосвязи станций с учреждениями так называемого «попутного» торгового, коммунально-бытового и другого обслуживания [3].

Наиболее близкие к поверхности земли уровни (до отметки - 4 м) отводятся для пешеходов, непрерывного пассажирского транспорта, автостоянок, местных разводящих

сетей. Уровни от - 4 м до - 20 м используют для трасс метрополитена и автотранспортных тоннелей мелкого заложения, многоуровневых подземных гаражей, складов, резервуаров и магистральных коллекторов. Уровни на отметке от - 15 м до - 40 м предназначают для трасс рельсового транспорта глубокого заложения, включая городские железные дороги.

Очень скоро становятся очевидными недостатки использования подземного пространства без предварительного планирования: вдруг возникает необходимость дорогостоящего перемещения существующего объекта или неблагоприятная геологическая ситуация. Чтобы избежать подобных проблем градостроители должны преодолеть традиционное двухмерное проектирование наземных сооружений и начать принимать во внимание все аспекты взаимодействия между застроенной урбанизированной средой и вспомогательной инфраструктурой.

### **Подземная урбанистика и формирование пространства социальной активности города**

Города часто подвергаются критике: они создают давление на окружающую среду, являются витриной неравенства и концентрации бедности. Но именно городская агломерация с ее плотностью жизни и обеспечивает высокую эффективность использования ресурсов, создает возможности для улучшения качества жизни граждан. Проблемы городского развития, очевидно, не в существовании городов, а в том, как, куда и с какой скоростью они двигаются в своем развитии.

В современном мире города ведут борьбу за таланты, за людей, за их идеи и деньги, в этой конкурентной борьбе цель — повысить свою привлекательность, где немаловажную роль играют дизайнерские находки. Благодаря их деятельности современный динамично развивающийся полис с высокой концентрацией населения, зданий, транспорта, экономической активности может быть комфортным для проживания человека, способствовать его развитию и росту благосостояния.

Масштабные проекты по освоению подземных пространств и строительству подземных городов в настоящее время еще не реализованы и находятся на стадии проектирования и оценки, но первые шаги к таким проектам уже сделаны: например, в Чикаго построена подземная сеть тоннелей Педвей (англ. «Pedway») — пешеходные и торговые галереи под городом, по которым можно перемещаться на расстоянии 40 кварталов прямо в центре города.

Самым близким к реализации идей освоения подземного пространства является проект многофункционального «землескреба» в Мехико, общая площадь подземного комплекса составит 775 тыс. кв. метров. В обоснование нестандартного решения легла необходимость максимально сохранить исторический вид площади и окружающих ее зданий, при этом создав в центре Мехико огромную площадку для офисов, жилых помещений, музея, галерей, развлекательных центров и магазинов. Компания BNKR Arquitectura разрабатывает 70-этажный «The Earthscraper» в форме пирамиды, направленной макушкой вниз, с пустотой в центре. Он будет построен под Эль Зокало — главной площадью Мехико. На поверхности площадь останется прежней, только под ногами гуляющих вместо асфальта и плитки будет сверхпрочное стекло, это стекло будет пропускать солнечный свет, что снизит расходы на электроэнергию и позволит использовать естественное освещение. На верхних этажах планируется создать исторический музей мезоамериканских культур, следующие десять этажей займут торговые комплексы, и еще ниже будут построены жилые апартаменты. Помещения на глубине 180–220 метров отдадут под офисы, вершина этой перевернутой пирамиды, будет находиться на глубине 300 метров.

### **Российский вариант нижнего города**

Масштабные подземные пространства, несомненно, будут осваиваться и у нас, например, в регионах с очень суровым климатом. Так, в городе Мирном (Якутия), где резко континентальный климат с продолжительной суровой зимой, разработан проект «Экогород-

2020» вместимостью до 100 000 человек. В карьере, оставшемся от отработанного месторождения алмазов (кимберлитовая трубка «Мир»), глубиной 530 метров и диаметром около километра предполагается возвести подземный город, перекрытый прозрачным куполом. Здесь много солнца, поэтому купол будет состоять из панелей солнечных батарей. За счёт положительной температуры Земли в образовавшемся объёме климат будет мягче, чем снаружи. Пространство предлагается разделить на три яруса: нижний — для выращивания сельхозпродукции, так называемая вертикальная ферма, средний — лесопарковая зона, очищающая воздух, верхний — для постоянного пребывания людей. Вентиляция предусмотрена естественная, за счёт разницы в давлении холодного и тёплого воздуха.

Такое решение позволяет создать градостроительное образование без теплосберегающих ограждающих конструкций: их функцию выполняют стенки карьера. В верхнем ярусе будут размещаться не только жилые сооружения, но и административные здания, культурно-досуговая инфраструктура. Этот город может стать реабилитационным и рекреационным центром для жителей Якутии. А со временем — и центром международного туризма [2].

Потребность в сооружении подземных объектов самого разного назначения и задачи инновационного развития подземной инфраструктуры требуют эффективного сотрудничества ученых и специалистов, представляющих различные направления в геомеханике и геотехнике, градостроительстве, архитектуре и дизайне, что неизбежно способствуют сближению и взаимообогащению специалистов различных направлений и различных научных школ. Уже сегодня в развитых странах созданы и функционируют научные лаборатории по проблемам освоения подземного пространства ближайших планет Солнечной системы. Фантастические проекты по переселению людей на другие планеты предусматривают, в том числе, строительство там подземных городов (например, на Луне, поверхность которой подвержена постоянному воздействию метеоритных дождей). При жизни этого поколения ожидается строительство подземного города-колонии на Марсе, вероятно отправка в 2028 году первых миссий с роботами для строительства марсианской базы. Но сегодня это пока видится далекой, но вполне реальной мечтой.

### **Заключение**

Мировой опыт свидетельствует, что стратегия решения сложных социально-экономических и градостроительных задач осуществляется посредством формирования пространственной структуры городов за счет создания многоуровневых и многофункциональных городских образований с максимальным развитием по вертикали, с комплексным использованием подземного пространства по единому градостроительному плану, увязанному с генеральным планом развития города.

Перспективным представляется формирование Нижнего (подземного) города параллельно городу наземному и их взаимная связь, в центральной части каждый из них имеет свой отличный от другого характер деятельности свои особенности [5]. Подземная структура может вместить все виды деятельности способные создать нижнему городу собственную жизнь и особый характер. Нижний город представляет, таким образом, некое отражение основных зданий Верхнего города. Здесь могут быть размещены объекты культурного назначения, Эти зоны должны быть эстетически и функционально вписаны в существующую ситуацию.

Рост объемов и масштабов эффективного освоения и развития подземного городского пространства наблюдается сегодня во всем мире. Это связано со всевозрастающей концентрацией населения в городах и непрерывным ростом численности автопарка. Создание проектов Нижнего города, осмысление, постановка задач, порождает простор для творчества, приложения сил и таланта инженеров, архитекторов и дизайнеров, где отнюдь не последняя роль принадлежит дизайнерам.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубев Г. Е. Подземная урбанистика. – М. Стройиздат. 1979
2. Картозия Б. А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции. 2015
3. Лемегов А.В. Подземная урбанистика и формирование каркаса социальной активности города. Труды международной конференции. Проектирование строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений". Екатеринбург, 2004
4. Новости ООН. Департамент по экономическим и социальным вопросам. <https://www.un.org/development/desa/ru/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
5. Переверзева В.Н. Перспективы развития подземного пространства в г. Екатеринбурге. Труды международной конференции. Проектирование строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений. Екатеринбург, 2004

УДК 622.235

### УМЕНЬШЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОН НЕРЕГУЛИРУЕМОГО ДРОБЛЕНИЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

АНТИПИН Ю. Г.<sup>1</sup>, РОЖКОВ А. А.<sup>1</sup>, БАРАНОВСКИЙ К. В.<sup>1</sup>,  
ГОБОВ Н. В.<sup>1</sup>, ГУСМАНОВ Ф. Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт горного дела УрО РАН

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

**Аннотация.** При подземной разработке уральских медноколчеданных месторождений системами разработки с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью достаточно остро стоит вопрос повышения эффективности погрузо-доставочных машин на выпуске и доставке руды. Наиболее негативным фактором при этом является значительный выход негабарита при производстве взрывных работ. В данной работе предложен способ снижения выхода негабарита при отработке первичных камер, путем уменьшения размеров зон нерегулируемого дробления, находящихся в зоне концов скважин веера.

**Ключевые слова:** Медноколчеданные месторождения, выход негабарита, зона нерегулируемого дробления, выпуск руды, веера скважин, пучки скважин

### REDUCING THE SIZE OF UNREGULATED CRUSHING ZONES IN UNDERGROUND CHAMBER MINING SYSTEMS

ANTIPIN YU. G.<sup>1</sup>, ROZHKOVA A. A.<sup>1</sup>, BARANOVSKY K.V.<sup>1</sup>,  
GOBOV N.V.<sup>1</sup>, GUSMANOV F. F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mining URAL BRANCH RAS

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

**Abstract.** In the underground mining of the Ural pyrite deposits by mining systems with backfilling of the gob with a hardening mixture, the issue of increasing the efficiency of loading and hauling machines in the drawing and delivery of ore is quite acute. The most negative factor in this case is a significant output of oversized in the production of blasting operations. In this paper, a method is proposed to reduce the yield of oversized during the mining of primary chambers by reducing the size of the zones of unregulated crushing located in the zone of the ends of blastholes.

**Keywords:** Copper-pyrite deposits, oversized yield, unregulated crushing zone, ore drawing, blasthole ring charges, blasthole bunch

Месторождения Урала преимущественно обрабатывают камерными системами разработки с закладкой и применением самоходного оборудования на выпуске и доставке руды [1] (табл. 1).

**Таблица 1. Параметры камерных систем разработки медноколчеданных месторождений**

Месторождение	Система разработки	Параметры
Гайское	этажно-камерная с твердеющей закладкой	Камеры высотой 80 м, длиной 30-50 м и шириной 20 м, высота подэтажа 26-27 м
Октябрьское	этажно-камерная с твердеющей закладкой	Камеры высотой 20-50 м, длиной 30-140 м и шириной 10-15 м
Учалинское	этажно-камерная с твердеющей закладкой	Камеры высотой 20-40 м, длиной 50-60 м и шириной 8-15 м
Молодежное	этажно-камерная с твердеющей закладкой	Камеры высотой до 60 м, ширина до 15 м, длина камер 20-30 м, высота подэтажа 12-30 м
Сафьяновское	подэтажно-камерная с твердеющей закладкой	Камеры высотой 20-40 м, ширина 10-15 м, длина камер 10-60 м

На начальном этапе подземной разработки таких месторождений, в частности Гайского, отбойку камерных запасов осуществляли параллельными скважинами диаметром 105 мм. При разбурировании камеры параллельными скважинами необходимо было проходить по простиранию рудного тела большой объем близко расположенных буровых заходов, что приводило к снижению их устойчивости и безопасности ведения буровзрывных работ. Поэтому был осуществлен переход на веерные схемы отбойки, предусматривающие бурение скважин из выработок, расположенных вкрест простирания рудного тела. В настоящее время такая схема отбойки применяется практически повсеместно [2-5].

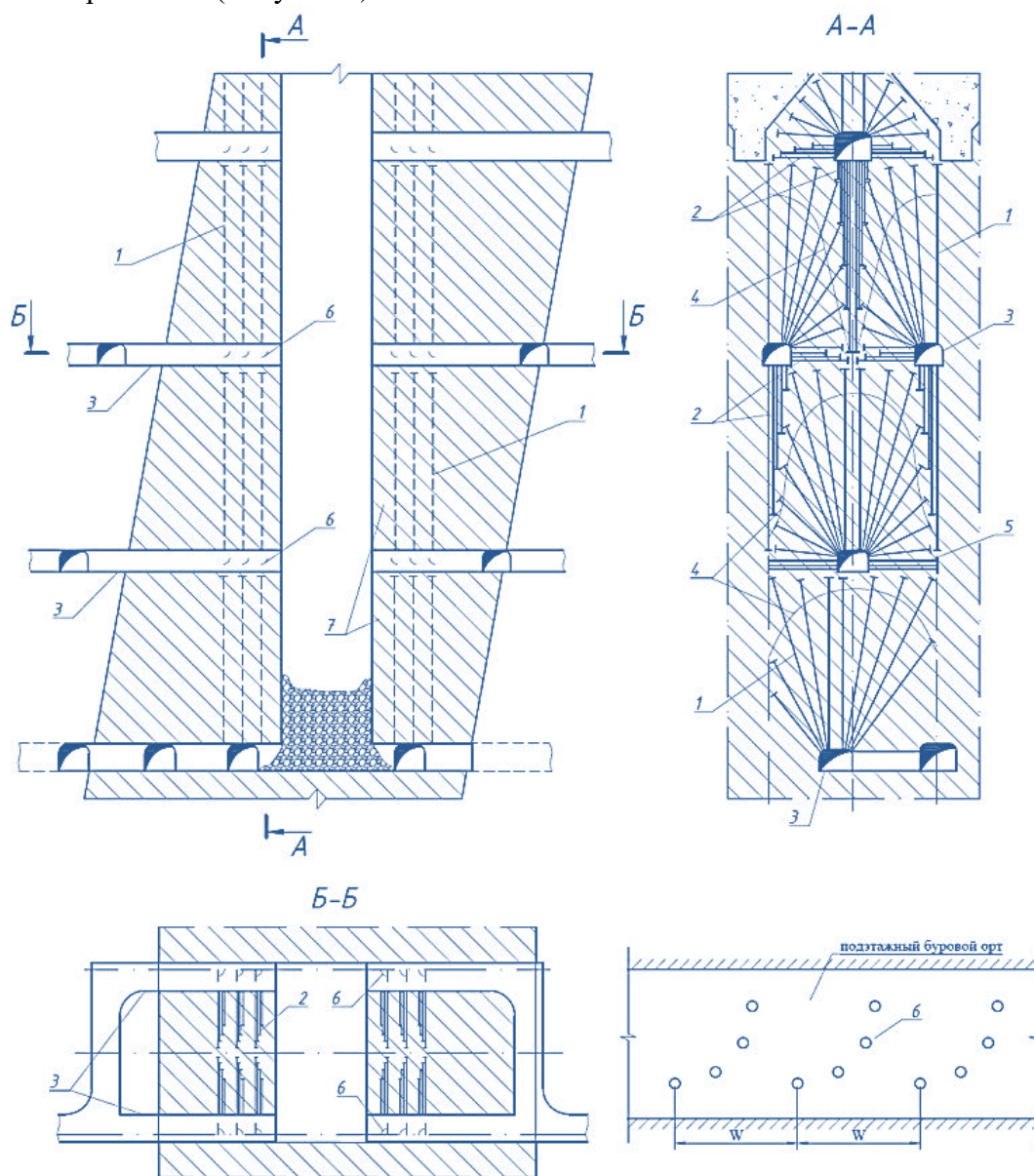
Для многих Уральских медноколчеданных месторождений характерно то, что центральные части рудных тел представлены массивными и весьма устойчивыми рудами, достаточно крепкими и практически не трещиноватыми. При веерном расположении скважин выход негабарита составляет до 10-18 % и более, что в значительнейшей мере влияет на производительность выпуска руды самоходными погрузочно-доставочными машинами (ПДМ) [6].

Анализ себестоимости добычи руды показал, что расходы на отбойку руды составляет 12,5 %, а на выпуск и доставку (в т.ч. вторичное дробление) – 18,1 % от общих затрат. Наиболее действенный способ повышения эффективности выпуска и доставки руды – улучшение качества дробления.

Веерное расположение скважин на настоящий момент является наиболее распространенным при подземной разработке месторождений. В сравнении с параллельным расположением, веерное характеризуется увеличением суммарной длины скважин, увеличением удельного расхода ВВ на отбойку и худшим качеством дробления. Перечисленные недостатки компенсируются существенным снижением удельного объема подготовительно-нарезных работ (ПНР) и трудоемкости бурения скважин [7]. Однако при бурении вееров скважин длиной более 15-20 м происходит их искривление и образование зоны нерегулируемого дробления (ЗНД), с которой, как правило, связан выход негабарита. ЗНД при веерной схеме отбойки находится в части отбиваемого слоя, приходящейся на последние 15-25 % длины скважин [8-9].

Для улучшения качества дробления руды, расположенной в ЗНД веера, в торцах веерных скважин по границам камеры и подэтажей дополнительно бурятся пучки сближенных скважин [10]. Использование пучков и их мощных зарядов ВВ позволяет

повысить надежность и качество отбойки (по сравнению с одиночной скважиной). Наличие в периферийной части веера зарядов в пучках скважин позволяет помимо снижения негабарита увеличить расстояние между скважинами веера. Также, предложенный способ позволяет снизить объем ПНР за счет отказа от проходки второго бурового орта на одном из подэтажных горизонтов (Рисунок 1).



**Рисунок 1. Способ снижения выхода негабарита при отбойке запасов первичных камер:** 1 – веер скважин; 2, 5 – комплекты (пучки) парно-сближенных скважин; 3 – буровые выработки; 4 – зона нерегулируемого дробления; 6 – дугообразное расположение комплекта скважин (пучка); 7 – отбиваемый слой.

Для рационального использования энергии взрыва пучков скважин, а именно ее концентрации в сторону ЗНД и снижения негативного воздействия на законтурный массив, скважины в комплекте располагают по дуге выпуклостью в сторону приоритетного разрушения [11].

Управление энергией взрыва пучков скважинных зарядов производится путем регулирования длин скважин в пучке или длин зарядов в скважинах в зависимости от мощности зоны нерегулируемого дробления. Область применения данного способа

ограничена первичными камерами, а его главным недостатком является увеличенный на 25-30 % относительно базового варианта объем бурения.

В результате опытных испытаний технологии установлено, что при предлагаемом варианте этажно-камерной системы разработки в первичных камерах выход негабарита составил 3-5 %, что в среднем в 3 раза меньше чем при базовом варианте технологии с исключительно веерной отбойкой руды.

Основываясь на опытных данных выполнен сравнительный расчет себестоимости отбойки и разделки негабарита, включающий затраты на бурение скважин, взрывчатые материалы, зарядание и вторичное дробление негабарита [12-14].

Себестоимость отбойки определялась следующим образом

$$C_{отб}^i = \frac{Z_{бур}^i + Z_{ВМ}^i + Z_{зар}^i}{V_{сл}^i \gamma}, \text{ руб/т.} \quad (1)$$

где  $Z_{бур}^i$  – затраты на бурение скважин, руб.;  $Z_{ВМ}^i$  – затраты на взрывчатые материалы, руб.;  $Z_{зар}^i$  – затраты на зарядание скважин, руб.;  $V_{сл}^i$  – объем отбиваемого слоя, м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – плотность руды, т/м<sup>3</sup>.

$$Z_{бур}^i = \sum L_{скв}^i C_{бур}^i, \text{ руб} \quad (2)$$

где  $L_{скв}^i$  – длина скважин, м;  $C_{бур}^i$  – себестоимость бурения скважин, руб/м.

Затраты на взрывчатые материалы определялись следующим образом:

$$Z_{ВМ}^i = q_{ВВ}^i V_{сл}^i C_{ВВ} k_{св}^i, \text{ руб.} \quad (3)$$

где  $q_{ВВ}^i$  – удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $C_{ВВ}$  – стоимость ВВ, руб/кг;  $k_{св}^i$  – коэффициент, учитывающий затраты на средства взрывания.

Затраты на зарядание скважин рассчитываются по формуле

$$Z_{зар}^i = \frac{q_{ВВ}^i V_{сл}^i}{P_{скв}} C_{зар}^i, \text{ руб.} \quad (4)$$

где  $P_{скв}$  – вместимость 1 м скважины, кг/м;  $C_{зар}^i$  – себестоимость зарядания, руб/м.

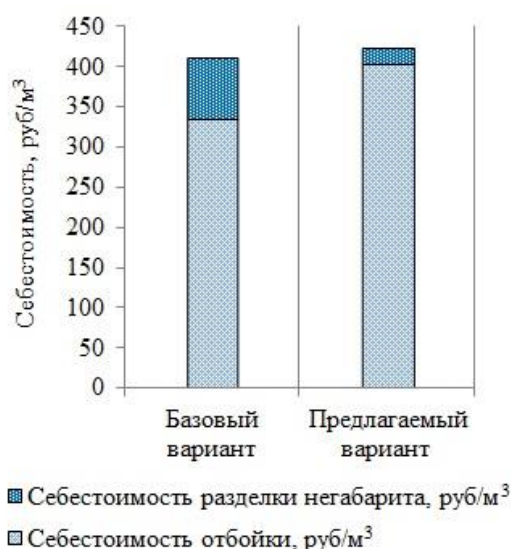
Себестоимость разделки негабарита определяется

$$C_{р.н.}^i = Z_{р.н.}^{руд} \frac{V_n^i}{100\gamma}, \text{ руб/т} \quad (5)$$

где  $Z_{р.н.}^{руд}$  – затраты на разделку 1 м<sup>3</sup> негабарита, руб/м<sup>3</sup>;  $V_n^i$  – выход негабарита, %;  $\gamma$  – удельный вес руды, т/м<sup>3</sup>.

Сравнение себестоимости отбойки руды и разделки негабарита по базовому и предлагаемому варианту технологии, отнесенной на 1 м<sup>3</sup> добытой руды, представлено на рис. 2.

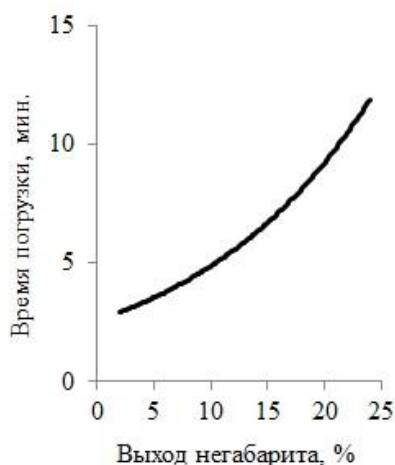
Из представленного графика видно, что себестоимость предлагаемого варианта технологии незначительно выше базового (на 2,5-3 %).



**Рисунок 2. Себестоимость отбойки руды и разделки негабарита**

По результатам хронометражных наблюдений установлено влияние выхода негабарита ( $\eta$ ) на продолжительность погрузки автосамосвала ( $t_{п}$ ) при длине доставки 30-80 м (рис. 3)

$$t_{п} = 2,80 + 0,51\eta - 1,25\ln \eta, \text{ мин.} \quad (6)$$



**Рисунок 3. Влияние выхода негабарита на время погрузки автосамосвала**

Из графика видно, что при предлагаемом варианте производительность ПДМ на выпуске руды возрастает примерно в 1,5 раза при снижении выхода негабарита с 15 % до 5 %. Следует также учитывать, что негабаритные куски руды приходится доставлять в камеру дробления негабарита и в дальнейшем эту же руду транспортировать в рудоспуск, что также снижает производительность ПДМ. Поскольку время погрузки составляет значительную часть продолжительности цикла и в этот момент происходит основной износ шин и других агрегатов ПДМ, очень важно обеспечить минимальный выход негабарита. Эффективно применить при выемке запасов вторичных камер способ отбойки руды с использованием пучков скважин не представляется возможным, так как подэтажные буровые орты располагаются по оси камеры.

В условиях увеличения глубины подземной разработки уральских медноколчеданных месторождений и наращивания производственной мощности горнодобывающих предприятий, совершенствование схем и параметров взрывной отбойки руды является одним из определяющих факторов повышения эффективности подземной геотехнологии. Обобщая

все вышесказанное можно сделать вывод, что, несмотря на несколько большую себестоимость отбойки руды, предлагаемый вариант этажно-камерной системы разработки для условий первичных камер обладает значительно большей эффективностью за счет снижения выхода негабарита до 3-х раз и повышения производительности ПДМ на выпуске и доставке руды до 1,5 раз.

*Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00581-19-00. Тема №0405-2019-0005.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Ю.В., Соколов И.В. Подземная разработка медноколчеданных месторождений Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 232 с.
2. Ляшенко В.И., Голик В.И., Комащенко В.И., Рахманов Р.А. Разработка технологий и технических средств для буровзрывной отбойки скальных руд при камерных системах с закладкой // Взрывное дело. 2020. №126-83. С. 113-150.
3. Калмыков В.Н., Неугомонов С.С., Котик М.В., Ахметов А.А., Попов П.Г. О влиянии глубины разработки на параметры отбойки руд на примере гайского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № S1-1. С. 79-85.
4. Смирнов А.А., Барановский К.В., Рожков А.А. Применение принципов ресурсосбережения при отбойке крепких трещиноватых руд веерами скважинных зарядов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. №3-1. С. 300-312.
5. Соколов И.В., Смирнов А.А., Рожков А.А. Технология взрывной отбойки крепких ценных руд при веерном расположении скважин // Записки Горного института. 2019. Т. 237. С. 285-291.
6. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В. Направления развития и опыт применения подземной геотехнологии с использованием самоходной техники на уральских рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 4. С. 66-74.
7. Кутузов Б.Н., Белин В.А. Проектирование и организация взрывных работ. – М.: Горная книга, 2012. 416 с.
8. Вяткин Н.Л., Казаков Н.Н., Закалинский В.М. Зоны нерегулируемого дробления породы взрывом при подземной разработке мощных рудных месторождений // Взрывное дело. 1998. №91-48. С. 22-25.
9. Смирнов А.А., Рожков А.А. Исследования действия взрыва веера скважинных зарядов // Взрывное дело. 2018. №119-76. С. 118-128.
10. Будько А.В., Закалинский В.М., Рубцов С.К., Блинов А.А. Совершенствование скважинной отбойки. – М.: Недра, 1981. 199 с.
11. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Викторов С.Д., Жариков И.Ф., Закалинский В.М. Взрывное разрушение массивов горных пород при освоении недр // Проблемы недропользования. 2014. №3. С. 80-95.
12. Ерофеев И.Е. Повышение эффективности буровзрывных работ на рудниках. – М.: Недра, 1988. 271 с.
13. Рожков А.А. Методика расчета параметров рассредоточения скважинных зарядов в веере // Взрывное дело. 2019. № 122-79. С. 121-135.
14. Дик Ю.А., Котенков А.В., Танков М.С. Практика опытно-промышленных испытаний технологий разработки рудных месторождений. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 480 с.

УДК 622.271.62

**ОТБОЙКА ПОРОД ГИДРОМОНИТОРОМ С УПРАВЛЯЕМЫМ СОДЕРЖАНИЕМ  
ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВЫХ ЧАСТИЦ В НАПОРНОЙ ВОДЕ**

ШКАРУБА Н. А., КИСЛЯКОВ В.Е.

Сибирский федеральный университет

**Аннотация.** Высокое содержание глины во вмещающих породах при разработке месторождений средствами гидромеханизации ведет к значительному накоплению тонкодисперсных частиц в воде прудов-отстойников оборотного водоснабжения.

На основе исследований, проведенных авторами ранее, предложены технологические решения отбойки пород гидромонитором с управляемым содержанием тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде, применимые для добычных и вскрышных работ. Накопление тонкодисперсных частиц в воде происходит естественным путем в течение промывочного сезона.

**Ключевые слова:** Гидромонитор, гидромониторная отбойка, глинистый массив, тонкодисперсные грунтовые частицы, производительность отбойки, технологические решения.

**ROCK JETTING BY A HYDRAULIC MONITOR WITH CONTROLLED CONTENT OF  
FINE SOIL PARTICLES IN PRESSURE WATER**

SHKARURAL BRANCHA N. A., KISLYAKOV V. E.

Siberian Federal University

**Abstract.** A lot of fine particles are accumulated in reused water of settling ponds because of considerable clay content in wall rocks during hydraulic mining.

On the basis of our previous research, we propose our solutions for rock jetting by a hydraulic monitor with controlled content of fine particles in pressure water. They can be applied for mining and overburden operations. The accumulation of fine particles in water occurs naturally during the flushing season.

**Keywords:** Hydraulic monitor, rock jetting, clay mass, fine soil particles, rock jetting performance, technological solutions.

В сибирском федеральном округе РФ сосредоточено большое число россыпных месторождений золота. Многие из них залегают во вмещающих породах с высоким содержанием глины. Этот фактор является негативным с точки зрения технологии отработки и обогащения песков месторождений: многие из них отрабатывают средствами гидромеханизации с оборотным водоснабжением из прудов-отстойников.

Длительное время, требуемое на осаждение тонкодисперсной фракции отбитого глинистого массива, приводит к тому, что на гидромониторные установки подается напорная вода с высоким содержанием тонкодисперсных грунтовых частиц.

Наличие этих частиц изменяет реологические свойства технологической воды и параметров струи гидромонитора, в частности, силу удара струи о забой. Также расчет объема воды в отстойнике оборотного водоснабжения основывается на содержании

тонкодисперсных грунтовых частиц в воде на конец промывочного сезона, что влияет на объем горно-капитальных работ и на необходимый объем воды, который должно обеспечить горнодобывающее предприятие для производства работ.

В настоящее время известны работы, направленные на исследование разрушения горных пород или камнеподобных материалов в результате удара струи воды, определяющие влияние скорости удара, диаметра, величины зазора и угла падения водной струи, а также выявление ограничений давления и типа пород от глубины реза, диаметра, разрушения и распределения напряжений в породе [1-4].

Известны работы Jiang Hongxiang, Du Changlong, Liu Songyong, and Gao Kuidong [5], где подробно исследованы механизмы разрушения горных пород с целью объяснения причин образования зон дробления, зарождения и распространения трещин под действием ударной нагрузки водной струи. В результате проведенных исследований установлено, что: дробление горной породы от удара струи воды также можно рассматривать как процесс загрузки/разгрузки; разрушение горной породы под действием струи воды происходит из-за комбинированного действия сдвига и разрушения при растяжении; эрозия поверхности породы является основной при низкой скорости удара, и фактическое разрушение (например, радиальные и откольные трещины) произойдет только тогда, когда скорость удара достигнет определенного значения.

На основе исследований [6-8], направленных на изучение изменения производительности отбойки пород струей гидромонитора с содержащимися в ней тонкодисперсными грунтовыми частицами, увеличивающими плотность напорной воды, предложены решения, применимые для разработки месторождений с использованием отбойки пород гидромонитором при оборотной схеме водоснабжения из прудов-отстойников и значительным содержанием тонкодисперсных грунтовых частиц в разрабатываемых грунтах.

Отбойку пород, исходя из решений [6-8], возможно вести как на вскрышных, так и на добычных работах. Однако, как показывают исследования [9-15], значительные содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде негативно сказываются на процессе обогащения с применением гравитационных методов. Поэтому для добычных работ рекомендуется ограничивать содержание тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде не более 60 г/л [15].

Для проведения вскрышных работ содержание тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде рекомендуется ограничивать значениями 100 г/л, что обусловлено, в основном, резким увеличением абразивного износа оборудования.

Отличительной особенностью указанных технологических решений является подача технологической воды на гидромонитор с управляемым количеством тонкодисперсных грунтовых частиц в ее составе. Накопление этих частиц в технологической воде происходит естественным путем в течение промывочного сезона.

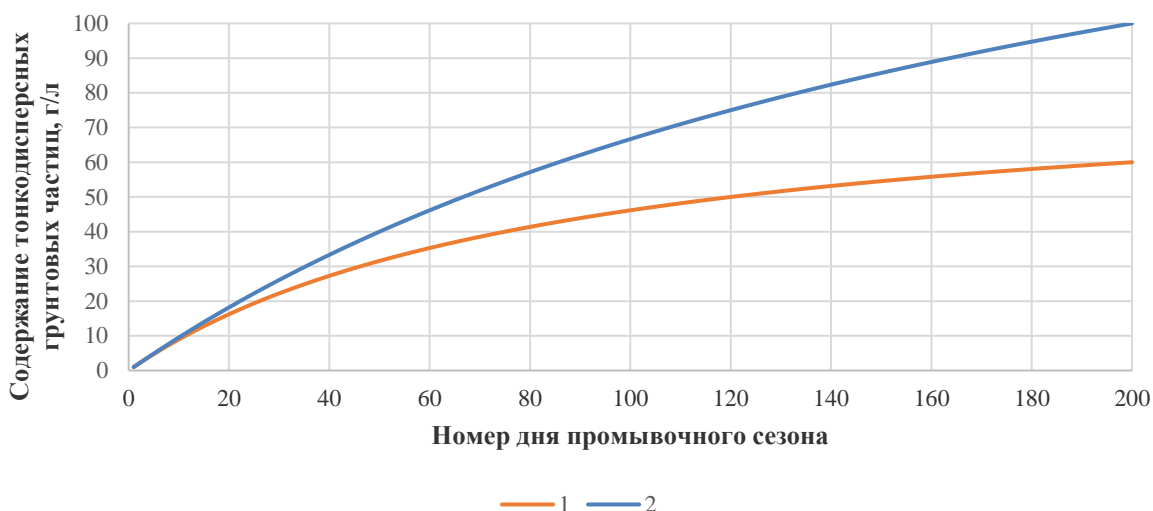
#### **Методика определения максимально возможной концентрации тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде на конец промывочного сезона при применении средств гидромеханизации**

Применение результатов исследований [6-8] на горном предприятии возможно путем реализации следующей методики.

На стадии планирования горных работ изучают данные месторождения: гранулометрический состав песков или торфов, либо данные наблюдений за накоплением тонкодисперсных грунтовых частиц в отстойнике в предыдущие сезоны (используют уже имеющиеся сведения или специально проводят замеры).

Пример изменения содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в воде пруда-отстойника в течение промывочного сезона, который равен 200 дням, показан на рис. 1, где видно, что изменение содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в воде пруда-отстойника происходит нелинейно.





**Рисунок 1. Изменение содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в воде пруда-отстойника в течение промывочного сезона при ограничении их содержания: 1 – до 60 г/л; 2 – до 100 г/л**

При помощи уравнения (1) строят график изменения производительности отбойки пород за промывочный сезон, которое принимают прямо пропорциональным изменению силы удара струи гидромонитора о забой и оценивают изменение производительности отбойки пород за промывочный сезон, принимая за исходное значение производительность отбойки при традиционном способе ведения горных работ.

$$P = A \cdot \rho + \frac{L}{10} \cdot 100^{-3} \cdot (B \cdot \frac{H_o^2}{100} + C \cdot \frac{H_o}{10} + D) + E + F, \quad (1)$$

где A, B, C, D, E, F – коэффициенты математической модели:

$$A, B, C, D, E = a \cdot \frac{d_n^2}{100} + b \cdot \frac{d_n}{10} + c, \quad (2)$$

$$F = \frac{H_o}{10} \cdot (0,23 \cdot \frac{d_n}{10} - 0,81) \quad (3)$$

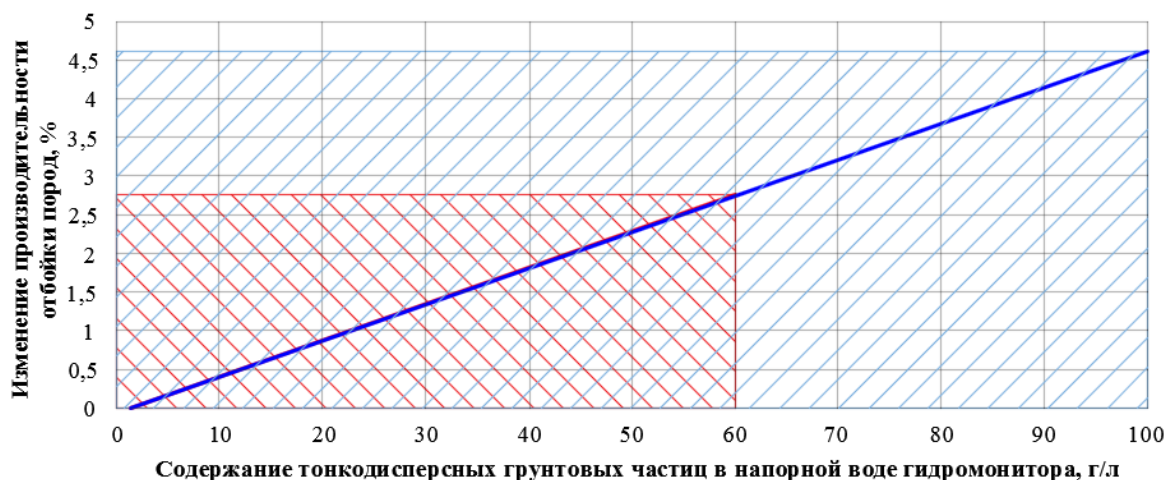
где a, b, c – эмпирические коэффициенты (таблица).

**Таблица. Таблица для определения эмпирических коэффициентов уравнения (2)**

Коэффициент уравнения (1)	Эмпирические коэффициенты уравнения (2)		
	a	b	c
A	-0,36	5,31	-7,63
B	-1,79	22,46	-66,16
C	54,7	-687,4	2025
D	-414,3	525,5	15860
E	0,45	-6,25	10,62

На графике (рис. 2) показан пример, рассчитанной при помощи уравнения (1), зависимости производительности отбойки пород струей гидромонитора от содержания в ней

тонкодисперсных грунтовых частиц. Из графика видно область изменения производительности отбойки пород струей гидромонитора для добычных работ – при ограничении содержания в напорной воде тонкодисперсных грунтовых частиц до 60 г/л и для вскрышных работ – до 100 г/л (выделено штриховкой).



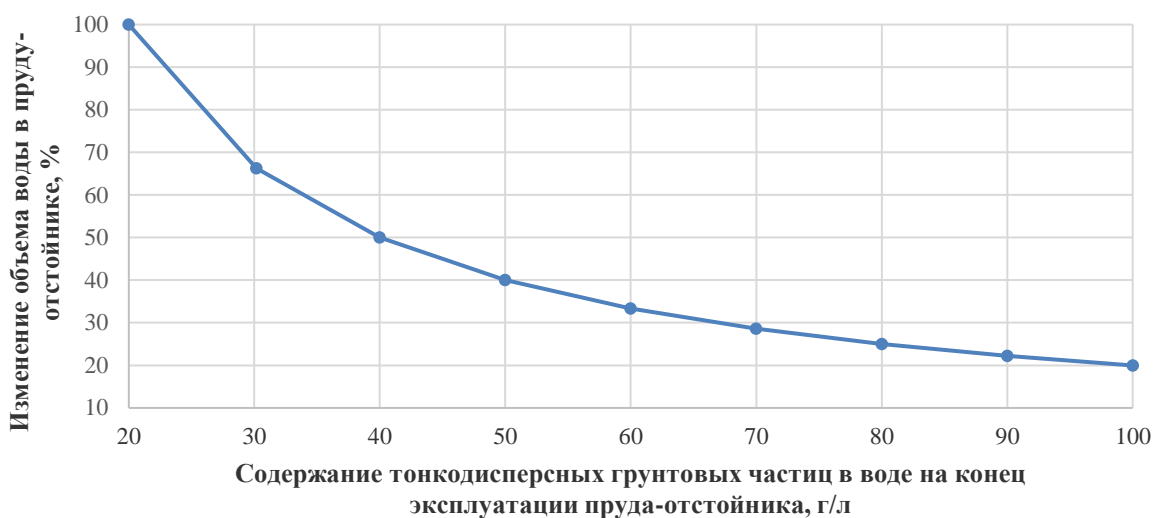
**Рисунок 2.** Изменение относительной производительности отбойки пород струей гидромонитора от содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде (за 100% принята производительность отбойки пород струей гидромонитора чистой водой). Содержание тонкодисперсных грунтовых частиц: 1 – до 60 г/л (область производства добычных работ); 2 – до 100 г/л (область производства вскрышных работ).

Так как накопление тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде отстойника происходит постепенно, то их содержание будет увеличиваться в течение промывочного сезона и достигнет максимальных значений в конце него. Пропорционально будет увеличиваться производительность отбойки пород. В связи с этим целесообразно говорить о средней за сезон производительности отбойки.

Управление содержанием тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде возможно, например, корректированием объема воды в отстойнике.

После определения (при помощи известной методики, но с учетом большего содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде) необходимого объема отстойника принимается каким образом будет размещен рассчитанный объем технологической воды. На стадии проектирования предприятия задаются необходимые размеры пруда-отстойника. В случае, когда технологию предполагается применять на действующем предприятии, – возможно неполное заполнение имеющегося отстойника.

Изменение необходимого объема воды в отстойнике (что приведет и к изменению его размеров) для обеспечения заданного содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде показано на рисунке 3.



**Рисунок 3. Изменение необходимого объема воды в пруду-отстойнике на конец его эксплуатации за счет увеличения содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде**

Определить необходимое количество воды можно при помощи уравнения (4) [16], учитывающего содержание тонкодисперсных грунтовых частиц в воде пруда-отстойника на конец промывочного сезона.

$$C_{\phi} = 10 \cdot V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{т}} \cdot \frac{b}{V_{\text{о}}}, \text{ г/л} \quad (4)$$

где  $C_{\phi}$  – содержание глинистых частиц в технологической воде на конец эксплуатации пруда-отстойника;  $V_{\text{п}}$  – количество промытых грунтов (хвостов), поступающих в гидравлический отвал в породной массе за весь период его эксплуатации,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{т}}$  – плотность самых мелких фракций,  $\text{т/м}^3$ ;  $b$  – суммарный выход фракций менее предельного размера, %;  $V_{\text{о}}$  – объем воды в отстойнике,  $\text{м}^3$ .

Суммарный выход фракций менее предельного размера ( $b$ ) определяют по данным гранулометрического состава разрабатываемых грунтов, а геометрическую крупность грунтовых частиц предельного размера – используя данные скорости осаждения грунтовых частиц в отстойнике в естественных условиях.

Установление более высоких предельных значений содержания тонкодисперсных грунтовых частиц приведет к уменьшению необходимого объема воды в пруду-отстойнике.

Таким образом, положительный эффект от реализации предлагаемой методики заключается в сокращении необходимого объема воды, влекущего за собой уменьшение площади пруда-отстойника и отчуждаемых для этого земель; повышении производительности отбойки пород и сокращении удельного расхода воды на отбойку пород.

#### **Методика определения максимально возможной концентрации тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде в течение промывочного сезона при применении средств гидромеханизации**

Также возможно производить отбойку пород напорной водой с заданным содержанием в ней тонкодисперсных грунтовых частиц на протяжении всего промывочного сезона. Для этого необходимо при помощи уравнения (1) определить соотношение содержания тонкодисперсных грунтовых частиц и производительности отбойки пород для рассматриваемого предприятия (как описано выше).

Оперируя полученными данными и данными гранулометрического состава либо наблюдениями за накоплением тонкодисперсных грунтовых частиц в прудах-отстойниках

предприятия определить минимальное время накопления заданного содержания тонкодисперсных грунтовых частиц и соорудить пруд-отстойник с этими параметрами.

Для поддержания заданного содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в пруду-отстойнике, его выполняют двухсекционным – с секцией для чистой воды, из которой по мере необходимости пополняют пруд-отстойник.

Необходимый объем воды и периодичность пополнения пруда-отстойника чистой водой определяют при помощи уравнения (4), сравнивая показатель фактического количества тонкодисперсных грунтовых частиц в воде пруда-отстойника и необходимого заданного.

Регулирование количества тонкодисперсных грунтовых частиц также может производиться доступными на горнодобывающем предприятии средствами, например, применением шандорных колодцев или трубного слива – для обеспечения необходимого объема чистой воды в пруду-отстойнике.

### **Выводы**

Применение предложенных технологических решений по отбойке пород с управляемым содержанием тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде гидромонитора, представляющих собой методику определения максимально возможной концентрации тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде при применении средств гидромеханизации, позволит повысить производительность отбойки пород и сократить удельный расход воды на отбойку пород; сократить необходимый объем воды в пруду-отстойнике, что повлечет за собой уменьшение его площади и отчуждаемых для этого земель.

Управление содержанием накапливающихся естественным путем тонкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде пруда-отстойника возможно ограничением его максимального значения на конец промывочного сезона на стадии проектирования пруда-отстойника за счет уменьшения его площади или объема воды в нем (для уже имеющегося пруда-отстойника). Также возможно производить отбойку пород напорной водой с управляемым содержанием в ней тонкодисперсных грунтовых частиц на протяжении всего промывочного сезона. Для этого пруд-отстойник выполняют двухсекционным либо используют доступные на горнодобывающем предприятии средства.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект номер 19-35-90112.*

*The study was funded by RFBR, project number 19-35-90112.*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Si H., Wang D. D., Li X. H. Stress wave effect in numerical simulation on rock breaking under high pressure water jet // Journal of Chongqing University. – 2008. – Vol. 31, № 8.– С. 942-945.
2. Ma L., Bao R. H., Guo Y. M. Waterjet penetration simulation by hybrid code of SPH and FEA // International Journal of Impact Engineering. – 2008. – Vol. 35, № 9. – С. 1035-1042.
3. Liu J. L., Si H. Numerical simulation on damage field of high pressure water jet breaking rock under high ambient pressure // Journal of Chongqing University. – 2011. - Vol. 34, № 4. – С. 40-46.
4. Lu Y. Y., Zhang S., Liu Y., Lu Z. H., Jiang L. Y. Analysis on stress wave effect during the process of rock breaking by pulsed jet // Journal of Chongqing University. – 2012. - Vol. 35, №1. – С. 117-124.
5. Jiang Hongxiang, Du Changlong, Liu Songyong, Gao Kuidong Numerical Simulation of Rock Fragmentation under the Impact Load of Water Jet // Shock and Vibration. – 2014. – Vol. 2014, Article ID 219489, 11 pages, <https://doi.org/10.1155/2014/219489>.

6. Кисляков В.Е., Шкаруба Н.А., Катышев П.В. Влияние содержания тонкодисперсных грунтовых частиц в напорной воде на силу удара струи гидромонитора о забой // Маркшейдерия и Недропользование. – 2017. – № 6 (92). – С. 52-54.
7. Кисляков В.Е., Шкаруба Н.А., Катышев П.В. Исследование силы удара струи гидромонитора о забой // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Выпуск 1. – 2018. – № 1. – С. 268-275.
8. Шкаруба Н.А., Шарыпов Н.А., Кисляков В.Е. Определение длины струи гидромонитора при наличии в воде тонкодисперсных грунтовых частиц // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 4. – С. 275-286.
9. О контроле мутности технологической воды на драгах и способе осветления воды в дражном разрезе при бессточной схеме водоснабжения / С.М. Шорохов, А.А. Зуйков, В.М. Селезнев и др. // Колыма. 1973. №11. С. 27-28.
10. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О.В. Замятин, А.Г. Лопатин, Н.П. Санникова и др. М.: Недра, 1975. 264 с.
11. Водоснабжение и очистка сточных вод при разработке россыпных месторождений / В.В. Назаров, Ю.М. Чикин, В.Р. Личаев и др. М.: Недра, 1975. 184 с.
12. Назаров В.В., Конюкова А.Т. Работа драги в «глухом» забое // Колыма. 1969. №8. С. 7-8.
13. Барабанов В.Д. Совершенствование технологии извлечения золота и платины из россыпных месторождений: Автореф. Дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1971. 26 с.
14. Мязин В.П. Изыскание эффективных способов снижения мутности воды в дражном разрезе при разработке глинистых россыпей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 1975. 24 с.
15. Кисляков В. Е. Предельная загрязненность технологической воды при разработке россыпных месторождений золота // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2017. – №3. – С. 148-156.
16. Кисляков В.Е. Расчет отстойников оборотного водоснабжения при разработке россыпей. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1988. 176 с.

УДК 622.242.27

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИМПОРТНЫХ БУРОВЫХ СТАНКОВ В УСЛОВИЯХ ПАО «Ураласбест»**

ЛЕЛЬ Ю.И.,<sup>1</sup> ЗОТОВ И.Г.,<sup>2</sup> ЗАХАРОВ А.В.,<sup>3</sup> МАРТЫНОВ Н.В.,<sup>1</sup> СТЕНИН Ю.В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ПАО «Ураласбест»,

<sup>3</sup> ООО «Сандвик Майнинг Энд Констракшен СНГ» Уральский филиал

**Аннотация.** Рассмотрены и проанализированы результаты опытно-промышленных испытаний буровых станков Sandvik D50KS в сравнении с действующим парком станков СБШ-250МНА в условиях ПАО «Ураласбест». Установлены механическая и техническая скорости бурения, энергоемкость и сменная производительность импортных станков. Проведена технико-экономическая оценка эффективности применения импортных станков в условиях ПАО «Ураласбест» по критерию себестоимости бурения и физическому критерию удельное действие. На основании расчетов сделаны выводы о перспективности применения импортных станков в условиях ПАО «Ураласбест».

**Ключевые слова:** Буровой станок, категория пород по буримости, скорость бурения, производительность, удельная энергоемкость, удельное действие, себестоимость.

## RESULTS OF PILOT TESTS OF IMPORTED DRILLING RIGS IN THE CONDITIONS OF PJSC URALASBEST

LEL YU. I.1, ZOTOV I. G.2, ZAKHAROV A. V.3, MARTYNOV N. V.1, STENIN YU. V.1

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

<sup>2</sup>PJSC Uralasbest,

<sup>3</sup>LLC Sandvik Mining and Construction CIS Ural branch

**Abstract.** The results of pilot tests of Sandvik D50KS drilling rigs in comparison with the existing fleet of SBSH-250MNA rigs in the conditions of PJSC Uralasbest are considered and analyzed. Mechanical and technical drilling speeds, energy intensity and replaceable productivity of imported machines have been established. A technical and economic assessment of the effectiveness of the use of imported machines in the conditions of PJSC Uralasbest was carried out according to the drilling cost criterion and the physical criterion of specific effect. Based on the calculations, conclusions are drawn about the prospects of using imported machines in the conditions of PJSC Uralasbest.

**Keywords:** Drilling rig, rock category by drillability, drilling speed, productivity, specific energy intensity, specific action, cost.

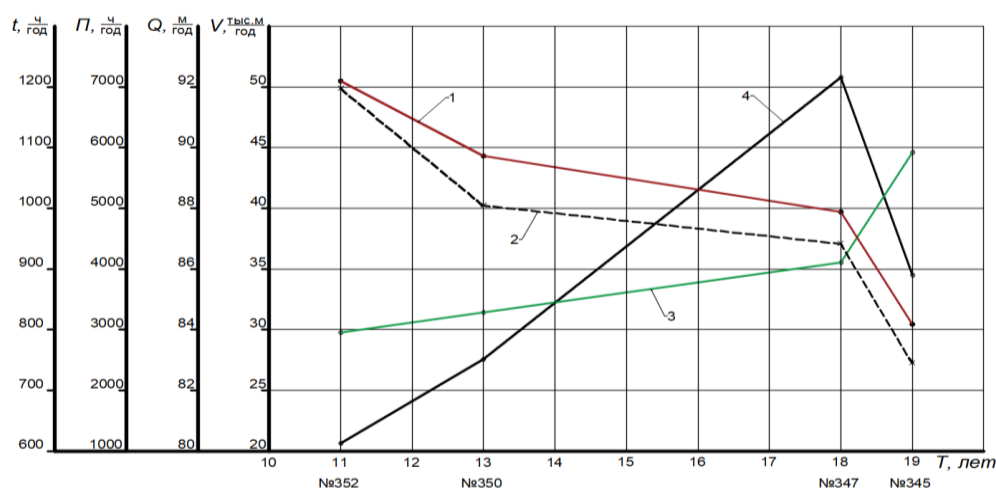
Буровые работы на карьерах ПАО «Ураласбест» ведутся станками СБШ-250МНА в ультраосновных породах, представленных серпентинитами (21-27 % от общего объема бурения) и перидотитами (55-58 % от общего объема). Остальной объем обуриваемых пород представлен габбро, диоритами, дунитами, гранитами и талько-карбонатными породами. Обуриваемые пород относятся к 15 и 16-й категориям буримости по Единой классификации пород по буримости Центрального бюро нормирования труда. Доля пород, отнесенных к 17 категории, в целом незначительна и по отдельным станкам изменяется от 5,6 до 12,4 % [1]. Скважины в большинстве вертикальные, доля наклонного бурения составляет по станкам от 12.1 до 24.4 %. Парк станков на сегодняшний день физически и морально изношен, поэтому стоит вопрос о комплектовании парка новыми отечественными станками СБШ или импортными станками Sandvik D50KS фирмы Sandvik. На рис. 1 представлена динамика показателей использования станков с увеличением их срока службы. Объем бурения и среднесменная производительность станков имеют четко выраженную тенденцию к снижению с увеличением срока службы. Также четко выражена связь роста суммарной длительности простоев станков по всем причинам со сроком службы.

Опыт эксплуатации дизельных станков Sandvik D50KS на отечественных карьерах свидетельствует о следующих их преимуществах по сравнению со станками СБШ [2-6]:

- высокая скорость бурения и производительность;
- меньшая масса, возможность широкого регулирования характеристик, удобство в управлении;
- насосная станция (гидропривод) задействует все приводы и агрегаты станка, механизмирует основные и вспомогательные операции, что позволяет осуществлять обслуживание станка одним оператором;
- высокий (до 0,9) коэффициент готовности;
- снижение затрат времени на вспомогательные операции (наращивание става, замену долота, горизонтирование);
- мобильность (скорость передвижения);
- автономность (независимость работы от источников электроэнергии).

С целью определения возможностей бурового станка D50KS 17.10.2019 г. на предприятии было проведено целосменное хронометражное наблюдение при обуривании

блока № 208 гор. –28 м, сложенного перидотитами 15 категории буримости и V категории взрываемости. Бурение осуществлялось долотом ТК-2 ГОРМАШ диаметром 229 мм.



**Рисунок 1. Динамика показателей работы станков СБШ-250МН в зависимости от срока службы: V – объем бурения (1); Q – производительность (2); П – простои по всем причинам (3); t – простои по неисправности механической и электрической части (4).**

Во время наблюдений фиксировалась механическая скорость бурения на расстоянии равном длине штанги. Скорость бурения изменялась в диапазоне 0,3–0,8 м/мин, средняя скорость при бурении первой штангой составила 0,6 м/мин., второй – 0,56 м/мин., в целом по всем наблюдениям чистая скорость бурения – 0,58 м/мин. (34,8 м/ч). Техническая скорость (с учетом вспомогательных операций) 22 м/ч. При коэффициенте использования времени смены в диапазоне 0,70–0,75 производительность станка на породах 15 категории буримости составила 180–190 м/смену.

В табл. 1 приведены данные о работе станков СБШ и Sandvik D50KS на бурении технологических скважин по итогам шести месяцев 2020 г. Лучшие показатели среди шарошечных станков показал станок СБШ № 352, имеющий самый низкий срок службы. Производительность станка СБШ № 352 составила 86,7 м/смену, использование календарного времени 66,3 %.

Станком D50KS выполнено 33,7 % (35,6 тыс. пог. м) общего объема технологического бурения, среднесменная производительность составила 128,4 м/смену, что на 55 % выше среднесменной производительности СБШ, на 37,7 % лучше показатель использования календарного времени. Если сравнивать среднечасовую производительность станков, определяемую как отношение объема бурения к календарному времени с учетом его использования, то часовая производительность СБШ находится в диапазоне 7 м/ч (№ 347) – 7,33 м/ч (№ 352), станка D50KS составляет 10,8 м/ч, что выше на 48 %. Следует также отметить, что техническая скорость бурения станком D50KS (с учетом вспомогательного времени) по хронометражным замерам составляет 22 м/ч, что в 2,0–2,5 раза превышает техническую скорость бурения станками СБШ. Разница в соотношениях средней часовой производительности (1,5) и технической скорости (2,0–2,5) станков СБШ и D50KS объясняется недостаточным опытом эксплуатации дизельных станков и свидетельствует о значительных резервах станков D50KS.

**Таблица 1. Сравнительные показатели работы станков СБШ-250МН и Sandvik D50KS за шесть месяцев 2020 года на бурении технологических скважин**

Показатели	Всего	Инвентарные номера станка СБШ				Средние показатели по станкам	
		352	350	347	345	СБШ	Sandvik
Срок службы станков, лет	-	11	13	18	19	-	1
Набурено: <u>м</u>	105640	21379	18105	12527	18053	70044	35596
%	100	20,9	17,1	11,9	17,1	66,3	33,7
В том числе: наклонное бурение (в числителе - в м; в знаменателе - в %):	24834 23,5	3790 17,7	5924 32,7	2602 20,8	4007 22,2	16323 23,3	8511 23,9
Набурено по категориям пород (в числителе - в м; в знаменателе - в %):							
15 категории	44562 42,2	8230 38,5	9308 51,4	3662 29,2	10077 55,8	31277 44,7	13285 37,3
16 категории	40811 38,6	10061 47,1	5890 32,5	5539 44,2	4193 23,2	25683 36,7	15128 42,5
17 категории	20287 19,2	3088 14,4	2907 16,1	3326 26,6	3783 21,0	13104 18,7	7183 20,2
Календарное время, ч	21840	4368	4368	4368	4368	17472	4368
Отработано, всего, ч	13463	2949	2641	1898	2660	10148	3315
В том числе: на чистке скважин	522	53	171	116	182	522	-
на бурении	12941	2896	2470	1782	2478	9626	3315
Использование календарного времени, %	59,3	66,3	56,5	40,8	56,7	55,1	75,9
Сменная производительность, м/смену	94,2	86,7	82,3	67,1	80,6	82,8	128,4

Для расчета механической скорости бурения импортными станками с дизельным приводом предложена эмпирическая формула, установленная по данным горных предприятий США [7]. Механическая скорость определяется величиной усилия, приходящегося на единицу диаметра долота, частотой вращения долота и прочностными свойствами пород (пределом прочности на сжатие).

$$v_m = 5,4 \cdot 10^{-5} (k_{пр} - 28 \lg \sigma_{сж}) P_{упр}, \quad (1)$$

где  $v_m$  – механическая скорость бурения, м/ч;  $k_{пр}$  – коэффициент, учитывающий прочность пород на сжатие (табл. 2);  $\sigma_{сж}$  – предел прочности пород на сжатие, МПа;  $P_y$  – величина осевого усилия приходящегося на единицу диаметра долота, кг/мм;  $n_p$  – частота вращения долота, мин<sup>-1</sup>.



**Таблица 2. Значения коэффициента  $k_{пр}$**

$\sigma_{сж}$ , МПа	> 207	150-207	103-150	69-103	34-69	7-34	<7
$k_{пр}$	100	120	150	267	295	355	450

Расчетные значения механической скорости бурения станками Sandvik D50KS в условиях комбината ПАО «Ураласбест» приведены на Рисунок 2. Кроме того, на Рисунок 2 представлены экспериментальные значения механической скорости бурения, полученные в результате хронометражных наблюдений за работой станка 17.10.2020 г. Установлена высокая сходимость расчетных и экспериментальных данных.



Рисунок 2. Расчетная зависимость механической скорости бурения станков Sandvik D50KS ( $v_m$ ) от крепости горных пород (f) в условиях ПАО «Ураласбест»;  $\Delta$  – экспериментальные данные

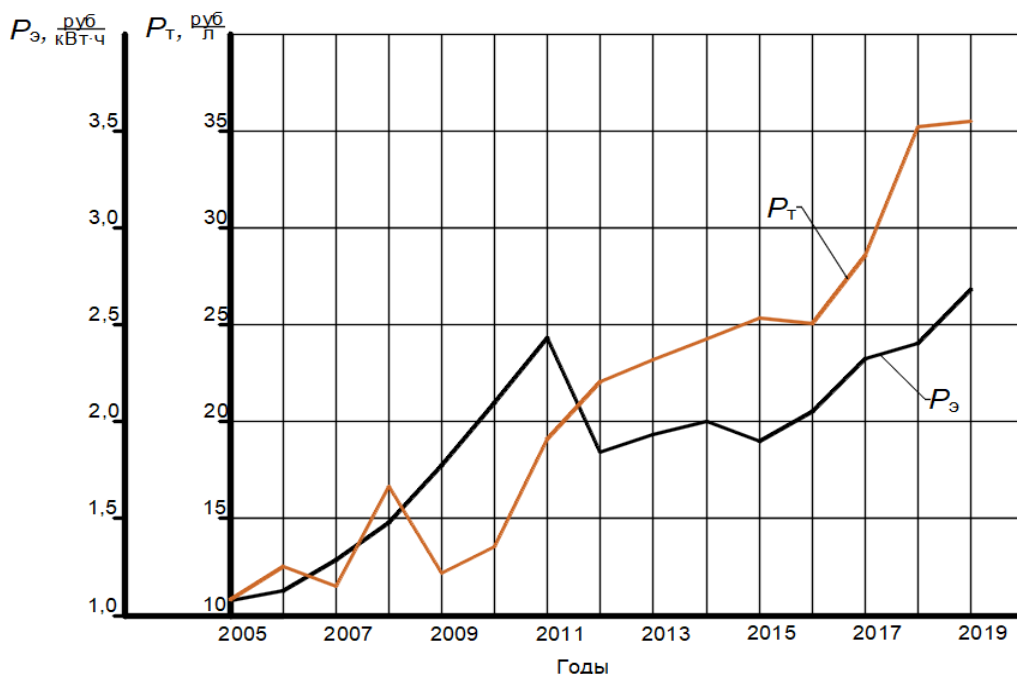
В табл. 3 приведена калькуляция себестоимости бурения станками СБШ-250МН и Sandvik D50KS за 2019 год и 6 месяцев 2020 года.

**Таблица 3. Калькуляция себестоимости бурения (руб/пог. м) станками СБШ-250МН и Sandvik D50KS за 2019 год и 6 месяцев 2020 года**

Статьи затрат	2019 г.		2020 г.	
	СБШ	Sandvik	СБШ	Sandvik
Топливо (энергия на технологические цели)	54,26	205,20	58,00	228,99
Основная зарплата производственных рабочих	79,38	40,50	71,25	25,17
Отчисления на социальные нужды	26,54	13,24	24,60	8,29
Резерв на оплату отпусков	11,00	2,44	12,18	3,57
Страховые взносы на резерв	3,80	0,82	4,28	1,14
Общепроизводственные расходы	419,38	408,24	356,54	333,45
Общехозяйственные расходы	74,75	39,09	65,25	22,47
Производственная себестоимость	669,10	709,53	592,09	623,08
В %	100,00	106,00	100,00	105,20

Из приведенных данных видно, что основными факторами высокой себестоимости бурения импортными дизельными станками являются затраты на дизельное топливо (больше, чем в 4,5 раз, чем стоимость электроэнергии для СБШ).

На рис. 3 представлена динамика стоимости дизельного топлива и электроэнергии на комбинате ПАО «Ураласбест» с 2005 по 2019 гг. За указанный период стоимость дизтоплива увеличилась в 3,3 раза, а стоимость электроэнергии в 2,5 раза.



**Рисунок 3. Динамика стоимости дизтоплива ( $P_{\text{T}}$ ) и электроэнергии ( $P_{\text{Э}}$ ) на комбинате ПАО «Ураласбест»**

Наиболее благоприятным периодом для приобретения и внедрения дизельной техники были 2009-2010 гг., когда соотношение между стоимостью дизтоплива и электроэнергией ( $\mu$ , кВт·ч/кг) составляло 7,8 – 8,2. К настоящему времени это соотношение на комбинате ПАО «Ураласбест» увеличилось до 16 кВт·ч/кг. Таким образом, эффективность внедрения дизельных станков в значительной степени будет определяться указанным соотношением.

Данные табл. 3 свидетельствуют об экономических перспективах дизельных станков Sandvik D50KS. При дальнейшем освоении и накоплении опыта эксплуатации себестоимость бурения станками Sandvik может быть ниже, чем себестоимость бурения СБШ. При высокой технологической эффективности указанных станков себестоимость бурения определяется, в основном, двумя факторами:

- соотношением между стоимостью дизтоплива и электроэнергии;
- курсом доллара.

Станки приобретались при курсе доллара 63,39 руб. на 28.06.2018 г., к 27.12.2020 г. курс вырос до 75,7 руб., т. е. в 1,2 раза. В то же время соотношение между стоимостью дизтоплива и электроэнергией в 2018 г. составляло 17,6 кВт·ч/кг, а к 2020 г. оно снизилось до 16 кВт·ч/кг, т. е. в 1,1 раза, что положительно сказалось на экономических показателях бурения станками Sandvik.

В последние годы в отечественной и зарубежной практике получает широкое распространение методика оценки и оптимизации параметров технологических процессов на основании физического принципа наименьшего действия. Принцип наименьшего действия относится к интегральным вариационным принципам механики, согласно которым из всех возможных движений механической системы истинным является то, для которого некоторая

физическая величина, называемая действием, имеет за время перемещения системы экстремум, обычно минимум. Наиболее распространенной формой представления принципа наименьшего действия является форма Гамильтона. В указанной форме принцип наименьшего действия утверждает, что из всех возможных траекторий перемещения истинной будет та, для которой действие, равное интегралу от разности между кинетической и потенциальной энергией, соответствующих этим траекториям, имеет минимальное значение. Принцип Гамильтона в интегральной форме широко используется не только в механике, но и в других областях техники и промышленных технологий [8, 9]. С определенными допущениями этот принцип можно распространить на буровые работы в карьерах. В этом случае действие – это физическая величина, представляющая собой произведение количества энергии, расходуемое на бурение горных пород, и времени бурения.

Введенное нами понятие удельное действие ( $D$ ) представляет собой произведение затрат энергии на разрушение  $1 \text{ м}^3$  пород при бурении и времени бурения этого объема. Удельное действие является комплексным физическим показателем, увязывающим энергоемкость и производительность буровых станков.

Можно записать

$$D = \omega_{y,t} t, \quad (2)$$

где  $D$  – удельное действие,  $\text{кг}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ;  $\omega_{y,t}$  – удельный расход условного топлива на разрушение  $1 \text{ м}^3$  пород при бурении,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t$  – время разрушения (бурения)  $1 \text{ м}^3$  пород, ч.

В отечественной практике в качестве условного топлива используется так называемый угольный эквивалент –  $7000 \text{ ккал}$  ( $29,3 \text{ МДж}$ ) – теплота, которая выделяется при сгорании  $1 \text{ т}$  высококачественного угля.

В соответствии с этим

$$\omega_{y,t} = \omega_t k_t, \quad (3)$$

$$\omega_{y,t} = \omega_\varepsilon k_\varepsilon, \quad (4)$$

где  $\omega_t$  – удельный расход дизельного топлива на бурение,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $k_t$  – коэффициент, учитывающий разницу удельной теплоты сгорания дизельного и условного топлива ( $k_t = 1,437$ );  $\omega_\varepsilon$  – удельный расход электроэнергии на бурение,  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ;  $k_\varepsilon$  – показатель, учитывающий затраты условного топлива на получение  $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  электроэнергии,  $\text{г}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  ( $k_\varepsilon = 397 \text{ г}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ ).

В табл. 4 приведено сравнение станков СБШ-250МНА-32 и дизельных станков Sandvik D50KS по указанному критерию на комбинате ПАО «Ураласбест».

В качестве исходных данных использованы результаты приборных замеров расхода дизтоплива и технической скорости бурения станками Sandvik D50KS № 354 в ноябре 2020 г. на породах 16 категории буримости. Скорость бурения составила  $22,0 \text{ м}/\text{ч}$ , расход дизтоплива –  $6,0 \text{ л}/\text{пог. м}$  ( $5,06 \text{ кг}/\text{пог. м}$ ). По станкам СБШ использованы статистические данные многолетних наблюдений при бурении в аналогичных породах по категории буримости. Установлено, что удельная энергоемкость бурения  $1 \text{ пог. м}$  в единицах условного топлива у отечественных и импортных станков находится на одном уровне ( $7,16\text{--}7,27 \text{ кг у.т}/\text{пог. м}$ ).

По показателю удельной энергоемкости на  $1 \text{ м}^3$  разрушенной горной массы импортные станки уступают отечественным. Отечественные станки на  $20 \%$  экономичнее. Вместе с тем по результирующему показателю «удельное действие» дизельные станки Sandvik на  $41 \%$  эффективнее станков СБШ вследствие более высокой скорости бурения. Причиной этому являются конструктивные преимущества станков Sandvik, заключающиеся в большем коэффициенте полезного использования энергии на разрушение горных пород при бурении, что требует дополнительных исследований.

**Таблица 4. Показатели эффективности различных станков шарошечного бурения на карьерах ПАО «Ураласбест»**

Показатели	Модель станка	
	СБШ-МНА-32	Sandvik D50KS
Категория пород по буримости	16	16
Диаметр долота $d_d$ , мм	250,8	229
Диаметр скважин $d_c$ , мм	263,3	240,4
Скорость бурения $v$ :		
линейная, пог. м/ч	8,7	22,0
объемная, м <sup>3</sup> /ч	1,89	3,98
Время разрушения (бурения) 1 м <sup>3</sup> породы $t$ , ч	0,53	0,25
Удельный расход электроэнергии $\omega_э$ :		
кВт·ч/пог. м	18,3	–
кВт·ч/ м <sup>3</sup>	83,3	–
Удельный расход дизтоплива $\omega_t$ :		
кг/пог. м	–	5,06
кг/ м <sup>3</sup>	–	27,96
Удельный расход условного топлива, $\omega_{у.т.}$ :		
кг/пог. м		
%	7,16/100	7,27/101,5
кг/м <sup>3</sup>		
%	33,3/100	40,18/120,6
Удельное действие $D = \omega_{у.т.} t$ , кг·ч/м <sup>3</sup>	17,6/100	10,04/58,9
%		

Из приведенных расчетов видно, что экономическая оценка может не совпадать с оценкой по физическому критерию удельное действие. Однако, это свидетельствует в первую очередь о несовершенстве ценообразования на энергоресурсы (электроэнергию и дизтопливо). Современные исследования утверждает, что экономическая оценка должна стремиться к совпадению с оценкой по удельному действию, так как оценка по удельному действию является физической и наиболее объективной.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о перспективности станков Sandvik при эксплуатации в условиях ПАО «Ураласбест».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котяшев А.А., Корнилков М.В., Русских А.П. Изучение и оценка структурных изменений при взрывном разрушение скальных массивов в динамике развития асбестовых карьеров //Изв. вузов. Горный журнал. 2017, № 6. С. 17–23.
2. Анистратов К.Ю., Донченко Т.В., Опанасенко Т.В., Строгий И.Б. Анализ рынка буровых станков для открытых горных работ горнодобывающих предприятий России //Горная промышленность. 2018. № 2 (138). С. 84- 89.
3. Шигин А.О. Адаптивный вращательно-подающий механизм бурового станка для снижения непрогнозируемых нагрузок при бурении сложноструктурных пород //Горный журнал. 2013. № 7. С.79 – 83.
4. Выбор и рациональная эксплуатации буровых инструментов и станков на карьерах: монография / Под общ. ред. В.Д. Буткина, А.В. Гилева. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2010. 236 с.

5. Мальгин О.Н., Рубцов С.К., Шеметов П.А., Шлыков А.Г. Совершенствование технологических процессов буровзрывных работ на открытых горных работах. Ташкент: ФАН, 2003. 199 с.
6. Ржевский В.В. Открытые горные работы: Производственные процессы: учебник. – 7-е изд. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2010. 512 с.
7. W. Hustrulid, M. Kuchta and R. Martin Open Pit Mine planning & design Volumt 1 – fundamentals. © 2013 by Taylor & Francis Group.LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group an Informa business. P. 88-95.
8. Планк М. Единство физической картины мира. М.: Наука, 1966. 288 с.
9. Веретенников В.Г., Сеницын В.А. Метод переменного действия. 2-е изд., исправл. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. С. 272.

УДК 622.2

## ОПЫТ ПРОФИЛАКТИКИ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ

БАИЗБАЕВ М. Б.<sup>1</sup>, КАЙНАЗАРОВ А. С.<sup>1</sup>, КАЙНАЗАРОВА А. С.<sup>1</sup>, МАТАЕВ А. К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Экибастузский инженерно-технический институт имени академика К. Сатпаева,

<sup>2</sup>НАО Карагандинский технический университет, Республика Казахстан

**Аннотация.** На открытых горных работах (разрезах) основными объектами самовозгорания являются угольные штабеля, породно – угольные отвалы, угольные уступы и склады готового к отправке угля. Явление самовозгорания угля приносит большие экономические затраты на экологию, потери запасов и создаёт неблагоприятные условия для работы предприятия.

**Ключевые слова:** Самовозгорание угля и горючих сланцев, профилактика эндогенных пожаров, самонагревания и возгорания углей, угольный отвал и штабель, угольный разрез.

## EXPERIENCE IN THE PREVENTION OF ENDOGENOUS FIRES AT COAL MINES

BAIZBAYEV M. B.<sup>1</sup>, KAINAZAROV A. S.<sup>1</sup>, KAINAZAROVA A. S.<sup>1</sup>, MATAEV A. K.<sup>2</sup>

**Abstract.** In open-pit mining operations (sections), the main objects of spontaneous combustion are coal stacks, rock-coal dumps, coal ledges and warehouses of ready-to-ship coal. The phenomenon of spontaneous combustion of coal brings large economic costs to the environment, losses of reserves and creates unfavorable conditions for the operation of the enterprise.

**Keywords:** Spontaneous combustion of coal and oil shale, prevention of endogenous fires, self-heating and ignition of coals, coal dump and stack, coal mine.

Проблема самовозгорания угля повсеместно существует во всём мире. На открытых горных работах (разрезах) основными объектами самовозгорания являются угольные штабеля, породно – угольные отвалы, угольные уступы и склады готового к отправке угля. Явление самовозгорания угля приносит большие экономические затраты на экологию, потери запасов и создаёт неблагоприятные условия для работы предприятия. Что касается открытых горных работ, то тут явление самовозгорания угля и углесодержащих пород носит массовый локальный характер, благодаря обнажению больших площадей угленосной толщи и свободного доступа кислорода в них. Задача по предотвращению и недопущения

самонагрева и последующего возгорания угля заключается в разработке комплекса профилактических мер.

Опыт Российской Федерации на примере месторождений СУЭЖа и Сибири показывает, что эффективность пожаротушения зависит прежде всего от временного фактора, то есть от инкубационного периода самовозгорания углей, а так же от климатических условий местности. Все эти факторы должны быть учтены при формировании внутренних и породно – угольных отвалов, а также угольных штабелей на участках погрузки.

Основу исследования по борьбе с самовозгоранием угля на постсоветском пространстве заложил академик Скочинский А.А. Именно он ввёл впервые понятие «антипироген», как средство для локализации эндогенных пожаров. Масштабные исследования показали, что причины самонагрева угля зависят не только от химических, а скорее от физико – химических свойств угля, т.к. огромное значение имеют такие показатели, как пористость угля, угленосность, зольность, от влажности, скорости и направления господствующих в районе ветров.

Изучая опыт европейских стран, на примере Германии, замечается тенденция использования в пожаротушении композитных и полимерных материалов (изолирующих смол, твердеющих и пленкообразующих составов, беведоловых смол, изолирующих гелей) на смену ранее известным антипирогенным составам.

Однако не всегда традиционные способы борьбы с самовозгоранием угля имеют одинаковый эффект на различных предприятиях с разными климатическими условиями и петрографическим составом углей. К примеру применение антипирогенного состава с участием хлора (хлориды) в некоторых случаях оказывают положительный эффект по снижению риска самовозгорания угля, в некоторых случаях нейтральный, а в некоторых случаях обратный эффект.

Проблема самовозгорания углей на производстве имеет глобальное экономическое значение, т.к. задымление и выделению производных газов в процессе горения и тления угля, в большой степени наносят вред окружающей среде и экологии данной местности. Нарушаются экологическое состояние рабочих мест на производстве, ухудшается видимость, атмосфера становится порой непригодной для дыхания. Второй немаловажный фактор – это потери связанные с эндогенными пожарами на разрезах. К примеру опубликованные в статье горно-технического журнала «Горный вестник» данные, сообщают нам в среднем о 7-8 процентах потерь угля из за эндогенных пожаров на разрезах России.

Становится ясно, что основными мерами по борьбе с самовозгоранием угля, является недопущение его самонагрева и последующего возгорания, то есть – профилактика эндогенных пожаров.

Опыт по профилактики эндогенных пожаров в основном принадлежит странам Западной Европы, США и Канады. Проанализировав разные источники по данной тематике, следует выделить основные меры по профилактике эндогенных пожаров:

- недопущение попадания углесодержащих веществ в породные отвалы, внесение коррективов в технологию отвалообразования, зачистка рабочей зоны экскаватора от просыпанного угля
- обработка объектов профилактики антипирогенными составами в сроки, учитывающие инкубационный период самовозгорания угля
- полный петрографический и химический анализ проб угля на проблемных участках
- недопущения крупных скоплений разрыхленного угля на открытом воздухе
- технически верная технология формирования угольных штабелей, учитывающая скорость и направление господствующих ветров, рекомендованную высоту штабеля (не более 15 м) и увеличению угла откоса.
- использование хладогентов для охлаждения температуры угля непосредственно в угольном массиве

- осуществлять мониторинг проблемных зон, производить измерение температуры с помощью теплоизмерительных зондов и тепловизеров.

Наряду с вышеизложенным, для профилактики пожаров там разработаны и используются новые материалы. К ним относятся: цементная смесь «Текбленд», карбофиловая смола, твердеющая пена, клеевые смеси «Текфон» и «Гефлекс» и др.

Как показывает анализ зарубежных источников, на пожароопасность внешних и внутренних отвалов влияют их геометрические параметры. К ним относятся: крутые откосы, высота яруса отвала, резкие выступы и переломы форм, особенность наветренной стороны, неровная («холмистая») поверхность площади самого отвала и др.

Собранная информация по странам СНГ (Россия, Узбекистан, Украина, Казахстан и Киргизия) показывает, что, например, на Коркинском разрезе в Челябинской области вся внешняя и внутренняя вскрыша последние 20 лет складывается во внутренние отвалы в котловане отработанной части разреза. На угольных разрезах Восточной Сибири Нерюнгренский, Шароорский, Комсомольский и др. имеются как внешние, так и внутренние отвалы. На Нерюнгренском разрезе к 2015 г. полностью перешли к складированию пород вскрыши во внутренние отвалы, т.к. на протяжении ряда последних лет даже редкие пожары породугольной массы на внешних отвалах, приводили к угрозе распространения огня на лесные массивы тайги, вблизи границ земельного отвода разреза.

Заслуживает отдельного рассмотрения вопрос технологии формирования пожаробезопасных отвалов на разрезах ТЭК России. Принимая во внимание, что интенсивность протекания процесса самовозгорания отвалов зависит от целого ряда факторов, там, прежде всего, было изучено влияние геометрической формы, размера и объема отвала.

Установлено, что на отвалах округлой формы с пологими фронтальными и боковыми откосами самовозгорание углистых пород происходит крайне редко. Выполаживание откосов отвала от угла естественного откоса до  $20\div 25^\circ$  снижает воздухопроницаемость, за счет уменьшения фракционного состава пород в нижней части у подошвы отвала. На пологом отвале не происходит скатывание (сегрегация) крупных кусков углепородной массы и в то же время происходит равномерное распределение и заполнение мелкими фракциями межкускового пространства по периметру подошвы отвала.

Что характерно для российских разрезов, то практически на всех их на период зимы, или к зиме отсыпаются рядом с внутренними отвалами склады, с запасом в объеме от 20 до 50 тыс.м<sup>3</sup> инертной породы по своему гранулометрическому и фракционному составу пригодной для изоляции углесодержащих пород на отвалах. Такие «склады» практикуются уже многие годы на разрезе «Восточный» в Экибастузе, а в последние годы запас инертной породы делают на Майкубенском и отдельных разрезах Карагандинской области (Республика Казахстан).

В Узбекистане действует один крупный разрез (4-5 млн. т угля в год) Ангренский, в 130 км от г. Ташкента. Там вся внешняя и внутренняя вскрыша многие десятилетия (с 70-80 гг. прошлого века) складывается в старое русло реки Ангренка, протяженностью 15 км, шириной от 50 до 150 м.

Пожары от самовозгорания углепородной массы там возникают крайне редко, т.к. следом за отвалообразованием проводится рекультивация поверхности.

Кроме давно известных и широко распространенных способов изоляции пожароопасных участков на отвалах инертными породами, в теплое время года на перечисленных выше разрезах находили эпизодическое применение водные растворы антипирогенов: 5% известковое «молоко», заиловочная суспензия, 3% водный раствор жидкого стекла, ПАВ (поверхностно-активные вещества), различные смачиватели и гелеобразующий состав. По различным технологическим, организационным и экономическим причинам широкого применения они не нашли.

В то же время на тех угольных разрезах, где имеется постоянный штат работников при участках профработ, например, разрез «Восточный» в Экибастузе (Казахстан), Коркинский в России и в странах дальнего зарубежья на всех разрезах, там пожары и на отвалах и на добычных участках возникают крайне редко.

Резюмируя все изложенное, необходимо отметить, что профилактика и борьба с эндогенными пожарами на угольных разрезах может быть успешной только при неукоснительном соблюдении технологических параметров добычи угля и отвалообразования, а также путем применения новейших способов и средств профилактики эндогенных пожаров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мостипака И.А., Александров В.А. и др. Разработка предложений по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на разрезе «Майкубенский» и Восточном резервном участке Шоптыкольского месторождения. Алматы, «Безопасность в промышленности», 2010, № 2.
2. Николин В.И., Малеев Н.В., Явруян А.Ю. Новая гипотеза природы самовозгорания углей, основанная на развитии деформаций генетического возврата при разгрузке. Горноспасательное дело; Сб. научн. тр. / НИИГД.-Донецк, 2004. – С. 160-167.

УДК 662.271

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

ЯКОНОВСКАЯ Т. Б., ЖИГУЛЬСКАЯ А. И.

Тверской государственной технической университет

**Аннотация.** В статье уделено внимание классификациям существующих технологий добычи торфа. Рассматриваются проблемы технологий освоения и добычи торфа. Приводится принципиально новый подход к проектированию торфяных предприятий с учетом современных условий и требований развития торфяной отрасли. Авторами разработан алгоритм выбора технологии разработки торфяного месторождения с учетом неполной геологической информации о торфяном массиве, а также приведено описание «универсальной» технологии освоения торфяной залежи.

**Ключевые слова:** торфяное месторождение, технологии освоения и добычи торфа, неполная геологическая информация, универсальная технология, глубокое и сплошное фрезерование.

#### IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF DEVELOPMENT OF A PEAT DEPOSIT

YAKONOVSKAYA T. B., ZHIGULSKAYA A. I.

Tver State Technical University

**Abstract.** The article focuses on the classifications of existing peat extraction technologies. The problems of technologies for the development and extraction of peat are considered. A fundamentally new approach to the design of peat enterprises, taking into account modern conditions and requirements for the development of the peat industry, is presented. The authors have developed an algorithm for choosing a technology for the development of a peat deposit, taking into account incomplete geological information about the peat massif, and also a description of the "universal" technology for the development of a peat deposit is given.



**Keywords:** peat deposit, technologies for the development and extraction of peat, incomplete geological information, universal technology, deep and continuous milling.

Современные тенденции развития энергетики и экологической безопасности в России предусматривают рост значения возобновляемых источников энергии в обеспечении энергетических потребностей общества. Однако, основной проблемой в этой сфере является недостаточное развитие малой энергетики и низкая вовлеченность в энергобалансы местных источников энергии регионального и локального значения [1-5]. Инновационная и научно-техническая политика в энергетической стратегии до 2035 г. предполагает использование технологии производства синтетического топлива из торфа и биомассы, а так же расширение производства и использования новых видов топлива, получаемых из различных видов биомассы.

Для большинства регионов России именно запасы торфа являются дешевым и экологически чистым источником энергоресурсов. Вовлечение торфяных и торфодревесных ресурсов в энергобаланс регионов позволит существенно снизить расходы населения по услугам ЖКХ в сфере теплоснабжения и повысить энергетическую безопасность регионов и их независимость от привозного и дорогого топлива. Однако, в региональных энергетических балансах местные энергоресурсы слабо представлены, так доля торфа в топливно-энергетическом балансе Тверской области с 2010 г. составляла 1,5 процента и ежегодно снижается (в 2020 г. ТЭЦ региона прекратили использовать торф в качестве резервного топлива), доли прочих видов твердого топлива, включая различные отходы, и дрова для отопления находятся в диапазоне от 1 до 2 %. По экологическим характеристикам торф и торфодревесные ресурсы торфяной залежи являются одними из наиболее важных и перспективных местных источников топлива. Но существующие технологии добычи этого местного ресурса давно устарели и не соответствуют современным экономическим реалиям [6-10].

В современной научной литературе известно достаточно большое (порядка 100) количество технологий разработки торфяных месторождений. Все эти технологии отличаются степенью механизации операций технологического цикла добычи торфа, способами добычи, видом и степенью переработки торфяного сырья и др. Авторы, с позиций системного подхода, предлагают классифицировать технологии добычи торфа по следующим признакам [11-15]:

1. По направлению фронта торфодобывчных работ – карьерно-глубинные (вертикальные); послойно-поверхностные (горизонтальные);
2. По использованию водных ресурсов в процессе добычи торфа – с использованием воды (гидроспособ (большой и малый) и криогенное оттаивание торфяной залежи); без использования воды (применяется операция осушения торфяной залежи);
3. По виду экскавируемого торфа – технологии кускового торфа; фрезерной крошки (расстил); гранулированного торфа; резного формованного; гидроторфа (торфяная пульпа);
4. По степени переработки торфа – неглубокая механическая (в полевых условиях); глубокая термо-, био-химическая (в заводских условиях);
5. По использованию энергетических ресурсов для добычи торфа – электрофицированная; дизельная; комбинированная;
6. По масштабу объемов добычи торфа – крупномасштабная (крупнообъемная) и мелкомасштабная (малообъемная).

В период индустриального развития торфяной отрасли часто можно было наблюдать картину, когда в границах одного торфяного карьера (горного отвода) одновременно использовались технологии добычи торфа гидрособом, способом фрезерования и технологии получения кускового торфа. При этом торфопредприятие отличалось наличием обширного парка технологических машин работающих на огромных территориях торфяного массива. Но к концу 1970-х г. повсеместно на торфопредприятиях стали использовать технологию

послойно-поверхностного способа добычи торфа – фрезерование торфяной залежи с получением расстила фрезерной крошки различной толщины. Этот способ позволял резко увеличить объемы добычи качественного и дешевого торфа как топливного, так и сельскохозяйственного назначения и лучше использовал благоприятные дни сезона добычи за счет укороченных производственных циклов. Однако, экономическая эффективность использования такого способа сильно зависит от [16-18]:

1. Погодных условий сезона добычи;
2. Горно-геологических условий отработки торфяника;
3. Качества подготовки торфяного месторождения, а именно от операции экскавации погребенной древесины. Полученную пнёвую древесину складировали в отвал за пределами торфяного месторождения или на внутренних суходольных участках, но чаще всего (в целях снижения риска пажороопасной ситуации) использовали для производства низкосортных топливных дров [19].

На современном этапе экономического развития России торфодобывающий сектор горной промышленности функционирует в кризисных условиях, которые усугубляются недостоверной и ограниченной геологической информацией. Вся известная геологическая информация по имеющимся торфяным ресурсам России содержится в «Местных торфяных фондах» датируемых 1950 – 1955 – 1980 – 2000 годами. В настоящее время, большая часть торфяных месторождений с благоприятными горно-геологическими и производственно-экономическими условиями выработана. Следовательно, дальнейшее развитие отрасли сдерживается неблагоприятными экономическими условиями, а также недостаточной геологической изученностью месторождений, их удаленностью от рынков сбыта и отсутствием подъездных путей. Такие месторождения изучены маршрутно и информация по ним скудная, к тому же в торфяных фондах часто встречаются противоречивые геологические данные по одним и тем же месторождениям. В этой связи, при принятии решения о разработке торфяного месторождения возникают следующие специфические риски:

1. Геологический риск – возникает при оценке объемов и качества запасов торфяного сырья в торфяной залежи посредством моделирования торфяного массива. Такая оценка проводится в результате торфоисследовательских работ. На этом этапе геологи определяют тип, группу, вид, степень разложения, зольность, пнистость, глубину и агрохимический состав торфа. При наличии неопределенности геологической информации задача сводится к тому чтобы в случае отсутствия достаточных запасов торфа определенного качества минимизировать капиталовложения, а в случае их наличия – обеспечить достаточную степень геологической изученности торфяного массива [20-23].

2. Технологический риск – возникает при ограниченности геологической информации и связан с неправильным выбором рационального способа и технологии разработки торфяного месторождения. Это приводит к ошибкам в проектировании структуры парка технологических машин и оборудования, что, в свою очередь, негативно отражается на эффективности технологии сервисного сопровождения торфодобывающей техники.

3. Экономический риск – возникает на стадии проектирования торфодобывающего производства и напрямую связан с неточностью геологической информации. Так, например, известно, что себестоимость торфяной продукции и величина первоначальных инвестиций меньше на залежах эвтрофного (низинного) типа торфа, чем на олиготрофных (верховых) торфах. То же можно сказать о пнистости месторождения, рост пнистости на 1% приводит к увеличению расходов на добычу торфа на 10% на любых типах торфяной залежи.

Таким образом, риск недостоверной и ограниченной геологической информации о торфяном месторождении является основополагающим, базовым для всех остальных видов риска. Геологическая неопределенность в торфоисследовательских работах проявляется в пространственной изменчивости качественных характеристик торфа в залежи, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Кроме того, в результате процесса

осушения месторождения торфа взаимодействует с воздухом и окисляется, по этой причине качественные характеристики торфяного сырья также меняются. В связи с этим, особо важную роль играют методы принятия решений о разработке торфяных месторождений в условиях ограниченной геологической информации и совершенствование технологии добычи торфа с учетом следующих семи принципов:

1. Технология должна быть независимой от погодных условий;
2. Технология должна быть гибкой и адаптироваться под горно-геологические условия месторождения;
3. Технология должна быть универсальной и использовать универсальное, мобильное оборудование, что позволит снизить капиталовложения;
4. Технология должна учитывать изменчивость рыночной конъюнктуры, а значит должна обладать селективным характером и изменять объемы добычи торфа;
5. Технология должна быть экологически и экономически рациональной.
6. Технология должна иметь возможность цифровой трансформации процессов освоения и добычи торфа.
7. Технология выбирается с учетом ограниченной геологической информации.

Согласно разработанным принципам, авторы предлагают использовать как базовую геотехнологию глубокого фрезерования торфозалежи вместе с погребенными горизонтами древесных ресурсов и мелкой древесно-кустарниковой растительностью, которая позволяет сократить количество подготовительных и добычных операций. Суть технологии заключается в следующем:

1. В условиях мелколесья машина с фрезой глубокого и сплошного фрезерования (шнек-фреза) проводит обработку торфяного участка с заглублением фрезы на глубину до 30см. при этом происходит перемешивание торфа, очеса и горизонта погребенной древесины (рис. 1);

2. Уборка полученной торфодревесной массы. При этом, если по технологии производства готовой торфопродукции требуется только чистый торф без примесей, то путем сепарации производится разделение торфодревесной массы на составляющие (торф и древесную щепу).

3. Проводить операцию сепарирования можно как в полевых условиях, так и в заводских. Торфодревесная масса сама по себе является сырьем для большого количества прессованной продукции.

Изначально технология сплошного и глубокого фрезерования рассматривалась как способ обогащения некондиционных по степени разложения торфяных залежей и использовалась редко, а потому не совершенствовалась. Авторы предлагают другую точку зрения на эту технологию, которая заключается в универсальности ее использования и разработке ее модификаций (табл. 1). Эта технология является фундаментальной для разработки на ее основе «гибридных» и селективных способов добычи торфа.

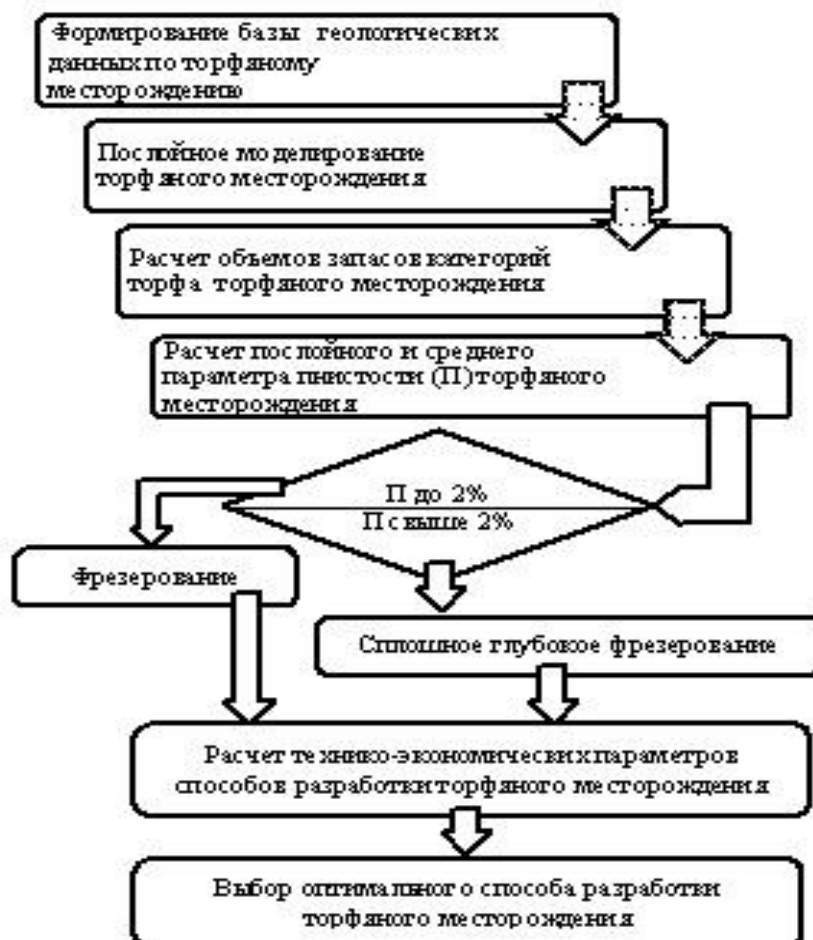
**Таблица 1. Модификации технологии глубокого и сплошного фрезерования (разработано авторами)**

Название модификации	Марки основного добывающего оборудования
<b>1. Горизонтальный фронт торфодобывчных работ (получение торфодревесного сырья с возможной сепарацией)</b>	
Послойное глубокое фрезерование (от 25 до 70 см)	почвенная фреза AgriWorld FTCD-35; универсальная лесная фреза STARSOIL; Multiforst универсальная фреза (ротатор); МПГ-42 (с модификациями)
<b>2. Вертикальный фронт торфодобывчных работ (получение торфодревесного сырья с возможной сепарацией)</b>	
Скважинная добыча (до 70 см)	Вертикальная шнек-фреза, дисковая фреза ДФМ-ГПИ-1, ДФМ-ГПИ-1А (до 1,5 м); МТП-39
Гидроскважинная добыча (с подачей воды на всю глубину торфяного массива)	Вертикальная шнек-фреза с подачей воды из канала осушительной сети
Траншейная добыча (на всю глубину торфяного массива)	Траншейный роторный экскаватор ЭТР-134
<b>3. Гибридная технология (раздельная выемка чистого торфа и торфодревесного сырья)</b>	
Традиционное фрезерование (до 3 см) + послойное глубокое фрезерование	1. Слои торфа (без погребенной древесины) фрезеруются традиционными фрезерными барабанами серий БФТ, МТФ 2. Слои торфа с погребенной древесиной фрезеруются на всю глубину с использованием машин технологии послойного глубокого фрезерования
Скважинная (щелевая) + традиционное фрезерование (до 3 см)	1. Проводится операция корчевки на глубину до 70 см; 2. Используется дисковая фреза, которая заглубляется в торфяной массив на глубину до 70 см, полученная торфяная масса направляется в формователь откуда, затем на поле выстилается кусковой торф; 3. Когда до минерального дна остается менее 1 м торфяной залежи, то используется традиционное фрезерование с получением расстила торфяной крошки до 3 см – машинами серий БФТ, МТФ
<b>4. Селективная технология</b>	
Геологогенетическая послойная выемка торфа (слои торфа соответствуют определенному торфообразующему фитоценозу)	Разрабатываются участки торфа разного по геолого-генетическому строению (используется машина глубокого фрезерования с горизонтальной или вертикальной фрезой) – модифицируется ходовая часть машины, которая позволяет совершать движение по заданной траектории (форме залегания генетического торфяного слоя)
Качественная послойная выемка торфа (слои торфа отличаются степенью разложения и зольностью)	Разрабатываются участки торфа разного по степени разложения и зольности (используется машина глубокого фрезерования с горизонтальной или вертикальной фрезой)



**Рисунок 1. Машина глубокого фрезерования торфяного месторождения**

Алгоритм выбора способа разработки торфяного месторождения представлен на рис. 2.



**Рисунок 2. Алгоритм принятия решения о выборе способа разработки торфяного месторождения**

Таким образом, для принятия решения о способе разработки торфяного месторождения можно не проводить дорогостоящих, детальных геологоразведочных работ, достаточно иметь данные по зондированию залежи на пнистость. Количество площадок по определению пнистости зависит от площади месторождения и от вида торфяного массива, при этом на этой же площади проводят и опробование залежи для определения ее типа (верховая, переходная, низинная).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яконовская Т.Б., Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И. [Проблемы добычи торфа в Тверском регионе](#) // Современные технологии и инновации: матер. IV Всерос. науч.-практ. конф., 19 марта 2020 г., Тверь / под общ. ред. Т.Б. Новиченковой. – Тверь: ТГТУ, 2020. С. 95-99.
2. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Зюзин Б.Ф. Вопросы инвестиционной привлекательности торфяной отрасли // Современное состояние экономических систем: экономика и управление: сб. науч. тр. Межд. науч. конф. , Тверь, 04-05 декабря 2018 г. / под общ. ред. Д.В. Розова, Г.Г. Скворцовой. –Тверь: СКФ-офис, 2018. С. 139-142.
3. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Зюзин Б.Ф. [Анализ правовой базы управления торфяной отраслью РФ](#) // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). 2014. № 7. С. 276-280.
4. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А. Технологический парк торфоразработок России: проблемы структуры и износа // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017: сб. науч. тр. межд. науч.-техн. конф. 23-24 марта 2017 г. Санкт-Петербург / науч. ред. В.В. Максаров, В.В. Габов. – СПб.: [Санкт-Петербургский горный университет](#), 2017. С. 42-46.
5. Макаренко Г.Л., Тимофеев А.Е., Яконовская Т.Б. [Перспективы комплексного освоения торфяных месторождений \(экологический, технологический и экономический аспекты\)](#) // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). 2010. № 10. С. 265-272.
6. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Зюзин Б.Ф. [Экономическая классификация способов разработки торфяного месторождения: рентный подход](#) // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). 2014. № 7. С. 318-323.
7. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. [Экономические и инженерные аспекты нового оборудования и технология комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения](#) [Текст] / Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). – Деп. в ГИАБ 30.01.2013, № 953/04-13
8. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А. [Оценка этапов жизненного цикла разработки торфяного месторождения](#) / Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: матер. Межд. науч. конф., посв. 215-летию со дня рожд. И. Домейко, 31 июля – 03 2017 г. Минск / под ред. А.К. Карабанова. – Минск: [Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси»](#) 2017. С. 196-199.
9. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. [Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения: учебное пособие](#) / Тверской государственный технический университет. – Тверь: ТГТУ, 2016. (2-е изд., перераб. и доп.), 160 с.
10. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. [Рента как элемент управления торфодобывающим производством \(на примере ООО ТЭК «Тверьрегионторф»\)](#) // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). 2021. № 3. С. 167-179.
11. Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I [Technical modernization as an element of technological safety of a peat mining enterprise \(for example «Tverregiontorf»\)](#) // IOP Conference Series:

- Earth and Environmental Science. International science and technology conference "Earth science". 2021. С. 032078.
12. Куликова Т.Б. [Оптимизация технологических показателей производства фрезерного торфа](#) // [Записки Горного института](#). 2004. Т. 159-2. С. 55-58.
  13. Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Зюзин Б.Ф., и др. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. док. Межд. науч. конф.: в 2-х томах., Минск, 14-17 сентября 2016 г. – Минск: Беларуская навука, 2016. С. 152-156.
  14. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Комплекс машин для добычи и переработки торфодревесного сырья // Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. тр. III Межд. науч.-практ. конф.: в 5 томах, 14-15 апреля 2015 г. Санкт-Петербург / под ред. В.В. Максарова. – СПб.: [Санкт-Петербургский горный университет](#) 2015. С. 76-79.
  15. Жигульская А.И., Шамбер О.В., Яконовская Т.Б., Оганесян А.С. Модернизация комплексов машин для ресурсосберегающих технологий добычи торфодревесного сырья // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 11-й Межд. конф. по проб. гор. пром., строит. и энерг., 05–06 ноября 2015 г., Тула / под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТГУ, 2015. С. 96.
  16. [Анализ эксплуатационных свойств торфяных машин и оборудования с целью выявления перспективных направлений их модернизации](#) / Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., и др. // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). 2015. № 1. С. 66-70.
  17. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А., Оганесян А.С. Особенности организации мобильного экспресс - сервиса торфодобывающей техники // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XV Межд. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», 20-21 апреля, 2017 г., Екатеринбург / под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. – Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 414-417.
  18. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С. Предпосылки организации кластера сервисного сопровождения торфодобывающей техники в РФ / Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XVIII межд. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», 02-03 апреля 2020 г., Екатеринбург / под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. – Екатеринбург: УГГУ, 2020. С. 325-328.
  19. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А. [Методология управления техническим состоянием торфодобывающих машин и оборудования на примере фрезерного барабана БФТ-9](#) / Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018: сб. тез. межд. науч.-практ. конф., 12-13 апреля 2018 г., Санкт-Петербург / под ред. В.В. Максарова. – СПб.: Санкт-петербургский горный университет, 2018. С. 105.
  20. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С. [Геотехнология создания искусственного месторождения торфодревесного сырья](#) // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 16-ой Межд. конф. по проб. гор. пром., строит. и энерг., 19-20 ноября 2020 г., Тула, Минск, Донецк / под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТГУ, 2020. С. 118-122.
  21. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С. [Обоснование рационального способа разработки торфяного месторождения в условиях ограниченной геологической информации](#) // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 16-ой Межд. конф. по проб. гор. пром., строит. и энерг., 19-20 ноября 2020 г., Тула, Минск, Донецк / под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТГУ, 2020. С. 60-66.
  22. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Сергеева А.С., Сувырин Е.А. [Влияние изменений горно-геологических условий освоения торфяного месторождения на конструкцию](#)

- [торфодобывающего оборудования](#) // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 16-ой Межд. конф. по проб. гор. пром., строит. и энерг., 19-20 ноября 2020 г., Тула, Минск, Донецк / под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТГУ, 2020. С. 97-103.
23. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Яконовский П.А. Оценка использования геофизического метода VLF для определения мощности торфяного месторождения // [Горные науки и технологии](#). 2020. Т. 5. № 3. С. 224-234.

УДК 662.271

## ОСОБЕННОСТИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ЯКОНОВСКАЯ Т. Б., ЖИГУЛЬСКАЯ А. И.

Тверской государственный технический университет

**Аннотация.** Одной из важнейших задач, имеющих первостепенное значение для проектирования торфодобывающего предприятия, является построение информационной модели торфяного массива. Эта модель должна адекватно отражать главные качественные характеристики торфяной залежи, промышленные запасы, категории сырья и ассортимент торфяной продукции. Модель позволяет обосновать наиболее целесообразное направление использования торфяных ресурсов на различных стадиях разработки торфяного месторождения, а также осуществить расчет объемов добычи торфа, выбор рациональной технологии и оборудования для добычи торфа, обосновать целесообразность селективной отработки торфяного месторождения.

**Ключевые слова:** торфяное месторождение, особенности моделирования, 3d моделирование, торфяная школа, ГИС-система.

## FEATURES OF 3D MODELING OF PEAT DEPOSITS

YAKONOVSKAYA T. B., ZHIGULSKAYA A. I.

Tver State Technical University

**Abstract.** One of the most important tasks of paramount importance for the design of a peat-mining enterprise is the construction of an information model of a peat massif. This model should adequately reflect the main qualitative characteristics of the peat deposit, industrial reserves, categories of raw materials and the range of peat products. The model makes it possible to substantiate the most expedient direction of the use of peat resources at various stages of development of a peat deposit, as well as to calculate the volumes of peat extraction, the choice of rational technology and equipment for peat extraction, to substantiate the feasibility of selective mining of a peat deposit.

**Keywords:** peat deposit, modeling features, 3d modeling, peat school, GIS system.

В «Прогнозе долгосрочного социально – экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года» в качестве одного из трендов инновационного развития экономики указано внедрение информационных технологий во все сферы национального хозяйства, в том числе, и в добывающую отрасль, которая является движущей силой и фундаментом долгосрочной экономической устойчивости. В связи с этим, при проектировании экономически эффективного, рационального и устойчивого развития добывающего сектора экономики все чаще используются многофункциональные и проблемно-ориентированные геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют



ускорить процесс принятия инженерно-экономических и организационно-управленческих решений [1-5].

Для проектирования различных производственных процессов на предприятиях добывающей отрасли при эксплуатации месторождений используется весьма разнообразное программное обеспечение. Но, несмотря на большой спектр ГИС в качестве главного их недостатка следует отметить их высокую стоимость. К тому же, использование таких систем для определенных условий конкретных добывающих предприятий требует их существенной доработки. Как правило, высокой ценой обладают многофункциональные и активно используемые ГИС системы, которые вступили в стадию поддержки разработанного набора функций. Такие ГИС-системы интегрированы в различные бизнес-процессы добывающих предприятий. В сегменте относительно дешевого программного обеспечения ГИС-системы обладают ограниченными функциями и не всегда отвечают требованиям конкретного добывающего предприятия.

В практике проектирования торфодобывающих предприятий чаще используется стандартный методический подход, разработанный в 1986 г. в котором прописаны нормы технологического проектирования предприятий по добыче торфа (ВНТП 19-86). Эти инструкции устарели и не отвечают современным условиям хозяйственной деятельности предприятий торфяного сектора добывающей промышленности. Так же следует отметить, наличие довольно большого несоответствия геологической информации о месторождениях и объемах торфяных запасов в «Торфяном фонде России» последний вариант, которого датируется 2000 г. [6-11].

Геоинформационный подход позволяет использовать большой объем различной исходной информации создавая условия для принятия экономически эффективных и технически целесообразных инженерных и управленческих решений. При этом снижается трудоемкость и повышается скорость подготовки данных для разработки информационных систем, что является условием для их практического использования. Поэтому при проектировании предприятия по добыче торфа первостепенное значение приобретают ГИС, которые позволяют разработать геологическую модель торфяного месторождения. Эта модель позволяет управлять запасами на стадиях жизненного цикла месторождения (поиск, разведка, разработка), а так же организует геологическое обеспечение разработки месторождений на стадиях промышленного освоения (проектирование схем экскавации и управление добычей).

В практике проектирования торфодобывающих предприятиях используется совокупность пакетов прикладных программ для широкого спектра горно-производственных и организационно-управленческих процессов: геологического исследования, горного планирования, маркшейдерии, технико-экономического обоснования и других. Такие пакеты программного обеспечения предназначены для автоматизации конкретных производственных, организационно-управленческих и инженерных задач, а их оценка производится в соответствии с тем, как они адаптируются для нужд конкретного торфяного производства [12-15]. При автоматизации проектирования торфодобывающего производства объектами геоматематического моделирования являются:

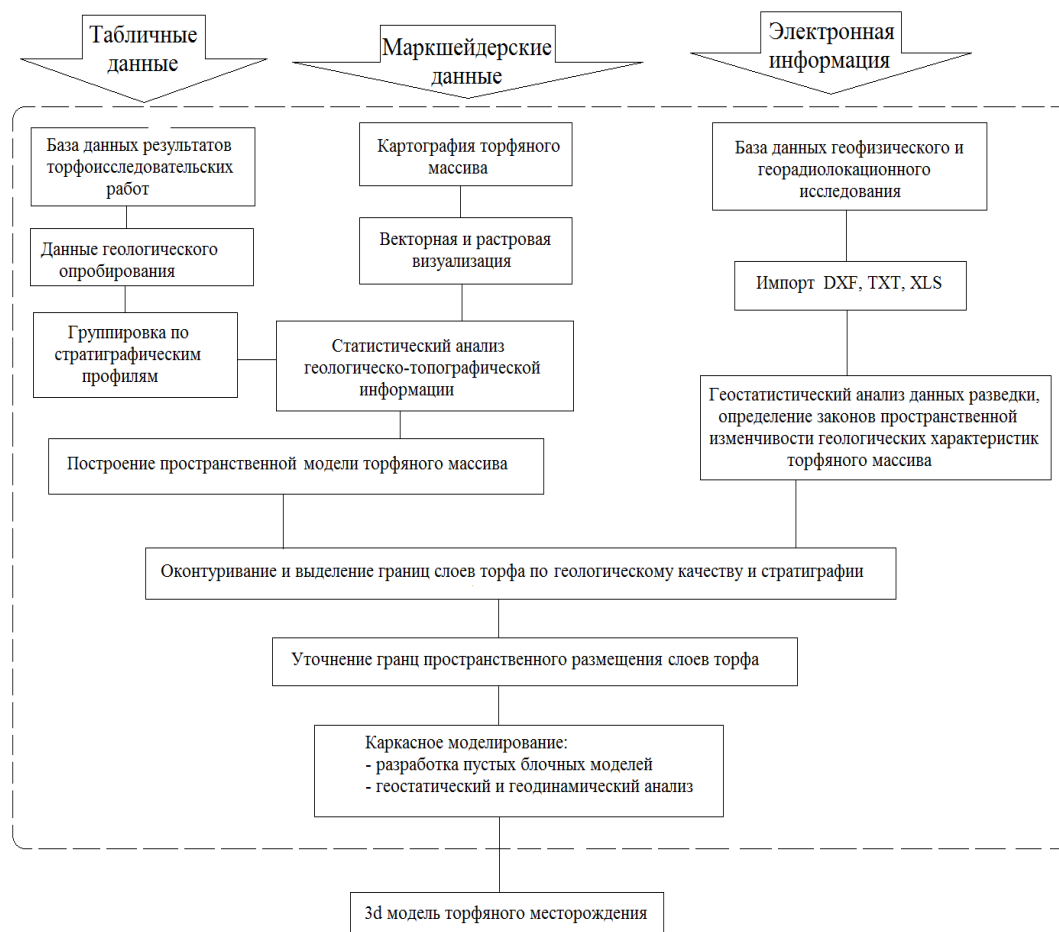
- торфяной массив, представляющий собой совокупность горизонталей поверхности, линий зондировочной сети, отметки уровня грунтовых вод, в пределах которых условно выделены контуры типов торфяной залежи;
- рельеф и абрис участка местности, в границах которого располагаются горный отвод и торфяной карьер;
- каналы осушительной и противопожарной сети;
- сеть технологических площадок, выработанные торфяные участки;
- отвалы древесных отходов, насыпи, отстойник, водохранилище и прочие техногенные образования, различные сооружения;
- транспортные коммуникации;

- зоны воздействия на окружающую среду;
- зоны ограничения за пределами, которых возникают различного рода нарушения лицензии на право разработки и т.д.

Источниками первичной исходной информации для геомоделирования объектов торфодобывающих производств служат геологические, топографические и гипсометрические планы, вертикальные и горизонтальные стратиграфические сечения, данные опробования геологоразведки, аэрофотосъемки. Этот блок инженерно-геологической информации следует правильно интерпретировать, что не всегда возможно грамотно описать математическим языком. Проще всего преобразовать в геоматематическую модель геологические планы и профили, однако следует учитывать их достоверность и точность. Точность может быть достигнута при комплексном использовании геологических планов и профилей с данными по качественным характеристикам торфа. Конфигурация рельефного поля торфяного массива представляет собой набор перепада высот изолиний горизонталей поверхности, т.е. карта местности с описанием суходольных участков. В процессе экскавации торфа (послойным или вертикальным (скважинным) способами) образуется выработанное пространство (торфяной карьер), расположенный между двумя топографическими поверхностями: естественная топографическая поверхность участка горного отвода; нарушенная поверхность в процессе добычи торфа [16-18].

Торфодобывающее производство имеет свои объективные особенности, которые следует учитывать при разработке модели торфяника, поэтому, главной задачей является математическое описание торфяной залежи. Ввиду этого торфяник необходимо рассматривать с точки зрения геологического объекта определенной конфигурации и структуры. Исходная геологическая информация о торфяной залежи определяет требования к точности математической модели, выбор ее вида и сложности [19-22]. Алгоритм процесса разработки моделей геологической интерпретации данных торфяного массива представлен на рис. 1. Процесс выбора модели торфяной залежи обоснован качеством исходной информации из первоисточников, а именно: картографией, геологическими исследованиями, стратиграфией и гипсометрией, геофизикой торфозалежи, послойным опробированием в точках зондирования. Эти первичные данные являются достоверной информацией, однако, математическое моделирование на их основе требует интерпретации геологических закономерностей, что в свою очередь представляет собой сложную математическую задачу, так как точность значений вычисленных по разработанной модели торфяного массива должна быть идентична точности исходных данных. Особенностью геоматематического моделирования торфяного месторождения является сложность и неоднородность его геологической структуры и условий образования. В тоже время добычные процессы при отработке месторождения обладают изменчивостью во времени и в пространстве, да и сами качественные характеристики торфа также неоднородны как по глубине, так и по протяженности фронта торфодобычных работ. Эта особенность отражает сложность создания единого информационного массива для торфяного производства, которое характеризуется сложной структурой с иерархическими уровнями. Однако, если информацию различного вида представить в форме единичных показателей, привязанных в форме точек к координатам пространства и времени, то появляется возможность создать единый информационный массив [23-25]. Точка – это базовый элемент информационной системы в 3d координатах, которая характеризуется набором качественных (геологических) характеристик торфа, и координаты места расположения; вектор, характеризующий направление и дальность перемещения точки; скорость перемещения точки и время, характеризующее срок и длительность перемещения точки. Моделирование торфяных залежей основано на цифровом представлении граничащих друг с другом поверхностей между слоями торфа различного типа, слоями погребенной древесины и подстилающим слоем минеральных пород. Базой геоматематических моделей является точечно-цифровая информация, а именно данные геологоразведки (зондирование и стратиграфия) торфяного

массива. По такому дискретно-точечному принципу работают практически все геоматематические модели заложенные в ГИС-системах.



**Рисунок 1. Алгоритм разработки цифровой модели торфяного месторождения**

На первом этапе моделирования торфяного месторождения для разработки базы данных торфоисследовательских работ необходимо закодировать все известное разнообразие торфяных месторождений для удобства работы с геологической информацией в ГИС. И уже на этом этапе среди ученых и специалистов в настоящее время нет единого мнения. Текущее положение дел по вопросу моделирования торфяных месторождений с применением ГИС таково, что разработкой этой темы занимаются три научные торфяные школы: Уральская, Томская и Тверская. Представители Уральской научной школы (Александров Б.М., Гревцев Н.В., Егошина О.С.) предлагают кодировать все виды торфяных месторождений взяв за основу известную геологическую классификацию торфа. Такую идею кодировки видов торфа предложили Базин Е.Т., Косов В.И. и их последователи в 1987 г. Однако, недостаток этой концепции заключается в том, что она достоверно описывает только торфа Европейской части РФ и не учитывает виды торфов Азиатской части страны, а также качественные характеристики торфяного массива. К тому же, детальное кодирование торфяного сырья по геологической классификации может привести к тому, что на месторождении не будет достаточного, с экономической точки зрения, объема запасов определенных категорий торфа и тогда селективная добыча становится нецелесообразной. Бернатонис П.В., Борко Г.Ю., Инишева Л.И. предлагают кодировать торфяники по известным категориям запасов А, В, С, при этом качество торфа в залежи усредняется и пропадает стимул к селективной отработке запасов. Представители Тверской школы (Базин Е.Т., Лиштван И.И., Косов В.И., Макаренко Г.Л. и др.) при моделировании торфяного месторождения в качестве кодировки видов торфа используют не только геологическую классификацию, но и ключевые качественные

характеристики торфяного и торфодревяного сырья [26-28]. Это позволяет расширить структуру запасов торфяного месторождения, что точнее соответствует геологическим данным, и является фундаментом для технико-экономического обоснования выбора рациональной технологии разработки торфяного массива (табл. 1).

**Таблица 1. Теоретические подходы к кодированию и интерпретации торфяных ресурсов для разработки информационной модели торфяного массива**

Торфяная школа	Основа кодирования видов торфа при моделировании месторождения	Пример кодирования видов торфа
Уральская	Геологическая классификация видов торфа	Тип – Подтип – Группа – Вид Н 1-низинный, П 2-переходный, В 3-верховой
Томская	По категориям промышленных запасов торфа	Категории запасов торфа по степени изученности: А – 1.1; В – 1.2; С – 1.3
Тверская	Комплексная классификация ресурсов торфяного месторождения	Тип – Пнистость – Степень разложения – Зольность – Глубина залежи

Так как разные торфяные школы имеют свою точку зрения по вопросу о структуре торфяного месторождения, то построенные модели одного и того же торфяного месторождения также будут сильно различаться. При моделировании торфяного месторождения во всех горных ГИС возникает важный вопрос о размерах единичных блоков, используемых для построения 3d модели месторождения. Авторы предлагают использовать следующие размеры базовых блоков в 3d моделировании торфяного месторождения:

- глубина (h) 0,25 – 0,5 м – глубина пластообразующего слоя, в котором встречаются остатки растений торфообразователей соответствующих определенному торфяно-болотному фитоценозу;

- длина (x) 100 - 500 - 1000 м – шаг сети зондирования (зависит от площади месторождения и вида геологической разведки);

- ширина (y) 500 - 1000 м – (определяется технологией разработки месторождения, а именно шириной технологической площадки или участка, на которой ведется добыча торфа).

Исторически сложилось так, что автоматизация торфяного производства осуществлялась в сфере заводских процессов переработки торфа, автоматизации торфодобывающего оборудования и отдельных агрегатов, а также в сфере управления торфяной отраслью и подробно описана в трудах Н.М. Караваевой. Интерес к теме информатизации торфяного производства вновь возник в конце 1980-х начале 1990-х г.г [21-28]. Именно тогда в Тверской торфяной школе появилась идея разработки ГИС для проектирования ресурсосберегающих технологий торфодобывающего производства, однако, со сменой экономического курса развития России интерес к торфодобывающей отрасли постепенно стал угасать и многие перспективные научные идеи и разработки, в тех условиях, стали не востребованы.

В настоящее время проектирование торфодобывающих производств осуществляется по устаревшим данным торфяных фондов 1955 – 1989 г.г. Хотя изученность европейской части России по торфяному сырью составляет 80 – 90% в современных условиях торфяные фонды не подвергались переоценке и зачастую геологические данные неполные и содержат ошибки в расчетах запасов торфа и ресурсов торфяного месторождения.

Все известные и используемые ГИС в добывающей отрасли рассматривают любое месторождение, в том числе и торфяную залежь, как единый сплошной массив, что в корне ошибочно, так как абсолютно противоречит геологическим знаниям о строении торфяника.

Ввиду различных точек зрения на структуру торфяного месторождения 3d модель одного и того же месторождения получается различной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Зюзин Б.Ф. Вопросы инвестиционной привлекательности торфяной отрасли // Современное состояние экономических систем: экономика и управление: сб. науч. тр. Межд. науч. конф. , Тверь, 04–05 декабря 2018 г. / под общ. ред. Д.В. Розова, Г.Г. Скворцовой. Тверь: СКФ-офис, 2018. С. 139-142.
2. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. [Экономические и инженерные аспекты нового оборудования и технология комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения](#) [Текст] / Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Деп. в ГИАБ 30.01.2013, № 953/04-13
3. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А. [Оценка этапов жизненного цикла разработки торфяного месторождения](#) / Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: матер. Межд. науч. конф., посв. 215-летию со дня рожд. И. Домейко, 31 июля – 03 2017 г. Минск / под ред. А.К. Карабанова. – Минск: [Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси»](#) 2017. С. 196-199.
4. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. [Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения](#): учебное пособие / Тверской государственный технический университет. Тверь, 2016. (2-е изд., перераб. и доп.), 160 с.
5. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Зюзин Б.Ф. [Экономическая классификация способов разработки торфяного месторождения: рентный подход](#) // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). 2014. № 7. С. 318-323.
6. Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Зюзин Б.Ф., и др. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. док. Межд. науч. конф.: в 2-х томах., Минск, 14–17 сентября 2016 г. - Минск: Беларуская навука, 2016. С. 152-156.
7. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Комплекс машин для добычи и переработки торфодревесного сырья // Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. тр. III Межд. науч.-практ. конф.: в 5 томах, 14–15 апреля 2015 г. Санкт-Петербург / под ред. В.В. Максарова. – СПб.: [Санкт-Петербургский горный университет](#) 2015. С. 76-79.
8. Жигульская А.И., Шамбер О.В., Яконовская Т.Б., Оганесян А.С. Модернизация комплексов машин для ресурсосберегающих технологий добычи торфодревесного сырья // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 11-й Межд. конф. по проб. гор. пром., строит. и энерг., 05–06 ноября 2015 г., Тула / под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТГУ, 2015. С. 96.
9. Условное моделирование в Micromine.[Электронный ресурс]. <https://www.micromine.ru/micromine-mining-software...> (дата обращения 15.03.2021г.)
10. Геокнига вводный курс Surpac. [Электронный ресурс]. <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-vvodnye-kurs-surpac.pdf>. (дата обращения 15.03.2021г.)
11. Strip mining of peat deposit / A. Mikhailov, A. Zhigulskaya, T. Yakonovskaya. // Proceeding of the 26th International Symposium. Edited by BehzadGhodrati, Uday Kumar, Sweden, 29-31 августа 2017 г. - Luleå: Luleå University of Technology 2017. С. 497-501.
12. Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya, T.B.Yakonovskaya. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Saint-

- Petersburg, 23-24 марта 2017 г. - Saint-Petersburg: Institute of Physics P Ural Branch [Electronic resource]. 2017. С. 14-22
13. Косов В.И. Системные принципы разработки ресурсосберегающих технологий в торфяном производстве: дис. д.т.н. 05.15.05. – Тверь:ТПИ, 1991, 350с.
  14. Егошина О.С., Александров Б.М. Система цифрового кодирования генетической классификации видов торфа и ее роль в комплексной оценке запасов торфа по категориям сырья и направлениям использования // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 2019. № 3. С. 55-63.
  15. Александров Б.М., Егошина О.С. Подсчет запасов торфяного месторождения с учетом категорий торфяного сырья // Экономические, экологические и социальные проблемы горной промышленности Урала. Сб. науч. ст. / Под общ.ред. Н.В. Гревцева, И.А. Коха. – Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 136-140.
  16. Геологическое обоснование кондиций на торф / П.В. Бернатонис, В.К. Бернатонис, Г.Ю. Боярко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2013. №3(40). С. 345-350.
  17. Бернатонис П.В. Технологическое обоснование кондиций для подсчета запасов месторождений торфа // Известия Томского политехнического университета, 2011. Т. 319. №1. С. 78-82.
  18. Определение плотности сети опробования на месторождениях торфа / В.К. Бернатонис, Ю.И. Прейс, П.В. Бернатонис // Вестник Томского государственного университета, 2010. №332. С. 173-176.
  19. Инишева Л.И., Маслов С.Г. Роль торфяных ресурсов в стратегии устойчивого развития// Труды Инсторфа, 2013. №8(61). С. 3-10.
  20. Моделирование физико-химических процессов / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды. Сб. мат. VIII Всерос. конф., посвященной 60-летию ПАО "Химпром". Чебоксары, 16-17 апреля 2020 г. – Чебоксары: ЧГУ имени И.Н. Ульянова, 2020. С. 285-286.
  21. Косов В.И., Масленников А.В. Системные принципы расчета на ЭВМ экологически сбалансированного и ресурсосберегающего освоения торфяных месторождений // Торфяная промышленность, 1990. № 10. с. 6-14
  22. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Яконовский П.А. Оценка использования геофизического метода VLF для определения мощности торфяного месторождения. Горныенаукиитехнологии. 2020;5(3):224-234. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-224-234>
  23. Legacy data for 3D modelling of peat properties with uncertainty estimation in Dava bog / L. Poggio, A. Gimona, I. Aalders, J. Morrice, R. Hough – Scotland // Geoderma Regional, 2020, V. 22, p. 288, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00288>
  24. Автоматизация торфяного производства / Н.М. Караваева, А.И. Бураков, Г.А. Дмитриев, М.С. Лифшиц. – М.: Недра, 1979, 312с.
  25. Волков А.Н. Технологические аспекты разработки высококачественного программного обеспечения // Торфяная промышленность, 1990. № 6. с. 27-30.
  26. Палюх Б.В., Ветров А.Н. Архитектура комплекса инструментальных программных средств динамических распределенных систем мониторинга торфяных пожаров // Научный сервис в сети Интернет. Труды Всерос. науч.конф. МГУ им. М.В.Ломоносова, Ростовский государственный университет, Институт вычислительной математики РАН. Новороссийск, 19-24 сентября 2005 г. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова Издательский Дом (типография), 2005. С. 251-252.
  27. Палюх Б.В., Цветков Р.Е. Информационная система имитационного моделирования торфяных пожаров // Программные продукты и системы. 2007. №3. С. 48.
  28. Палюх Б.В., Цветков Р.Е. Интеллектуальная система управления пожарной безопасностью хранения фрезерного торфа // Одиннадцатая национальная конференция

по искусственному интеллекту с международным участием, 28 сентября - 3 октября 2008 г., г. Дубна, КИИ-2008: тр.конф.Российская ассоц. искусственного интеллекта. – М.: [Ленанд], 2008. С. 300-305.

УДК 662.271

## КОМПЛЕКСНОЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ЯКОНОВСКАЯ Т. Б., ЖИГУЛЬСКАЯ А. И.

Тверской государственной технической университет

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы комплексного использования ресурсов торфяных месторождений в современных экономических и производственных условиях. Показана технология полного извлечения ресурсов торфяных месторождений как органического, так и минерального происхождения. Представлен механизм изменения стадий жизненного цикла торфяного производства как элемента горнопромышленной системы.

**Ключевые слова:** торфяные ресурсы, торфяные месторождения, минеральная порода, комплексное и рациональное использование, жизненный цикл.

## INTEGRATED AND RATIONAL USE OF RESOURCES OF PEAT DEPOSITS

YAKONOVSKAYA T. B., ZHIGULSKAYA A. I.

Tver State Technical University

**Abstract.** The article deals with the problems of the complex use of resources of peat deposits in modern economic and industrial conditions. The technology of complete extraction of resources of peat deposits of both organic and mineral origin is shown. The mechanism of changing the stages of the life cycle of peat production as an element of the mining system is presented.

**Keywords:** peat resources, peat deposits, mineral rock, complex and rational use, life cycle.

Развитие экономики и растущие потребности общества приводят к росту объемов потребления природных ресурсов, которые обладают свойством исчерпаемости. Ввиду этого все чаще в научной и специальной литературе возникает вопрос об эффективном, рациональном и ресурсосберегающем использовании природного потенциала территорий [1-3].

Самым распространенным природным, ископаемым ресурсом на территории большинства субъектов РФ является торф. Объем заторфованной территории России составляет более 70%. В советское время разработка торфяных месторождений велась преимущественно экстенсивными технологиями, отличительной особенностью которых можно назвать: использование обширных площадей торфяных месторождений для добычи торфа; крупнообъемная программа добычи торфа; трудоемкие и затратные технологии рекультивации выработанных площадей торфяных карьеров; скудный ассортимент выпускаемой торфопродукции (до 2-3 наименований).

Следует отметить, что в начале 1980 г., ввиду выработки и сокращения количества торфяных месторождений с благоприятными горно-геологическими условиями добычи, в торфяной промышленности все чаще стали задумываться о комплексном использовании не только торфа, но и всех ресурсов торфяных месторождений [4-7].

Под термином «ресурсы торфяных месторождений», авторы, понимают не только торф, но и произрастающую на месторождении, а также находящуюся в его толще погребенную древесину, и минеральную породу подстилающую торфяник (сапропели, илы, суглинки, глины, пески и пр.). Большинство известных способов и технологий разработки торфяного месторождения, рассматривают древесный элемент в структуре торфяного месторождения как отходы, которые извлекаются из толщи торфяника и складываются в отвал на внутреннем суходоле или вывозится за границы горного отвода. При этом, объем запасов только погребенной, в толще торфяной залежи, древесины в зависимости от типа месторождения может достигать от тысяч до миллионов куб. м. Находясь в отвале такие древесные ресурсы торфяного месторождения являются потенциальным источником пожара, впрочем, как и остающиеся на окраинах месторождения некондиционные участки торфа, представляющие промышленные потери [8, 9].

Выработанные торфяные площади требуют рекультивации под нужды лесного и сельского хозяйств или водный объект. Хотя, подстилающий минеральный грунт, также можно использовать в промышленности переведя торфяное предприятие в статус предприятия нерудной отрасли по добыче строительных горных пород. В этой связи авторы предлагают комплексный подход к использованию ресурсов торфяного месторождения, который заключается в расширении ассортимента торфопродукции за счет вовлечения в переработку ресурсов торфяной залежи (древесины и минеральной подстилающей породы).

Для цели обоснования комплексного использования ресурсов торфяных месторождений следует определить факты, отражающие целесообразность полного извлечения торфа без потерь [10-13]:

1. Остаточный слой торфа, который по ГОСТ относится к «некондиционному» и находится на выработанной поверхности в качестве защитного слоя (до 0,5 м) подвергается ветровой эрозии;

2. Существующие технологии добычи и наличие резкого перепада отметок высот минерального дна приводят к тому, что до 30% торфяных площадей обнажены до минерального слоя;

3. Защитный слой торфа, как правило, высокой степени разложения является препятствием для восстановления болотообразовательного процесса в технологии рекультивации под повторное заболачивание;

4. Экономически и экологически целесообразно извлекать торфяное сырье полностью для расширения ассортиментного ряда торфопродукции и повышения экологической безопасности путем устранения источников пожара.

В качестве причин для обоснования добычи подстилающей минеральной породы следует назвать:

1. Повышение разнообразия сырья для производства дополнительной торфо-минеральной продукции;

2. Выемка слоя минеральной породы приблизит уровень грунтовых вод к поверхности.

Таким образом, торфодобывающее производство можно рассматривать как начальный этап в эволюции горнопромышленной системы (рис. 1, 2). Жизненный цикл торфяного производства можно представить в виде временного ряда значений прибыли или объемов добычи. Схема на Рисунок 2 демонстрирует механизм изменения и удлинения жизненного цикла торфодобывающего производства [14-17]:

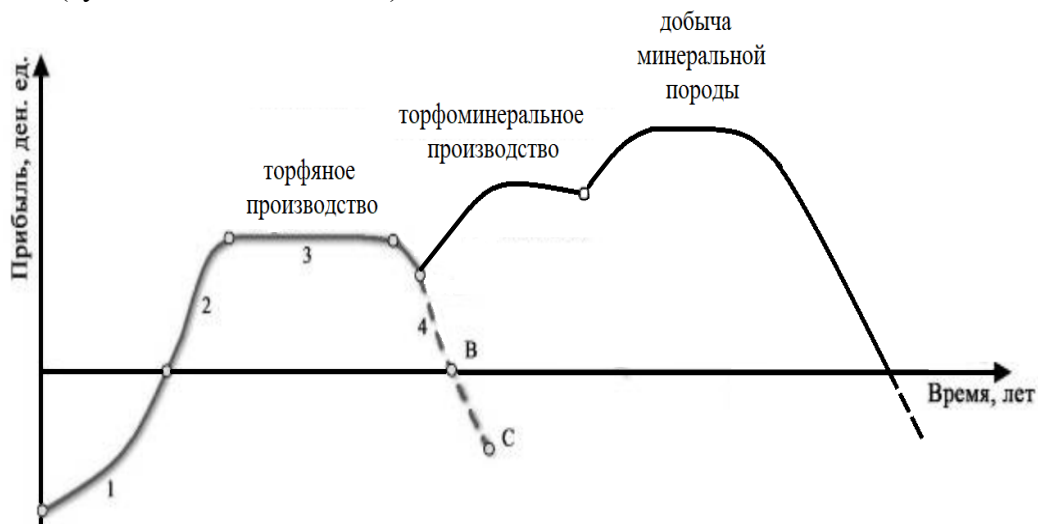
1. Этап – торфяное производство, когда предприятие арендует торфяное месторождение и занимается добычей органических ресурсов торфяника из которых, затем, производится разнообразная торфяная и торфодревесная продукция. Этап длится до 35 лет, при этом торфяные ресурсы месторождения полностью извлекаются.

2. Этап – торфоминерального производства, когда этап торфяного производства вступает в стадию затухающей добычи и истощения торфяного массива. Обнажаются



участки минерального ложа торфяника, а оставшийся торф характеризуется высокой зольностью и изменяет свои качественные характеристики. Предприятие меняет свой статус «торфодобывающего» и переходит из торфяной отрасли в отрасль добычи нерудного минерального сырья. Этап длится до 5 лет. В случае если ложе торфяника подстиляет сапропель, то оформляется аренда месторождения сапропелей и этап жизненного цикла может растянуться до 15 лет.

3. Этап – добыча минеральной породы, когда предприятие разрабатывает месторождения строительных горных пород, которые составляли минеральное ложе торфяника (суглинки, глины, пески).

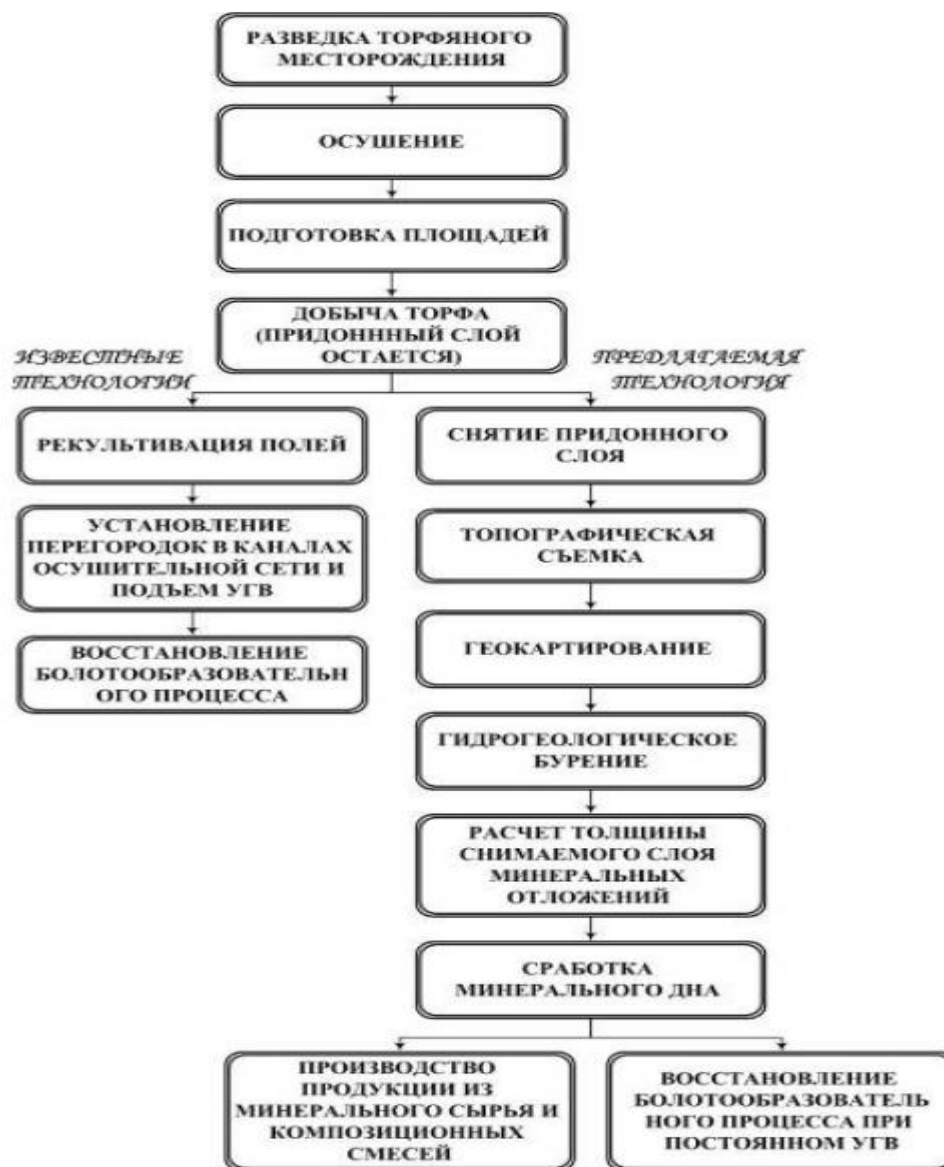


**Рисунок 1. Эволюция жизненного цикла торфодобывающего производства как элемента горнопромышленной системы (разработано авторами):** 1 – стадия геологоразведки и строительства предприятия; 2 – стадия растущей добычи; 3 – стадия стабильной добычи; 4 – стадия затухающей добычи и истощения месторождения; BC – стадия рекультивации торфяного месторождения

Такой комплексный подход к использованию ресурсов торфяных месторождений позволит регионам, где основу минерально-сырьевой базы составляют в большей степени торф и строительные горные породы, разработать стратегию совместного использования ресурсов и создать региональную горнопромышленную систему, при этом в первую очередь будут рассматриваться и разрабатываться те торфяные месторождения минеральное ложе и минеральное окружение которых экономически целесообразно разрабатывать.

Однако, для такого сценария развития торфяных производств как элементов горнопромышленной системы потребуются существенные дополнения в торфяные фонды регионов. Геологическая разведка торфяных месторождений массово проводилась в советское время (до 1990-х гг.) и при описании торфяников в региональные торфяные фонды не вносилась информация о виде, составе и объемах запасов минеральной подстилающей горной породы. В этой связи при принятии совместного решения о разработке торфяного массива и пород минерального дна необходимо создать экспертную геоинформационную систему (геокадастр) которая содержит информацию не только о торфяных месторождениях, но и об объемах и качестве минеральных подстилающих горных пород и минеральных горных пород окружающих и граничащих с торфяником [18-20].

С точки зрения экологии такой подход совместного комплексного использования ресурсов торфяного месторождения позволит уменьшить количество нарушенных территорий (выработанных карьеров), а рекультивация под водный объект позволит полнее использовать потенциал самовосстановления природной экосистемы.



**Рисунок 2.** Алгоритм технологического процесса комплексного использования ресурсов торфяного месторождения [12]

В заключении отметим, что комплексное и рациональное использование ресурсов торфяных месторождений является приоритетной стратегией повышения экономической и экологической безопасности предприятий разрабатывающих торфяные месторождения, так как приводит к:

1. Росту эффективности производства за счет расширения ассортимента разнокачественной торфяной продукции, способной удовлетворять потребности конкретного потребителя;
2. Формированию интегрированной горнопромышленной системы, в которой торфяное предприятие рассматривается как начальный этап развития добывающего производства;
3. Расширению сферы хозяйственной деятельности торфопредприятия и его плавному, логическому переходу со стадии торфодобычи в стадию добычи минеральной породы, что позволяет продлить жизненный цикл предприятия;

4. Возможности рекультивации выработанной поверхности под водный объект (озеро) или повторный процесс вторичного заболачивания;
5. Появлению возможности для создания дополнительных рабочих мест для снижения социально-экономической напряженности в районах расположения торфопредприятия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яконовская Т.Б., Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И. проблемы добычи торфа в Тверском регионе // Современные технологии и инновации: матер. IV Всеросс. науч.-практ. конф. 19 марта 2020 г. / под общ. ред. Т.Б. Новиченковой. – Тверь: ТГТУ, 2020. С. 95-99.
2. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Зюзин Б.Ф. Вопросы инвестиционной привлекательности торфяной отрасли // Современное состояние экономических систем: экономика и управление: сб. науч. тр. Межд. науч. конф., Тверь, 04–05 декабря 2018 г. / под общ. ред. Д.В. Розова, Г.Г. Скворцовой. Тверь: СКФ-офис, 2018. С. 139-142.
3. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. [Экономические и инженерные аспекты нового оборудования и технология комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения](#) [Текст] / Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Деп. в ГИАБ 30.01.2013, № 953/04-13
4. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А. [Оценка этапов жизненного цикла разработки торфяного месторождения](#) / Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: матер. Межд. науч. конф., посв. 215-летию со дня рожд. И. Домейко, 31 июля – 03 2017 г. Минск / под ред. А.К. Карабанова. – Минск: [Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси»](#) 2017. С. 196-199.
5. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. [Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения](#): учебное пособие / Тверской государственный технический университет. Тверь, 2016. (2-е изд., перераб. и доп.), 160 с.
6. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Зюзин Б.Ф. [Экономическая классификация способов разработки торфяного месторождения: рентный подход](#) // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). 2014. № 7. С. 318-323.
7. Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Зюзин Б.Ф., и др. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. док. Межд. науч. конф.: в 2-х томах., Минск, 14–17 сентября 2016 г. - Минск: Беларуская навука, 2016. С. 152-156.
8. Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Комплекс машин для добычи и переработки торфодревесного сырья // Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. тр. III Межд. науч.-практ. конф.: в 5 томах, 14–15 апреля 2015 г. Санкт-Петербург / под ред. В.В. Максарова. – СПб.: [Санкт-Петербургский горный университет](#) 2015. С. 76-79.
9. Жигульская А.И., Шамбер О.В., Яконовская Т.Б., Оганесян А.С. Модернизация комплексов машин для ресурсосберегающих технологий добычи торфодревесного сырья // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 11-й Межд. конф. по проб. гор. пром., строит. и энерг., 05–06 ноября 2015 г., Тула / под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТГУ, 2015. С. 96.
10. Макаренко Г.Л., Тимофеев А.Е., Яконовская Т.Б. Перспективы комплексного освоения торфяных месторождений (экологический, технологический и экономический аспекты) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 10. С. 265-272.

11. Разработка ресурсосберегающей технологии комплексного освоения торфяных месторождений / Макаренко Г.Л., Тимофеев А.Е., Яконовская Т.Б., и др. // Вестник Томского государственного педагогического университета, 2009. № 3 (81). С. 157-161.
12. Макаренко Г.Л., Яконовская Т.Б., Тимофеев А.Е. Технологические, экологические и экономические аспекты комплексного освоения торфяных месторождений // Торф и бизнес, 2008. № 4. С. 17.
13. [Технология комплексного использования органических и минеральных запасов торфяных месторождений с последующим восстановлением болотообразовательного процесса](#) / Макаренко Г.Л., Яконовская Т.Б., Тимофеев А.Е., и др. // Проблемы природопользования и инженерной экологии: сб. тр. ученых и преподавателей факультета природопользования и инженерной экологии ТГТУ / под ред. Л.Н. Самсонов, А.Е. Афанасьев, Л.В. Копенкина. – Тверь: ТГТУ, 2007. С. 47-59.
14. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Особенности оценки экономической безопасности предприятий торфодобывающей отрасли Тверского региона России (обзор отрасли) // Горные науки и технологии. 2021. Т. 6. № 1. С. 5-15.
15. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Проблемы информатизации технологических процессов предприятий по добыче торфа // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность: сб. матер. Нац. (Всеросс.) конф. 25–27 мая 2020 г. / под общ. ред. А.Ю. Просекова. – Кемерово: КГУ, 2020. С. 112-113.
16. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Безотходные технологии получения продукции на основе торфа // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сб. матер. VIII Всеросс. конф., посвященной 60-летию ПАО "Химпром", 16–17 апреля 2020 г. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2020. С. 28-29.
17. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С. Обоснование рационального способа разработки торфяного месторождения в условиях ограниченной геологической информации // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 16-ой Межд. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула, Минск, Донецк, 19–20 ноября 2020 г. / под общ. ред. Р.А. Ковалева – Тула: ТГУ, 2020. С. 60-66.
18. Геоинформационный кадастр торфяных месторождений Тверского региона / Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Арзуманян А.Г., и др. / Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 16-ой Межд. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула, Минск, Донецк, 19–20 ноября 2020 г. / под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТГУ, 2020. С. 316-321.
19. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Яконовский П.А. Оценка использования геофизического метода VLF для определения мощности торфяного месторождения // Горные науки и технологии, 2020. Т. 5. № 3. С. 224-234.
20. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Горнопромышленный комплекс Тверского региона Российской Федерации: анализ развития // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: матер. Межд. науч. конф., посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко. Минск, 31 июня – 3 июля 2017 г. / под ред. А.К. Карабанова. – Минск: Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», 2017. С. 148-151.

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЕМКИ ГОРНОЙ МАССЫ ЭКСКАВАТОРОМ С ПРОСЕИВАЮЩИМ КОВШОМ

ЧЕБАН А.Ю.

Хабаровский Федеральный исследовательский центр  
Дальневосточного отделения  
Российской академии наук

**Аннотация.** В статье предлагается технико-технологическое решение, обеспечивающее повышение извлечения минерального сырья из недр при разработке сложноструктурных месторождений. Усложнение горно-геологических и горнотехнических условий при разработке рудных месторождений предопределяет необходимость совершенствования технологий и горного оборудования. Выемку руд сложноструктурного месторождения предлагается вести с применением гидравлического одноковшового экскаватора с усовершенствованным рабочим оборудованием. Рабочее оборудование включает просеивающий ковш с перфорированными поверхностями, для отделения мелких фракций обогащенных полезным компонентом, а также систему пневмотранспортирования рудной мелочи в бункер специального транспортного средства. Отделение обогащенной рудной мелочи ведется при выемке и погрузке некондиционных руд непосредственно во время поворота рабочего оборудования к месту разгрузки, что обеспечивает уменьшение времени рабочего цикла экскаватора.

**Ключевые слова:** сложноструктурное месторождение, некондиционная руда, экскаватор, ковш, рудная мелочь, автосамосвал.

## EXCAVATOR WITH A SEEDING BUCKET

CHEBAN A. YU.

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

**Abstract.** The article proposes a technical and technological solution that ensures an increase in the extraction of mineral raw materials from the sUral Branch soil during the development of complex-structured deposits. The increasing complexity of mining and geological and mining technical conditions during the development of ore deposits predetermines the need to improve technologies and mining equipment. It is proposed to extract ores from a complex-structured deposit using a hydraulic single-bucket excavator with improved working equipment. The working equipment includes a screening bucket with perforated surfaces for separating fine fractions enriched with a useful component, as well as a system for pneumatic transport of ore fines to the hopper of a special vehicle. The separation of enriched ore fines is carried out during the excavation and loading of sUral Branch standard ores directly while the working equipment is turning to the unloading point, which ensures a reduction in the operating cycle of the excavator.

**Keywords:** complex structure deposit, sUral Branch standard ore, excavator, ladle, ore fines, dump truck.

В настоящее время в связи ухудшением качества минерально-сырьевой базы добывающие предприятия вынуждены вести разработку месторождений или отдельных их участков со сложными горно-геологическими условиями [1-3]. Современные технические средства позволяют достаточно успешно вести механическую разработку массивов, сложенных плотными и полускальными горными породами [4-7]. Разработка скальных массивов ведется преимущественно с применением буровзрывных работ [8]. Для многих

месторождений ценного минерального сырья характерно повышенное содержание полезных компонентов в мелких фракциях взорванной рудной массы [9-12]. При этом повышенное содержание полезного компонента относительно среднего содержания в конкретной руде характерно как для кондиционных, так и некондиционных руд. В настоящее время при разработке сложноструктурных месторождений в особенности штокверковых вместе с некондиционными рудами на склад некондиционной руды, а по существу в отвал, направляется существенная часть минерального сырья [13]. Выделение полезных компонентов сосредоточенных в мелких фракциях некондиционных руд во время ведения выемочно-погрузочного процесса может значительно повлиять на эффективность добычи полезных ископаемых.

Известны различные технико-технологические решения по выделению обогащенных полезным компонентом мелких фракций руды с применением усовершенствованного выемочного оборудования [14-16]. Так в работе [15] предлагается технологическая схема разработки сложноструктурного месторождения апатитов с применением выемочно-сортировочного комплекса. Фрезерный рабочий орган комплекса ведет рыхление сложноструктурного массива с подачей разрыхленной рудной массы на транспортно-сортировочный агрегат, где контрольно-измерительным устройством определяется содержание полезного компонента. При выемке кондиционной и некондиционной руды на классификационной решетке транспортно-сортировочного агрегата в качестве подрешетного продукта выделяются обогащенные полезным компонентом мелкие фракции, которые собираются в накопителе и системой пневмотранспортирования перемещаются в контейнер транспортного средства. Надрешетный продукт транспортируется к лотку, по которому сыпается в отрытую фрезерным рабочим органом траншею. При выемке пустой породы щели классификационной решетки перекрываются, и весь объем горной массы через лоток направляется в траншею. Отсыпанный в траншею надрешетный продукт селективно грузится погрузчиком в автосамосвалы. Главным недостатком выемочно-сортировочного комплекса является невозможность эффективной разработки месторождений сложенных скальными горными породами.

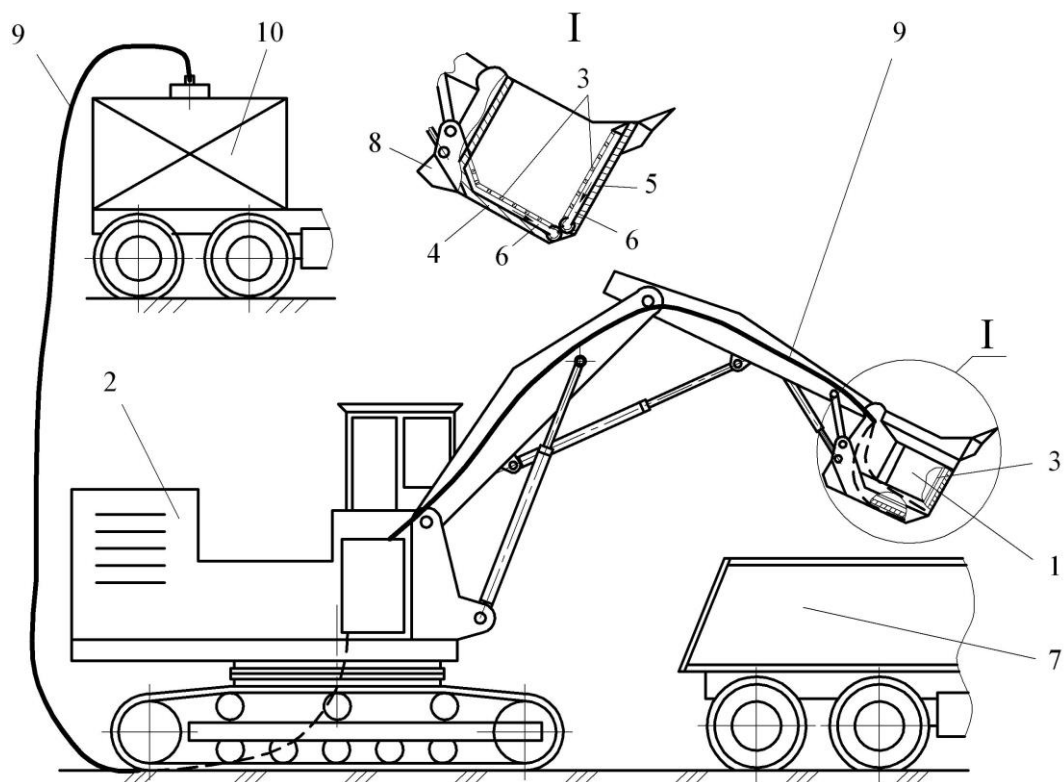
При разработке одного из никелевых месторождений для выемки горной массы используются одноковшовые экскаваторы со специальными ковшами фирмы ALLU с просеивающими устройствами [16]. Никелевая руда (мелкие фракции горной массы) отделяется от пустой породы (крупные фракции горной массы) непосредственно на месте добычи. Первоначально экскаватор производит черпание горной массы и поворачивает рабочее оборудование к месту разгрузки. Затем включается просеивающий механизм и из ковша просеивается никелевая руда, которая сыпается в штабель или транспортное средство. После просеивания полезного ископаемого экскаватор поворачивается к месту разгрузки пустых пород и путем поворота ковша выгружает из него крупные фракции. Данное технико-технологическое решение принято в качестве прототипа, его основным недостатком являются простои экскаватора во время просеивания мелких фракций из ковша, что существенно снижает производительность выемочно-погрузочных работ.

Целью исследования является разработка технико-технологического решения позволяющего снизить простои одноковшового экскаватора за счет обеспечения возможности просеивания мелких фракций непосредственно в процессе поворота ковша экскаватора к месту разгрузки.

В Институте горного дела ДВО РАН разработан способ выемки взорванной горной массы сложноструктурных месторождений, в рудах которых при взрывном рыхлении происходит концентрация полезных компонентов в мелких фракциях, с применением экскаватора с просеивающим ковшом. Одноковшовый экскаватор оснащается автоматизированной системой управления процессом селективной выемки руды, обеспечивающей высокоточное позиционирование в забое, а также возможностью идентификации качества горной массы в ковше. Рабочее оборудование гидравлического

одноковшового экскаватора позволяет обеспечить необходимую траекторию движения рабочего органа относительно зон локализации различных типов горной массы. Усовершенствованное рабочее оборудование одноковшового экскаватора обеспечивает совмещение процессов погрузки горной массы в транспортные средства с одновременным отделением обогащенных полезным компонентом мелких фракций некондиционной руды.

Просеивающий ковш 1 экскаватора 2 оборудован перфорированными листами 3, которые через ребра жесткости установлены на внутренних поверхностях днища 4 и стенок 5 ковша 1 и образуют полости 6.



**Рисунок. Схема выемки горной массы экскаватором с просеивающим ковшом**

При выемке экскаватором 2 некондиционной руды в процессе перемещения заполненного ковша 1 на разгрузку в автосамосвал 7 мелкие фракции просеиваются через перфорированные листы 3. Интенсификация процесса выделения мелких фракций в просеивающем ковше ведется с помощью вибратора 8. Отделенные в полости 6 просеивающего ковша 1 мелкие фракции по гибким трубопроводам 9 системы пневмотранспортирования подаются в контейнер специального транспортного средства 10. Автосамосвал 7 транспортирует некондиционную руду, из которой выделены обогащенные полезным компонентом мелкие фракции на склад временно некондиционной руды. При селективной выемке экскаватором 2 пустой породы и кондиционной руды вибратор 8 и система пневмотранспортирования находятся в выключенном состоянии, в связи с чем, просеивание мелких фракций горной массы через перфорированные листы 3 в ранее заполненные полости 6 не происходит. Разгрузка горной массы ведется в автосамосвалы 7, которые получают соответствующий адрес места разгрузки.

Предлагаемая технология выемки взорванной горной массы одноковшовым экскаватором с усовершенствованным рабочим оборудованием при разработке сложноструктурных месторождений позволяет повысить извлечение минерального сырья из недр за счет выделения обогащенных полезным компонентом мелких фракций из некондиционной руды. Просеивание мелких фракций некондиционной руды осуществляется

в ковше непосредственно во время поворота рабочего оборудования экскаватора к месту разгрузки, что существенно сокращает время рабочего цикла экскаватора и повышает его производительность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганесян Л. В. Экологические и технико-технологические проблемы освоения нетрадиционных источников минерального сырья // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 2. С. 48-52.
2. Трубецкой К. Н. Решение проблем экологически сбалансированного освоения месторождений открытыми геотехнологиями // Горный журнал. 2018. № 6. С. 71-76.
3. Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения с применением усовершенствованного добычного комплекса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 3. С. 209-219.
4. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia // Zement-Kalk-Gips Int, 2014, Vol. 67, no 10, pp. 18-19.
5. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №1. С. 20-22.
6. 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.
7. Чебан А.Ю. Технология разработки крутопадающих рудных тел с применением дистанционно управляемого горного оборудования // Маркшейдерский вестник. 2019. № 2. С. 56-60.
8. Чебан А.Ю. Техническое оснащение предприятий по добыче нерудных строительных материалов в Хабаровском крае // Механизация строительства. 2017. № 2. С. 23-26.
9. Санакулов К. С., Руднев С. В., Канцель А. В. О возможности отработки месторождения Учкулач с использованием технологии рентгенрадиометрического обогащения свинцово-цинковых руд // Горный вестник Узбекистана. 2011. № 1. С. 17-20.
10. 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.
11. 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.
12. Ситников Р. А. Гидромеханическая зачистка рудной мелочи - эффективный путь снижения потерь руды // Вестник Читинского государственного университета. 2010. № 2. С. 18-22.
13. [Starke L.](#) Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development. London: IED, 2016. 480 p.
14. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. № 3. С. 18-23.
15. Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 399-404.
16. Увеличение продуктивности рудника экономически эффективным методом с помощью ALLU // Горная промышленность. 2020. № 1. С. 68-69.



## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДОРАБОТКИ ПРИБОРТОВЫХ И ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ ЦЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

ЧЕБАН А.Ю.

Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения  
Российской академии наук

**Аннотация.** Во многих случаях в бортах карьера и подкарьерном пространстве остаются запасы минерального сырья, вовлечение которых в отработку с применением традиционных технологий экономически не эффективно. В настоящее время известны технологии открыто-подземной доработки подобных запасов с применением комплексов глубокой разработки и другого оборудования. Существенным конструктивным недостатком известных конструкций комплексов глубокой разработки является жесткая и прямолинейная связь режущего исполнительного органа с базовой машиной, находящейся на поверхности. В статье предлагается конструкция выемочного комплекса имеющего гибкую связь добычного агрегата с базовой машиной, что позволяет существенно уменьшить металлоемкость оборудования и обеспечивает возможность отработки рудных тел с изменяемым углом падения. Добычной агрегат включает фрезерный исполнительный орган, систему вакуумного транспортирования рудной массы и гидравлическую распорку для позиционирования в забое.

**Ключевые слова:** рудные тела малой мощности, выемочный комплекс, фрезерный исполнительный орган, рудная масса, гидравлический привод, канат.

## EQUIPMENT FOR PROCESSING ON-BOARD AND UNDER-QUARRY RESERVES OF VALUABLE MINERAL RAW MATERIALS

CHEBAN A. YU.

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

**Abstract.** In many cases, there are reserves of mineral raw materials in the sides of the quarry and under the quarry space, the involvement of which in the development using traditional technologies is not economically effective. At present, technologies of open-underground development of such reserves using deep mining complexes and other equipment are known. A significant design disadvantage of the known designs of deep mining complexes is the rigid and straight-line connection of the cutting executive body with the base machine located on the surface. The article proposes the design of a mining complex with a flexible connection between the mining unit and the base machine, which can significantly reduce the metal consumption of the equipment and provide the possibility of mining ore bodies with a variable angle of incidence. The mining unit includes a milling cutter, a system for vacuum transport of ore mass and a hydraulic strut for positioning in the face.

**Keywords:** low-power ore bodies, mining complex, milling head, ore mass, hydraulic drive, rope.

Во многих случаях в прибортовом и подкарьерном пространстве при приближении карьера к граничным контурам остаются запасы минерального сырья, вовлечение которых в отработку с применением традиционных технологий экономически не эффективно, а в некоторых случаях небезопасно. В тоже время наличие ранее созданной инфраструктуры горнодобывающего предприятия создает предпосылки для доработки запасов ценного минерального сырья [1-3]. Развитие технических средств механического рыхления горных

пород и мониторинга состояния устойчивости горного массива, а также способов их применения, расширяют возможности горного производства в аспекте повышения извлечения запасов минерального сырья из недр [4-9]. К таким технологиям можно отнести разработку пластов ограниченной мощности и жильных рудных тел посредством карьерных комбайнов, комплексов глубокой разработки, шнекобуровых машин и другого горного оборудования [10-14]. Доработка прибортовых и подкарьерных запасов механическими способами по сравнению с горными технологиями, использующими буровзрывное рыхление, имеет ряд преимуществ, в частности отсутствие сейсмического воздействия на борта карьера. Технология добычи полезных ископаемых комплексами глубокой разработки пластов ведется путем нарезания выработок прямоугольного сечения на глубину до 300м [14].

Известна конструктивная схема выемочного комплекса с фрезерным исполнительным органом, телескопической стрелой и оголовком, для разработки крутонаклонных рудных тел, сложенных относительно прочными горными породами [15]. При помощи гидропривода рабочего оборудования создается напор фрезерного исполнительного органа на забой. Выемочный комплекс может иметь дополнительное оборудование в виде бульдозерного отвала для ведения вспомогательных работ. Глубина выработок выполняемых выемочным комплексом в зависимости от типоразмера оборудования и конфигурации рудных тел может достигать 50-70м. Недостатком выемочного комплекса, представленного в работе [15], является жесткая связь фрезерного исполнительного органа с базовой машиной для передачи напорного усилия, осуществляемая посредством телескопической стрелы. В связи с чем, рабочее оборудование комплекса является металлоемким и не обеспечивает возможности отработки рудного тела с изменяемым углом падения.

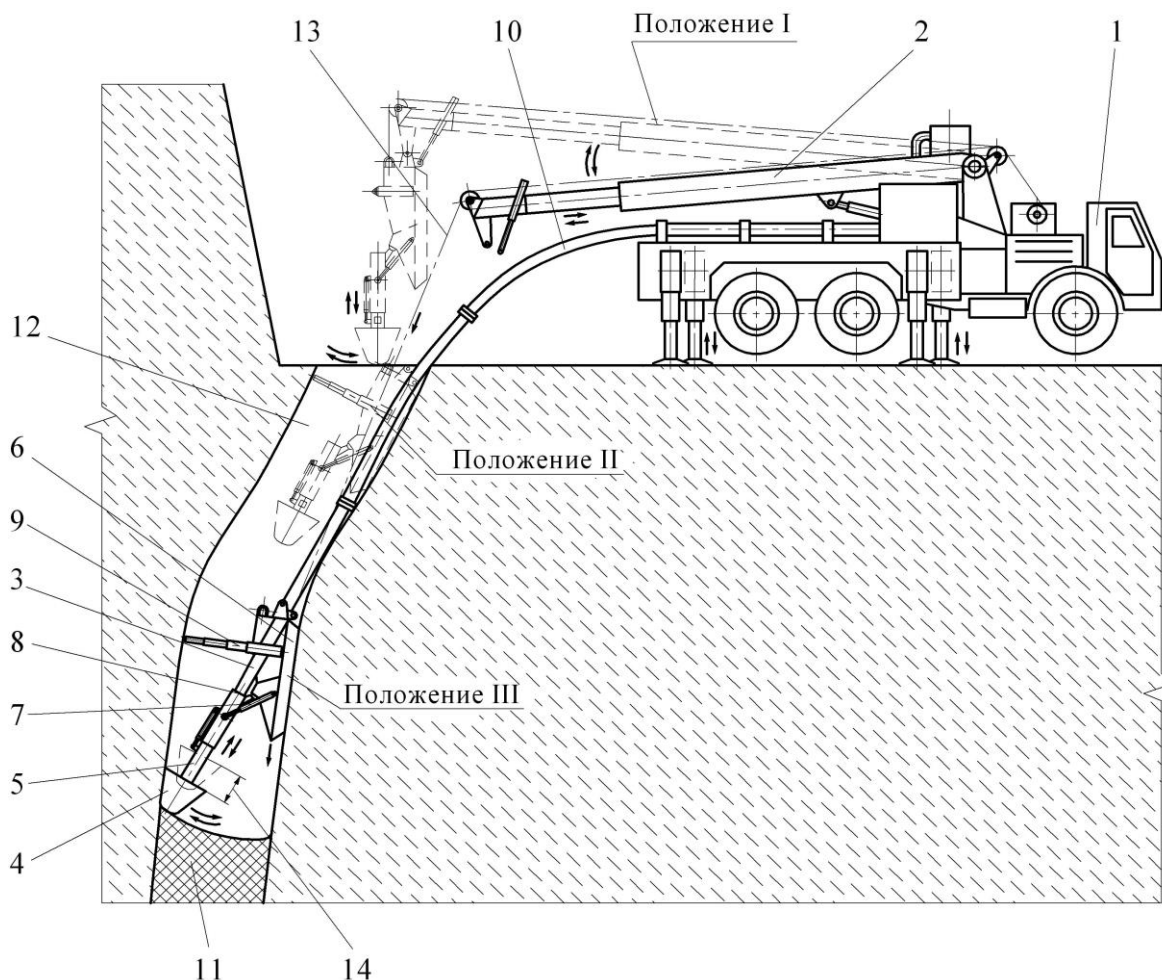
Целью работы является создание горного оборудования с исполнительным органом, имеющим гибкую связь с базовой машиной находящейся на поверхности, для разработки рудных залежей малой мощности с изменяемым углом падения.

Институтом горного дела ДВО РАН предлагается конструкция выемочного комплекса для доработки подкарьерных и прибортовых запасов и технология его применения. Выемочный комплекс включает базовую машину 1 с крановой установкой 2 и добычной агрегат 3 (рис.). В свою очередь добычной агрегат 3 состоит из фрезерного исполнительного органа 4, телескопической секции 5 прикрепленной к раме 6 посредством гидроцилиндров 7 и сферического шарнира 8, гидравлической распорки 9, вакуумной системы транспортирования 10 рудной массы.

Первоначально добычной агрегат 3 посредством крановой установки 2 переводится из транспортного положения в рабочее (положение I). Фрезерный исполнительный орган 4 начинает доработку рудного тела 11 с формированием горной выработки 12, посредством поворота гидроцилиндрами 7 телескопической секции 5 относительно сферического шарнира 8 в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Удаление отфрезерованной рудной массы осуществляется вакуумной системой 10 с разгрузкой в автосамосвал.

После погружения добычного агрегата 3 ниже уровня стоянки базовой машины 1 (при отработки подкарьерных запасов), производится выдвижение распорки 9 до ее контакта с висячим бортом горной выработки 12. При этом рама 6 прижимается к лежащему борту выработки 12, что обеспечивает фиксацию добычного агрегата 3 (положение II). Производится снятие жесткого соединения между добычным агрегатом 3 и крановой установкой 2, после чего они взаимодействуют только посредством каната 13. Отработка рудного тела 11 возобновляется, фрезерный исполнительный орган 4 перемещается в поперечном сечении выработки 12, а также в глубину на величину хода 14 телескопической секции 5. При полном выдвижении исполнительного органа 4 фрезерование приостанавливается, и распорка 9 частично втягивается. Телескопическая секция 5 втягивается полностью, производится ослабление каната 13 и добычной агрегат 3, лишенный

фиксации, под действием силы тяжести на раме 6 по лежащему борту выработки 12 соскальзывает вниз.



**Рисунок. Схема доработки подкарьерных запасов выемочным комплексом**

Затем распорка 9 вновь выдвигается до контакта с висячим бортом, и цикл отработки рудного тела 11 повторяется, таким образом, осуществляется последовательное углубление добычного агрегата 3 при доработке запасов (положение III). Гибкая подвеска добычного агрегата 3 позволяет отрабатывать рудные тела 11 с изменяемым углом падения на значительную глубину. После окончания отработки рудного тела добычной агрегат посредством каната поднимается, перемещаясь по лежащему борту выработки, на дневную поверхность.

Выемочный комплекс предлагаемой конструкции с гибкой связью добычного агрегата с базовой машиной позволяет вести отработку залежей с изменяемым углом падения. Отказ от жесткой связи между базовой машиной и добычным агрегатом позволяет сократить габаритные размеры и металлоемкость горного оборудования, что повысит его маневренность при работе в стесненных условиях при осуществлении выемки прибортовых и подкарьерных запасов минерального сырья. Уменьшение металлоемкости оборудования позволит сократить капитальные затраты на его изготовление, что обеспечит снижение себестоимости добычи минерального сырья при доработке запасов месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К.Н., Корнилков С.В., Яковлев В.Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. 2012. №1. С. 15-19.

2. Глотов В.В. Об инвестиционной привлекательности мелких месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. №10. С. 101-104.
3. Чебан А.Ю. Технология разработки крутопадающих рудных тел с применением дистанционно управляемого горного оборудования // Маркшейдерский вестник. 2019. № 2. С. 56-60.
6. Валиев Н.Г., Сандригайло И.Н., Арефьев С.А., Чеботарев С.И. Оценка возможностей применения и режимов работы карьерных комбайнов при разработке месторождений мрамора // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 2. С. 88-99.
4. Чебан А.Ю. Классификация технологических схем применения карьерных комбайнов // Системы. Методы. Технологии. 2015. №2. С. 159-163.
5. Цой Д.И., Рассказов М.И., Гладырь А.В., Терешкин А.А., Константинов А.В. Исследование влияния длиннопериодных деформационных волн на геоакустическую активность горного массива // Проблемы недропользования. 2019. №4(23). С. 66-73.
6. Чебан А.Ю. Классификация конструкций карьерных комбайнов // Недропользование XXI век. 2015. №5 (55). С. 64-69.
7. Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 399-404.
8. The research of burst hazard of the rocks massif of Rasvumchorr mineral deposit according to seismoacoustic monitoring / M. Rasskazov, A. Gladyr, A. Tereshkin, A. Rasskazova, D. Tsoy, A. Konstantinov // E3S Web of Conferences. 2019. – № 129, 01022.
9. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №1. С. 20-22.
10. Dixit S. K., Pradhan M. Highwall mining in India // Mine Planning and Equipment Selection. — Springer International P Ural Branchlising. 2014. pp. 175–187.
11. 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
12. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Технологии безлюдной добычи угля с применением шнекобуровых машин // Горная промышленность. 2015. № 2. С. 60-63.
13. Вовк А.И., Лейдерман Л.П., Каплан А.В., Пикалов В.А. Развитие добычи коксующихся углей открытым способом в условиях Заполярья // Рациональное освоение недр. 2013. № 5. С. 50-54.
14. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 18-23.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ БУРОВОГО СТАНКА PV-235 В УСЛОВИЯХ АЙХАЛЬСКОГО ГОКА

ИЛЬБУЛЬДИН Д. Х.<sup>1</sup>, ЕГОРОВ М. С.<sup>1</sup>, КОНУРИН А. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО),

<sup>2</sup> Институт горного дела имени Н.А. Чинакала СО РАН

**Аннотация.** Объект исследования – система дистанционного управления бурового станка. Представлены результаты эксперимента по использованию системы дистанционного управления бурового станка PitViper-235. Определены поправочные коэффициенты к нормативной производительности бурового станка в режиме дистанционного управления. Приводятся примеры по улучшению компонентов системы для эффективной работы станка в режиме дистанционного управления.

**Ключевые слова:** Буровой станок, дистанционное управление, хронометражные наблюдения, поправочные коэффициенты.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE REMOTE CONTROL SYSTEM OF THE PV-235 DRILLING RIG IN THE CONDITIONS OF THE AIKHAL GOK

ILBULDIN D. KH.<sup>1</sup>, EGOROV M. S.<sup>1</sup>, KONURIN A. I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yakutniproalmaz Institute of PJSC ALROSA,

<sup>2</sup>N.A. Chinakal Institute of Mining SB RAS

**Abstract.** The object of the research is the remote control system of the drilling rig. The results of an experiment on the use of the remote control system of the PitViper-235 drilling rig are presented. Correction factors have been determined for the standard productivity of the drilling rig in the remote control mode. Provides examples of how to improve system components for efficient machine operation in remote control mode.

**Keywords:** Drilling rig, remote control, timing observations, correction factors.

При отработке нижних горизонтов карьеров горные работы ведутся в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях: высокая запыленность воздуха, связанная с разрушением горных пород взрывным или механическим способами; загазованность воздуха от выхлопов горнотранспортных машин, работающих на горючем топливе; влияние высоких и низких температур [1]. Применение систем, обеспечивающих исключение человека в управлении производственным процессом, является одним из основных направлений в развитии мировой горной промышленности, как в нашей стране, так и за рубежом. Разработки подобных систем с полной автоматизацией всех процессов уже в самое ближайшее время смогут принципиально изменить технико-технологические принципы функционирования горных предприятий. В последние годы за рубежом ведутся интенсивные работы по созданию и внедрению систем автоматического управления буровым оборудованием [2-4]. Дистанционное управление (ДУ) горными работами на карьере предполагает применение технологий открытых горных работ с использованием таких машин и механизмов, которые бы обеспечили минимум присутствия людей непосредственно в забое [5].

В акционерной компании «АЛРОСА» (ПАО) (далее – Компания) непрерывно реализовываются мероприятия, направленные на построение эффективной системы

производственного контроля и повышения безопасности производственных процессов в соответствии с лучшими мировыми практиками и стандартами [6-8]. Впервые в России в условиях Крайнего Севера на карьере «Юбилейный» выполнены испытания работы бурового станка PitViper-235 компании Atlas Copco, оснащенного системой дистанционного управления (далее – СДУ). В настоящей статье представлены результаты опытно-промышленного испытания работы СДУ станка PitViper-235 многозаходного вращательного бурения на гусеничном шасси с гидравлическим верхним приводом, для бурения скважин глубиной до 42.7 м сменными штангами длиной 10.7 м (Рисунок 1).



**Рисунок 1. Система дистанционного управления:** а) мобильный центр управления буровым станком на базе прицепа; б) буровой станок PitViper-235

Для изучения влияния СДУ на рабочий цикл бурового станка были выполнены опытно-промышленные испытания. Они выполнялись в 3 этапа: подготовка бурового станка к эксплуатации в режиме дистанционного управления, определение основных показателей работы бурового станка в режиме ручного управления (РУ) и дистанционного управления, обработка результатов наблюдений.

Опытно-промышленные испытания СДУ бурового станка проведены на блоке № 524, горизонта +440 м карьера «Юбилейный» находящегося в 15 км к северо-западу от пос. Айхал. Трубка «Юбилейная» отрабатывается открытым способом с 1989 года. К настоящему времени горные работы в текущем контуре карьера «Юбилейный» достигли глубины 360 м (абсолютная отметка +260 м). Горные породы блока состояли из мергелей с коэффициентом крепости по Протодяконову  $f - 5$  и объемным весом –  $2.41 \text{ т/м}^3$ . Для сравнения результатов хронометражных наблюдений блок был условно разделен на 2 части, в каждой из которых было пробурено по 10 скважин в режиме ручного и дистанционного управления. Кабина ДУ была установлена на расстоянии 520 метров от зоны работы бурового станка на одном с ним горизонте, что обеспечило в данном диапазоне достаточно устойчивый сигнал на прием и передачу. Самая крайняя устойчивая точка рабочего сигнала соответствовала дистанции 800 метров. Бурение осуществлялось с применением шарошечного долота фирмы «Волгабурмаш» 228.6 МЗ-ПГВ при следующих режимах бурения: скорость вращения 90-105 об/мин, нагрузка на долото 170-190 кН, воздушное давление 4.5-4.9 бар. Буровой станок PitViper-235 был укомплектован дополнительными модулями: высокоточной глобальной системой позиционирования GPS, системой самовыравнивания.

Задачи испытания:

1. Определение технических и технологических параметров эксплуатации бурового оборудования в режимах ручного и дистанционного управления;
2. Анализ затрат общепроизводственного характера;

3. Сравнительный технико-эксплуатационный анализ эффективности работы бурового оборудования в режимах ручного и дистанционного управления.

В комплекс СДУ входит: Wi-Fi модули для передачи аудио и видеoinформации, приемники, рабочее кресло оператора с пультами управления, монитор и 4 камеры наблюдения, одна из которых управляется дистанционно (поворот, наклон, приближение). При этом данные технических показателей (скорость вращения бурового инструмента, глубина бурения, давление масла и другие параметры) передаются в цифровом виде на панель дистанционного управления, который имеет такой же внешний вид, эргономику и кнопки, как и панель на буровом станке.

При использовании СДУ бурового станка в условиях карьера «Юбилейный» зафиксирован ряд технических ограничений:

1. Отмечается задержка отклика при передаче видеосигнала и команды оператора на буровой станок во время проведения операции по наращиванию и разборке штанг в режиме дистанционного управления, в связи с чем увеличивается время операций и нагрузка на резьбу буровых штанг.
2. Отмечается сложность маневрирования при переезде на первый ряд скважин подготавливаемого взрывного блока.
3. Требуется периодическая ручная смазка резьбы буровых штанг.
4. Требуется ручная очистка домкратов горизонтирования от налипания пород, льда и снега. Постановка неочищенного домкрата может стать причиной его поломки.
5. Требуется зачистка и закрытие устьев скважин.
6. Заправка станка топливом и водой производится с учетом перегона станка до безопасного участка под контролем человека.

Работа глобальной системы позиционирования GPS/ГЛОНАСС в карьере «Юбилейный» обеспечивалась разработанной компанией «Blast Maker» автоматизированной системой управления буровзрывных работ (далее – АСУ БВР «Blast Maker»). Система включает возможность автоматического управления буровым станком, увеличивая производительность оператора и снижая износ станка. При соединении возможностей системы по позиционированию и распознаванию материала достигается оптимизация процесса взрывных работ. Качественные взрывные работы способствуют увеличению производительности карьера, обеспечивая повышение эффективности использования экскаваторов [9].

Во время испытания СДУ для отображения точных координат скважин и их азимута (при бурении наклонных скважин) применялся портативный планшет, позволяющий использовать АСУ БВР «Blast Maker» в режиме «Навигация», что позволяло машинисту с высокой точностью наводить буровой станок на координаты скважин. Следует учесть, что при отсутствии спутникового сигнала бурение в дистанционном режиме не представляется возможным.

В ходе хронометражных наблюдений были зафиксированы следующие операции: смазка станка, заправка компрессора, набор воды, заправка станка горюче-смазочными материалами, перегон станка до опасного или безопасного передела, перемещение машиниста между кабиной ДУ и буровым станком, подготовка кабины и станка к работе в режиме ДУ.

Сменная производительность бурового станка определяется в соответствии с формулой:

$$H_{см} = \frac{T_{см} - T_{пз} - T_{лн}}{t_{бур} + t_{есп}},$$

где  $T_{см}$ ,  $T_{пз}$ ,  $T_{лн}$  – соответственно продолжительность смены (12 час.), время на подготовительно-заключительные работы и личные надобности (табл. 1), мин;

$t_{бур}$  – норматив времени на бурение одного погонного метра скважин, мин/пог.м,

$t_{всп}$  – нормативы времени на вспомогательные операции, мин/пог.м [10].

Время на подготовительно-заключительные работы в начале и в конце смены увеличивается за счет дополнительных операций:

- подготовки кабины и бурового станка к работе в режиме ДУ (включение Wi-Fi, подключение связи между кабиной и станком и т.д.);
- перемещения машиниста между кабиной и буровым станком;
- перегона станка в опасную зону и вывод в безопасное место.

**Таблица 1. Пооперационное среднее время подготовительно-заключительных работ бурового станка PitViper-235 в режимах ручного и дистанционного управления**

№ п/п	Наименование операции	Время выполнения операций, мин/см		Отношение РУ к ДУ
		в режиме РУ	в режиме ДУ	
1	Прием-сдача смены	12*	12	1.00
2	Осмотр станка, рабочей площадки, основного и вспомогательного оборудования, наличия средств ПБ и ОТ	8*	8	1.00
3	Смазка станка, заправка компрессора, набор воды, заправка станка горюче-смазочными материалами, устранение мелких неисправностей	18	42	2.33
4	Прохождение медосмотра	5	5	1.00
5	Перегон станка до опасного или безопасного передела (150 м)	-	18	-
6	Перемещение машиниста между кабиной ДУ и буровым станком (520 м)	-	6	-
7	Подготовка кабины и бурового станка к работе в режиме ДУ	-	10	-
8	Итого, затрачено времени на подготовительно-заключительные работы	43*	101	2.35
9	Время на личные надобности	15*	15	1.00

Примечания: \* Принято согласно данным приведенным в единых нормах выработки (времени) на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Бурение [10].

Обработка полученных в ходе эксперимента хронометражных данных по затратам времени на проведение буровых работ станком PitViper-235 в режимах ручного и дистанционного управления выполнена с применением методов математической статистики [11]. По хронометражным данным определены поправочные коэффициенты к сменной производительности при работе бурового станка PitViper-235 в режиме дистанционного управления. Результаты расчета представлены в табл. 2.



**Таблица 2. Поправочные коэффициенты к сменной производительности при работе бурового станка PitViper-235 в режиме дистанционного управления**

№ п/п	Наименование	Сменная производительность, пог.м/см		Отношение РУ к ДУ
		в режиме РУ	в режиме ДУ	
1	При бурении скв. глубиной до 10.7 пог. м (без наращивания и разборки штанг)	480	310	1.55
2	При бурении скв. глубиной свыше 10.7 пог. м (с наращиванием и разборкой штанг)	413	260	1.62
3	Поправочные коэффициенты к сменной производительности при работе в режиме ДУ при бурении скв. глубиной: - до 10.7 пог. м - свыше 10.7 пог. м		0.65 0.62	

Согласно хронометражным данным потери в производительности бурового станка в режиме ДУ по затратам времени на выполнение вспомогательных операций в основном отмечаются за счет наращивания и разборки штанг (табл. 3). Для уменьшения этих потерь нужно, во-первых, оснастить вращатель бурового става демпфирующим адаптером для сохранения резьбы буровых штанг и уменьшения времени наращивания штанг. Во-вторых, установить на буровой станок систему автоматического наращивания и разборки штанг, при которой затраты времени на выполнение данных операций, по предварительной оценке, составят до 2 минут. Далее для уменьшения затраты времени на выполнение подготовительно-заключительных работ бурового станка в режиме ДУ можно за счет организационных мероприятий, например, создание мобильных ремонтных бригад.

**Таблица 3. Пооперационное среднее время работы бурового станка PitViper-235 в режимах ручного и дистанционного управления по данным хронометража**

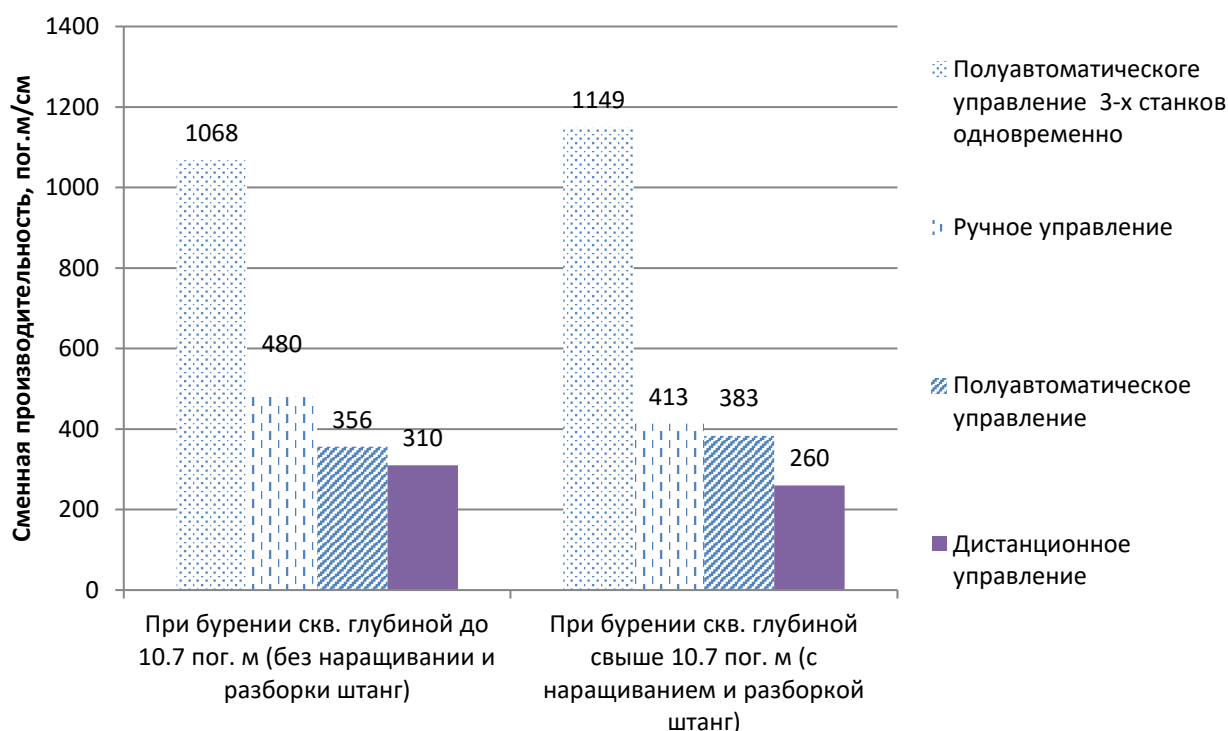
Режим работы	Переезд	Наращивание штанги	Разборка штанги	Горизонтирование станка	Снятие станка с домкратов	Бурение
РУ	2,17	3,31	3,6	0,63	0,42	16,32
ДУ	3,71	6,59	6,8	1,11	0,71	20,32

Следует отметить, что из-за усложнения управления машиной дистанционно время выполнения операций было больше в первоначальный период эксплуатации бурового станка и при приобретении операторами навыков дистанционного управления оно впоследствии уменьшилось. Этот случай в дальнейшем необходимо подробно рассмотреть и обосновать, в данный момент экспертным путем определено, что увеличение продолжительности операций за время бурения одной скважины составит 10%.

Оснадив существующий буровой станок модулем автоматического бурения, возможен его переход в режим полуавтоматического управления (автоматизирована только часть функций управление буровым станком, и продолжается требоваться управление человеком). В результате оператору нужно будет только совершить переезд станка на место работы и установить необходимые параметры бурения скважины. Операции по наращиванию и разборке штанг, горизонтированию и снятию с домкратов, продувки скважины будут осуществляться автоматически. При возникновении непредвиденных ситуаций станок подаст сигнал оператору. Предварительные расчеты производительности

бурового станка в режимах дистанционного и полуавтоматического управления на основе экспертных оценок, показали, что при бурении в режиме полуавтоматического управления отклонения в сторону повышения эффективности составило: при бурении скважины до 10.7 пог.м (без наращивания и разборки штанг) около 13%; при бурении скважины свыше 10.7 пог.м (с наращиванием и разборкой штанг) около 32% (рис. 2).

При условии адаптации и доукомплектации существующей системы дополнительным оборудованием, возможно увеличение нормы выработки (снижение трудоемкости) машиниста (оператора) бурового станка в 2,2 раза за счет внедрения многостаночного обслуживания буровых станков PitViper-235 (до 3-х ед.) в режиме полуавтоматического управления из кабины мобильного центра ДУ (рис. 2).



**Рисунок 2. Сравнительный анализ сменной выработки машиниста (оператора) бурового станка в режимах ручного, дистанционного, полуавтоматического управления и полуавтоматического управления в многостаночном режиме при управлении 3 станками.**

### Выводы

1. В ходе использования системы дистанционного управления бурового станка PitViper-235 на карьере «Юбилейный» были определены основные направления по улучшению работы компонентов таких систем в условиях Крайнего Севера:

- а) по модернизации бортового оборудования:
  - оснащение вращателя бурового става демпфирующим адаптером, для сохранения резьбы буровых штанг;
  - оснащение системой автоматического наращивания/разборки штанг и бурения скважин до заданных параметров, для увеличения производительности станка в режиме дистанционного управления;
- б) по системе связи:
  - оснащение кабины дистанционного управления мощной антенной связи или установление имеющейся антенны на подвижную платформу (с поворотом в 360 градусов и

углом наклона до 30 градусов), для устранения ограничения параметров связи, связанного с особенностями диаграмм направленности антенн;

с) по высокоточной навигации:

– оснащение кабины дистанционного управления бортовым комплектом (например, «КОБУС») для расширения функций использования системы GPS/ГЛОНАСС;

д) по бортовому программному обеспечению:

– установка системных модулей автоматического бурения для управления из кабины несколькими буровыми станками (до 3-х ед.).

Перечисленные предложения можно использовать для выбора оптимальной конфигурации бурового станка под конкретные условия безлюдной технологии.

2. Определены поправочные коэффициенты к нормативной производительности бурового станка PitViper-235 при работе в режиме дистанционного управления:

а) При бурении скважин глубиной до 10.7 пог. м – 0.65;

б) При бурении скважин глубиной свыше 10.7 пог. м – 0.62.

Вышеуказанные коэффициенты позволяют скорректировать расчёты для определения затрат рабочего времени на буровых участках.

3. Использование системы дистанционного управления на горном оборудовании позволяет обрабатывать глубокие горизонты карьеров в условиях высокой загазованности, а также в границах опасных по геомеханическим условиям зон от бортов и уступов.

4. Повышение уровня автоматизации на вспомогательных процессах бурения, создает возможность внедрения многостаночного обслуживания, что позволит повысить норму выработки машиниста (оператора) бурового станка, а также снизить трудоемкость и соответственно потребность в высококвалифицированных кадрах за счет снижения численности машинистов буровых станков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акишев А.Н., Лель Ю.И., Ильбульдин Д.Х., Мусихина О.В., Глебов И.А. Технологические решения по вскрытию и обработке глубоких горизонтов нюрбинского карьера АК "АЛРОСА" // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. № 7. С. 4-12.
2. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А. Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений // Горный журнал. 2017. № 11. С. 60-64.
3. Артемьев В.Б., Захаров В.Н., Галкин В.А., Федоров А.В., Макаров А.М. Стратегия, тактика и практика инновационного развития открытых горных работ // Уголь. 2017. № 12 (1101). С. 6-19.
4. Рыльникова М.В., Федотенко В.С., Есина Е.Н. Применение интеллектуальных систем и технологий при открытой разработке угольных месторождений с высокими вскрышными уступами // Горный журнал. 2018. № 1. С. 32-36.
5. Дубинкин Д.М. Современное состояние техники и технологий в области автономного управления движением транспортных средств угольных карьеров // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 6 (146). С. 8-15.
6. Карлик А.Е., Платонов В.В. Организационно-управленческие инновации: резерв повышения конкурентоспособности российской промышленности // Экономическое возрождение России. 2015. № 3 (45). С. 34-44.
7. Костровицкий С.И., Специус З.В., Яковлев Д.А., Фон-Дер-Флаасс Г.С., Суворова Л.Ф., Богуш И.Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции // Акционерная Компания «АЛРОСА» Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие (НИГП); ФАНО; Институт геохимии СО РАН. Мирный, 2015.

8. Ильбульдин Д.Х., Конури́н А.И. Совершенствование методики расчета технико-экономических показателей производительности горно-шахтного оборудования // В сборнике: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. сборник докладов. 2019. С. 329-336.
9. А.Н. Акишев, И.В. Зырянов, Б.Н. Заровняев, Г.В. Шубин и др. Формирование рабочей зоны глубоких кимберлитовых карьеров / Новосибирск: Наука, 2015. – 204 с.
10. Единые нормы выработки (времени) на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Бурение. – НИИ труда, Москва, 1984 г.
11. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – В.С. Корольюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин, изд. «Наука», Москва, 1985 г.

УДК.622.224: 622.271.7: 624.138.3

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЗЕМСНАРЯДА 300-40 НА ГЛУБОКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПЕСЧАННО-ГРАВИЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

МЕДВЕДЬ Н.В., ЕГОРОВА Е.Л., МОРОЗОВ В.Н.

Сибирский федеральный университет

**Аннотация.** В статье приводятся результаты работы земснаряда на глубоком месторождении песчано-гравийных материалов. Было установлено, что при диаметре всасывающего трубопровода, превышающего диаметр входной камеры смешения на 150 мм фактический напор от эжектора, не превышает одного метра, а при увеличении подачи землесоса в результате резкого скачка гидравлического сопротивления приводило к срыву вакуума. Также установлено, что влияние на расчетную степень сжатия струйного аппарата возрастает с увеличением коэффициента инжекции и входной скорости инжектируемого потока.

**Ключевые слова:** месторождение песчано-гравийных материалов, земснаряд, эжекторное устройство, струйные аппараты, сопло, камера смешения, напор, коэффициент инжекции.

## **EXPERIENCE OF APPLICATION OF THE DIGGER 300-40 AT DEEP DEPOSITS OF SAND-GRAVEL MATERIALS**

MEDVED N.V., EGOROVA E.L., MOROZOV V.N.

Siberian federal university

**Abstract.** The article presents the results of the dredger in a deep deposit of sand and gravel materials. It was found that when the diameter of the suction pipe exceeds the diameter of the inlet mixing chamber by 150 mm, the actual pressure from the ejector does not exceed one meter, and with an increase in the supply of the suction pump as a result of a sharp jump in hydraulic resistance, the vacuum is disrupted. It was also found that the effect on the calculated compression ratio of the jet apparatus increases with an increase in the injection coefficient and the input velocity of the injected stream.

**Keywords:** sand and gravel materials deposit, dredger, ejector device, inkjet apparatus, nozzle, mixing chamber, pressure, injection coefficient.

Процессы, происходящие в струйных аппаратах, зависят в первую очередь от агрегатного состояния взаимодействующих сред.

Условия работы струйных аппаратов зависят также от упругих свойств взаимодействующих сред. Под упругими свойствами или сжимаемостью понимается значительное изменение удельного объема среды при изменении ее давления. На практике применяются струйные аппараты, в которых: а) обе среды (рабочая и инжектируемая) упруги; б) одна из сред упруга; в) обе среды неупругие.

С этих позиций можно все струйные аппараты разбить на следующие три группы: 1) аппараты, в которых агрегатное состояние рабочей и инжектируемой сред одинаково; 2) аппараты, в которых рабочий и инжектируемый потоки находятся в разных агрегатных состояниях, не изменяющихся в процессе смешения этих потоков; 3) аппараты с изменяющимся агрегатным состоянием сред. В этих аппаратах рабочий и инжектируемые потоки до смешения находятся в разных фазах, а после смешения — в одной фазе, т. е. в процессе смешения изменяется агрегатное состояние одного из потоков.

К первой группе относятся газопароструйные компрессоры, эжекторы и инжекторы, а также струйные насосы.

Ко второй группе относятся струйные аппараты для пневмотранспорта, водовоздушные эжекторы и струйные аппараты для гидротранспорта. К третьей группе относятся пароводяные инжекторы и струйные подогреватели.

Процессы, характерные для всех без исключения струйных аппаратов, описываются тремя законами [1]:

сохранения энергии

$$h_p + uh_i = (1 + u)h_c, \quad (1)$$

где  $h_p$ ,  $h_i$ ,  $h_c$  — энтальпии рабочего и инжектируемого потоков до аппарата и смешанного потока после аппарата, кДж/кг;  $u = G_i/G_p$  — коэффициент инжекции, т. е. отношение массового расхода инжектируемого потока к массовому расходу рабочего потока;

сохранения массы

$$G_c = G_p + G_i, \quad (2)$$

где  $G_c$ ,  $G_p$ ,  $G_i$  — массовые расходы рабочего, инжектируемого и смешанного потоков, кг/с;

сохранения импульса, который для камеры смешения произвольной формы записывается так

$$I_p + I_i = \int_{f_3}^{f_1} p df + I_{c_3}, \quad (3)$$

где  $I_p$ ,  $I_i$  — импульс рабочего и инжектируемого потоков во входном сечении камеры смешения, н;

$I_{c_3}$  — импульс смешанного потока в выходном сечении камеры смешения, Н;

$\int_{f_3}^{f_1} p df$  — интеграл импульса по боковой поверхности камеры смешения между сечениями. В цилиндрической камере смешения  $\int_{f_3}^{f_1} p df = 0$ .

Импульс потока в любом сечении

$$I = Gv + pf, \quad (4)$$

где  $G$  — массовый расход, кг/с;  $v$  — скорость, м/с;  $p$  — давление, Па (н/м<sup>2</sup>);  $f$  — сечение, м<sup>2</sup>.

Известно, что все грунтовые насосы имеют ограничения всасывающей способности 5–6 м вод. ст. Это позволяет при палубном расположении насоса на земснаряде разрабатывать подводный карьер на глубину до 10 м при плотности пульпы не выше 1,1–1,15 т/м<sup>3</sup>. При трюмном размещении насоса на земснаряде глубина разработки карьера может быть увеличена до 12–13 м [1].

Но во многих месторождениях песок и гравий могут залегать много ниже возможности разработки грунтов обычными земснарядами. Так, например, в нефтеносном бассейне Западной Сибири пески залегают на глубине до 20–30 м, а для освоения заболоченных месторождений необходимо поднять площадки добычи и дороги насыпью песка на 3–4 м, что можно выполнить только с помощью земснарядов.

В этих условиях необходимо было провести модернизацию ряда земснарядов для разработки грунтов до 15 – 25 м путем установки эжектирующих устройств. Для этого необходимо было установить ряд параметров. Одним из важнейших величин является отношение площади сечения рабочего сопла к площади выходного сечения. При малой величине отношения аппараты являются высоконапорными. Такие аппараты развивают высокую степень сжатия, но характеризуются низким коэффициентом эжекции. При увеличении отношения снижается степень сжатия аппарата и растет коэффициент эжекции.

Важное значение для получения оптимальной характеристики эжектора имеет соосность сопла и диффузора. Опыт показывает, что отклонение элементов струйного аппарата от соосности может существенно снижать предельное противодавление и коэффициент эжекции [2].

Основным осевым размером эжектора является расстояние от среза сопла (выходное сечение сопла) до входа в цилиндрическую часть диффузора. Этот размер определяется формой струи, вытекающей из сопла.

Удаление сопла от камеры смещения существенно ухудшает работу аппарата, так как в этом случае диаметр конечного сечения свободной струи превышает диаметр входного сечения камеры смещения. Свободная струя вносит в камеру смещения больше газа, чем может пропустить камера смещения, что вызывает обратные токи среды и повышенные потери энергии.

До недавнего времени разработка карьеров с помощью средств гидромеханизации относилась к строительным работам, но в настоящее время эти работы отнесены законодательно к горным работам с повышенными требованиями к производству работ, в том числе полной выемки промышленных запасов песка и гравия.

Для обоснования параметров осевых размеров струйных аппаратов были проведены промышленные эксперименты на аппаратах второй группы на одном из месторождений песчано-гравийных материалов с целью получения напора перед грунтовым насосом в 3—4 м вод ст. для увеличения глубины разработки карьеров песка и гравия до 20—30 м.

В качестве основной предпосылки для проведения исследований была принята гипотеза, согласно которой при расчете струйных аппаратов оптимальное расстояние сопла от камеры смещения определяется из условия, что при расчетном коэффициенте инжекции конечное сечение свободной струи равно входному сечению камеры смещения;

Участок для промышленного эксперимента приурочен к аллювиальным отложениям 1-й надпойменной террасы р. Енисей и отстоит от русла реки южнее 1,5 км, возвышаясь над урезом воды на 5-15 м. Продуктивная толща месторождения сложена рыхлыми современными аллювиальными отложениями, представленными пылеватыми и мелкими песками. Подстилающими отложениями являются прослой суглинистых и гравийно-галечниковых горизонтов, многолетнемерзлые пески являются вмещающими породами и в продуктивную толщу не входят. Отмечается повсеместное присутствие полуокисленных органических остатков.

Полезная толща имеет форму пластовой залежи, не содержит прослоев пустых пород и сложена песками пылеватыми, мелкими и средними водонасыщенными. Мощность её изменяется в целом по месторождению от 5 м до 15,0 м достигая 25 м. Вскрышная порода отсутствует.

При максимальной мощности полезной толщи данного карьерного поля 25,0 м, а также максимальным уровнем высоких вод в русле реки до 5 м, расстоянием перемещения пульпы, и минимальным количеством пунктов подключения оптимальным и рациональным применением в качестве добычного оборудования был принят земснаряд типа 300-40 с землесосом 20Р-11.

Начало разработки карьера производится с введения земснаряда в забой в начале июля после спада паводковых вод до отметки уровня воды 11,5 м и менее, что позволит производить укладку грунта на необводненные территории. Вскрытие карьерного поля

происходит с проходкой пионерной разрезной траншеи. Разработка карьерного поля ведется на всю высоту уступа, т.е. сплошным уступом, на всю глубину полезного слоя до границы вечной мерзлоты или подстилающих суглинков, с последующей укладкой в сооружение, и сбросом отработанной воды в технологический отстойник. Ширина прорези составила 40 м.

Процесс непрерывной разработки грунта осуществляется путем согласованных поперечных и поступательных рабочих перемещений земснаряда с помощью папильонажных канатных устройств, при которой земснаряд удерживается и перемещается в забое с помощью папильонажных лебедок (носовых и кормовых, стальные канаты которых оснащены речными якорями и прикреплены к береговым анкерным устройствам. По мере отработки забоя и продвижения земснаряда вперед производят перекладку якорей плавкранами или мотозавознями, а также перенос береговых анкерных устройств.

Процесс грунтозабора является определяющим для обеспечения эффективной работы земснаряда. Подводную разработку слабоуплотненных слежавшихся песчано-гравийных грунтов на участках с мощностью до 25 м целесообразно вести всасыванием с эжектированием и с помощью гидравлических рыхлителей, работающих по принципу гидромонитора. Отработать участки с такой мощностью земснарядом 300-40 без эжектирования не представляется возможным. Для водоснабжения гидравлического рыхлителя применяется насос типа Д630-90.

Разработка грунта предусмотрена с использованием плавучего несамоходного землесосного снаряда, оснащенного гидрорыхлителем. Перемещение землесосного снаряда при разработке грунта производится посредством канатного папильонирования путем последовательной выработки параллельных прорезей.

Транспортирование грунта до места укладки предусмотрено по плавучим, магистральным и намывным пульпопроводам.

Укладка полезного ископаемого производится в сооружения (штабель). Размещение площадок под сооружения производится в соответствии с генеральным планом.

Технологическая схема разработки месторождения определена условиями эксперимента - разработка карьерного поля сплошным уступом глубиной 25 м, гидротранспортирование по пульпопроводу, укладка грунтов.

Как показывают экспериментальные исследования, основные закономерности, полученные для свободной струи в безграничном пространстве, могут быть также использованы с достаточной для практических целей точностью для расчета осевых размеров струйных аппаратов со сверхкритической скоростью рабочей струи.

При расчете струйных аппаратов оптимальное расстояние сопла от камеры смешения определяется из условия, что при расчетном коэффициенте инжекции конечное сечение свободной струи равно входному сечению камеры смешения.

Для того чтобы правильно выбрать положение рабочего сопла, необходимо подсчитать два размера свободной струи: длину свободной струи и диаметр свободной струи. При достижении больших параметров в грунтовом насосе развивается кавитация с последующим срывом его работы. Эти ограничения не позволяют разрабатывать карьер грунта на большую глубину и ограничивают плотность пульпы и производительность земснаряда [3, 4].

В ходе проведенных экспериментов было установлено, что при расстоянии между соплом и камерой смешения меньшем, чем по расчету, меньше расчетного и расход инжектируемой среды, увлекаемый свободной струей. Приближение сопла к камере смешения, так же, как и удаление, ухудшает работу аппарата по сравнению с расчетом. При расчете струйных аппаратов оптимальное расстояние сопла от камеры смешения определяется из условия, что при расчетном коэффициенте инжекции конечное сечение свободной струи равно входному сечению камеры смешения. Было установлено, что при диаметре всасывающего трубопровода, превышающего диаметр входной камеры смешения на 150 – 200 мм фактический напор от эжектора не превышает одного метра, а при увеличении

подачи землесоса в результате резкого скачка гидравлического сопротивления приводило к срыву вакуума. При увеличении коэффициента инжекции и входной скорости инжектируемого потока возрастает влияние на расчетную степень сжатия струйного аппарата и напротив при уменьшении коэффициента инжекции, влияние профиля входного участка на степень сжатия ослабляется. При диаметре всасывающего трубопровода 600 мм и входной камере смешения 400 мм фактический напор от эжектора не превышал одного метра при расчетном напоре в 4–5 м, а при повышенной подаче грунтового насоса устройство обращалось в гидравлическое сопротивление. Для решения этой задачи и повышения устойчивости работа аппарата была увеличена камера смешения на 200 мм.

После увеличения диаметра камеры смешения до 600 мм, был достигнут проектный напор эжектора, что позволило обрабатывать участки с глубиной залегания 25 м. Также установлено, что влияние на расчетную степень сжатия струйного аппарата возрастает с увеличением коэффициента инжекции и входной скорости инжектируемого потока. При уменьшении коэффициента инжекции влияние профиля входного участка на степень сжатия ослабляется. Поскольку в сопле степень расширения рабочего потока превышает критическую величину, постольку массовый расход рабочей жидкости определяется критическим сечением сопла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. - М.: Энергоатомиздат, 1989. -352 с.
2. Ялтанец И.М., Леванов Н. И. Справочник по гидромеханизации. – М.: «Мир горной книги», Издательство МГГУ, издательство «Горная книга», 20018, - 673 с.
3. Кожевников Н. Н. Применение и совершенствование эжектирующих устройств земснарядов //Гидротехническое строительство.1995. № 1.
4. Коржаев С.А. Пути улучшения работы гидроэлеватора и метод их расчета. -М.: ИГД им. А.А. Скочинского. 1961.

УДК 622.684.0004.69

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТГРУЖАЕМОЙ СКАЛЬНОЙ ПОРОДЫ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ РУДОУПРАВЛЕНИЯ ПАО «УРАЛАСБЕСТ»

АЛЕКСЕЕНКО В. Б.<sup>1</sup>, ХАЖИЕВ В.А.<sup>2</sup>, БАЙКИН В. С.<sup>2</sup>, ЛЕШКОВ Е. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Предприятие "Промтехвзрыв" ПАО Ураласбест,<sup>2</sup>НИИОГР, г. Челябинск

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования гранулометрического состава взорванной горной массы в условиях карьера ПАО «Ураласбест», а также анализа данных о техническом состоянии экскаваторной техники. Рассчитана средняя доля выхода негабарита по данным за 2020 г. Выявлены зависимости количества и продолжительности отказов механических узлов экскаваторов от доли негабарита во взорванной горной массе. Определен возможный экономический эффект, обусловливаемый повышением качества взрывания горной массы в условиях карьера ПАО «Ураласбест».

**Ключевые слова:** качество дробления скальных пород взрывом, гранулометрический состав, техническое состояние, экскаватор, продолжительность неплановых ремонтов, отказ оборудования.



# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE SHIPPED ROCK ON THE TECHNICAL CONDITION OF EXCAVATORS OF THE MINING DEPARTMENT OF PJSC "URALASBEST»

ALEKSEENKO V. B.<sup>1</sup>, KHAZHIEV V. A.<sup>2</sup>, BAYKIN V. S.<sup>2</sup>, LESHKOV E. Y.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Company "Promtekhvzryv" PJSC Uralasbest,  
<sup>2</sup>NIOGR, Chelyabinsk.

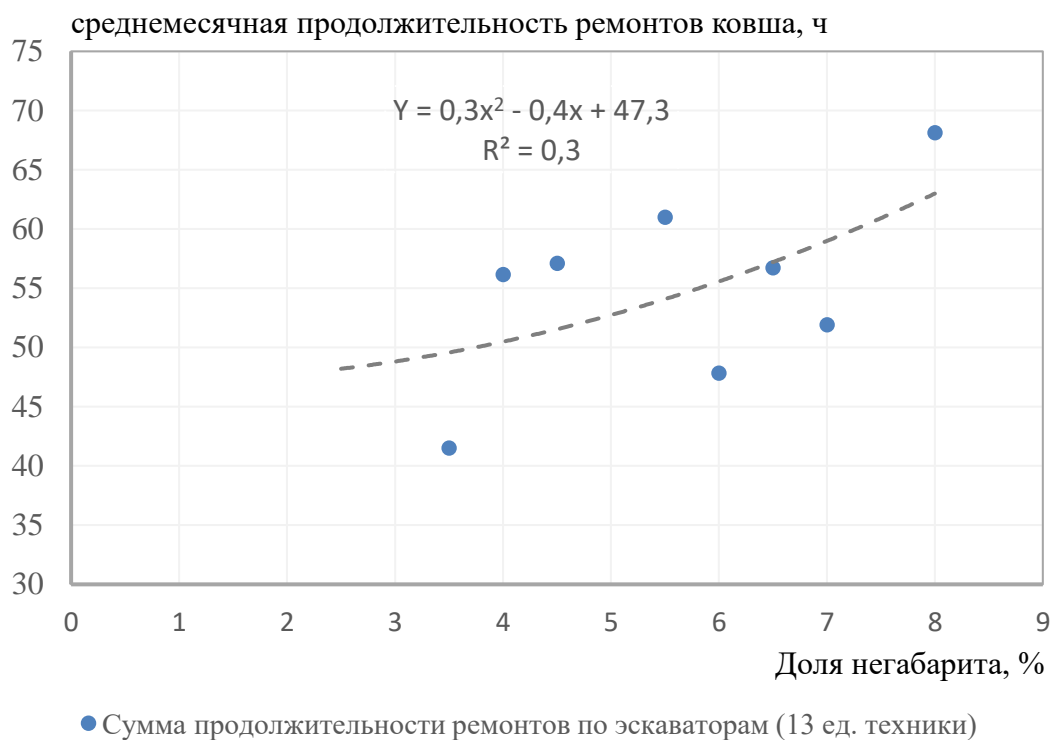
**Abstract.** The article presents the results of the study of the granulometric composition of the blasted rock mass in the conditions of the open pit of PJSC "Uralasbest", as well as the analysis of data on the technical condition of excavator equipment. The average share of oversized output is calculated according to the data for 2020. The dependences of the number and duration of failures of mechanical components of excavators on the proportion of oversized rock in the blasted rock mass are revealed. A possible economic effect caused by an increase in the quality of rock mass blasting in the conditions of the Uralasbest open pit is determined.

**Keywords:** quality of rock crushing by explosion, granulometric composition, technical condition, excavator, duration of unplanned repairs, equipment failure.

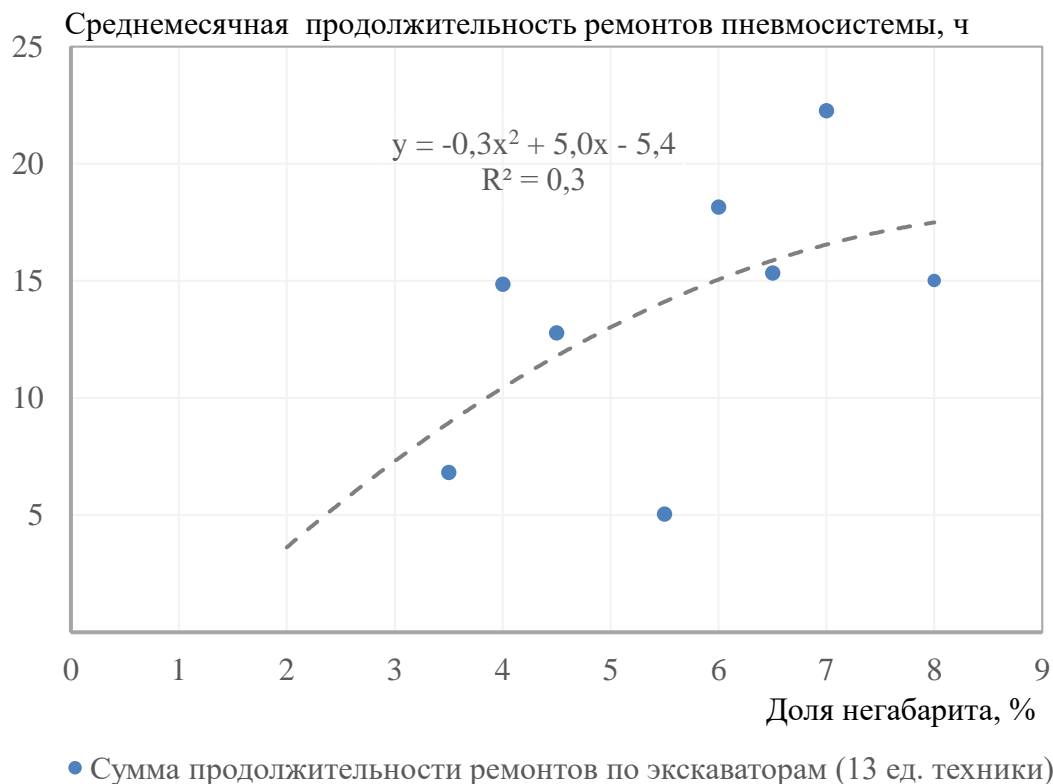
Одним из основных показателей качества дробления горных пород взрывом является гранулометрический состав массива, оцениваемый по выходу негабарита. Высокая доля негабарита обуславливает сложный динамический характер нагружения и значительные напряжения в элементах механизмов и конструкций карьерных механических лопат. Это, как правило, приводит к увеличению количества отказов этих машин, а также к увеличению их продолжительности, трудоемкости и стоимости ремонтов [1]. Анализ данных технического отдела Рудуправления о гранулометрическом составе, оцениваемого с помощью фотопланов [2, 3], позволил выявить, что в условиях карьера ПАО «Ураласбест» гранулометрический состав взорванной горной массы характеризуется средним содержанием негабарита (негабаритом принят кусок диаметром более 1200 мм) около 3-8%. При этом в отдельных случаях доля выхода негабарита достигает 20-25%, что значительно снижает ресурс узлов и агрегатов экскаватора.

Оценка продолжительности ремонтных простоев, приходящихся на узлы и механизмы добычных экскаваторов Рудуправления, позволила установить, что не менее 50% неплановых простоев этих машин связаны с повреждением, либо с отказом узлов и механизмов напрямую подверженных влиянию качества дробления горной массы взрывом. Отмеченные обстоятельства обусловили необходимость исследования влияния степени дробления горной породы взрывом на техническое состояние экскаваторов Рудуправления.

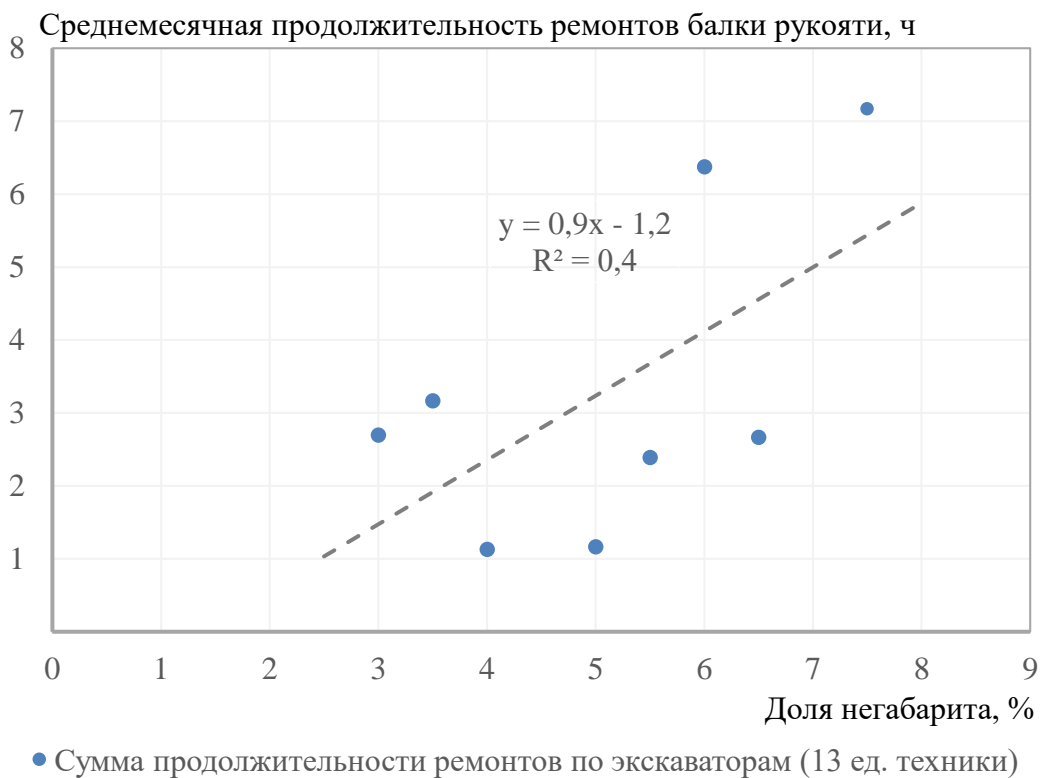
В результате обработки сведений, содержащихся в отчете по контролю качества ремонтов парка добычных экскаваторов за период январь 2019 – февраль 2021 гг., а также оценки техническим отделом Рудуправления гранулометрического состава взорванных блоков были выявлены зависимости продолжительности простоев экскаваторов по причине повреждения ковшей, балки рукояти, стрелы, а также отказов пневмосистемы от доли негабарита (рис. 1–4).



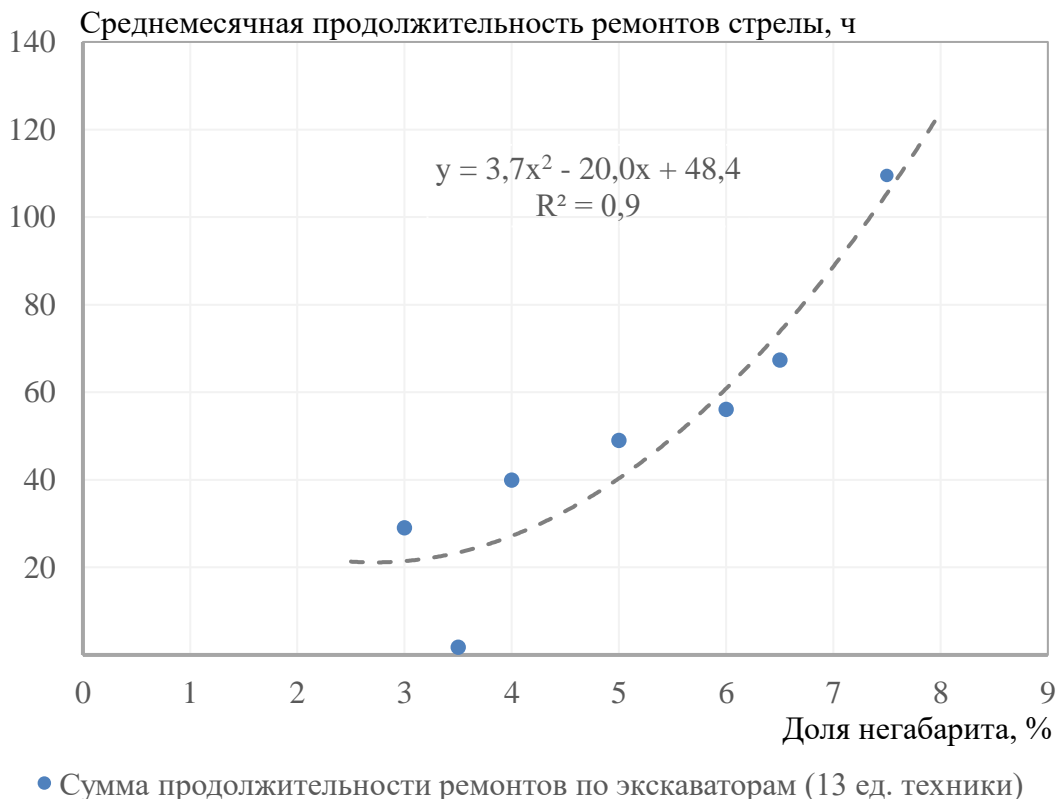
**Рисунок 1. Зависимость среднемесячной продолжительности ремонтов ковша от доли негабарита**



**Рисунок 2. Зависимость среднемесячной продолжительности ремонтов пневмосистемы от доли негабарита**

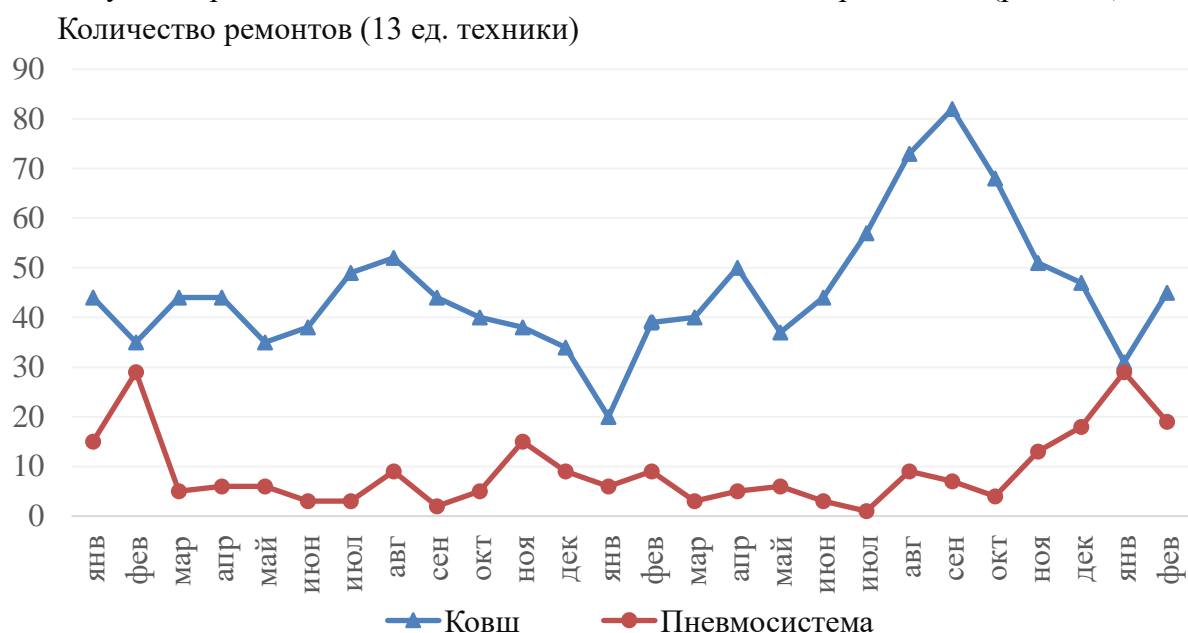


**Рисунок 3. Зависимость среднемесячной продолжительности ремонтов балки рукояти от доли негабарита**

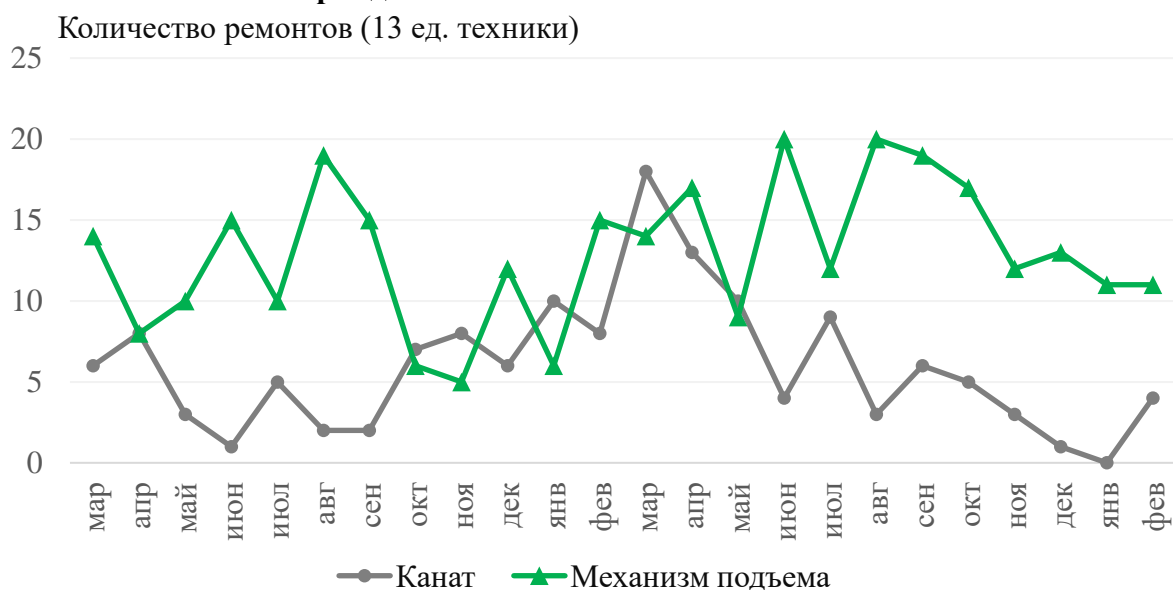


**Рисунок 4. Зависимость среднемесячной продолжительности ремонтов стрелы от доли негабарита**

Следует отметить, что по ряду исследуемых механических узлов экскаваторов было выявлено отсутствие тесной связи между продолжительностью устранения их отказов и увеличением доли негабарита, тогда как данная связь вероятнее всего должна была присутствовать. В ходе выявления причин отсутствия данной связи установлена взаимозависимость между отказами сопряженных узлов экскаваторов: рост количества сбоев по одним узлам приводил к снижению количества сбоев по сопряженным (рис. 5–6).



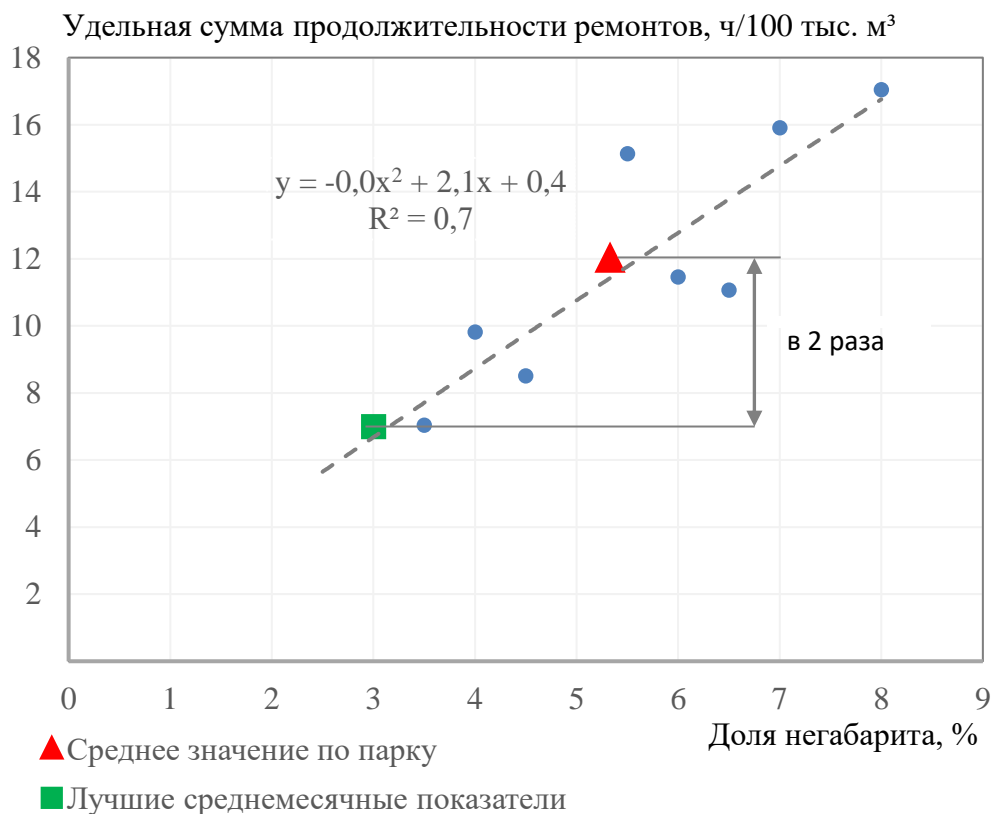
**Рисунок 5. Изменение количества ремонтов парка забойных экскаваторов по причинам повреждений ковша и отказов пневмосистемы**



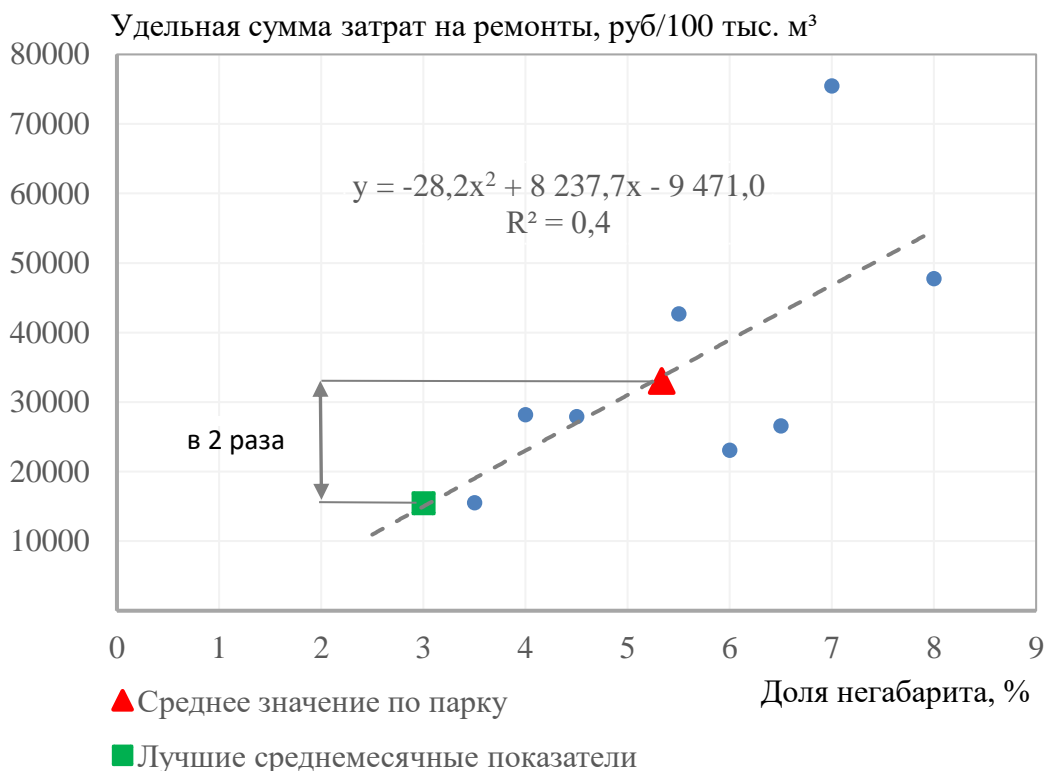
**Рисунок 6. Изменение количества ремонтов парка забойных экскаваторов по причинам повреждений каната и механизма подъема**

Апробация данных взаимозависимостей со специалистами Рудуправления позволила установить, что при устранении отказов одних узлов происходит контроль состояния сопряженных узлов и при необходимости их ремонтное обслуживание, что не фиксируется в системе учета как время ремонта этого узла [4]. Данное обстоятельство послужило обоснованием к формированию обобщенных зависимостей продолжительности и стоимости

устранения отказов забойных экскаваторов от доли негабарита во взорванной горной массе, представленных соответственно на рис. 7 и 8.



**Рисунок 7. Зависимость удельной суммы продолжительности ремонтов экскаваторов от доли негабарита**



**Рисунок 8. Зависимость удельных затрат на проведение ремонтов экскаваторов от доли негабарита**

На основе выявленных зависимостей были произведены расчеты возможного экономического эффекта, обусловливаемого снижением продолжительности и стоимости устранения отказов добычных экскаваторов, связанных с показателями гранулометрического состава взорванной горной массы в забое, при условии обеспечения качества дробления взорванной горной массы в забое, определяемого содержанием негабаритного куска не более 3%. Определено, что при повышении качества дробления горной породы продолжительность неплановых простоев по причинам отказов исследуемых узлов для парка из 13-ти экскаваторов (ЭКГ-10 и ЭКГ-8) может сократиться на 41 %, а возможный годовой экономический эффект от сокращения затрат на устранение отказов и сокращения продолжительности простоев добычных экскаваторов может составить 82 млн. руб.

Проведенное исследование влияния гранулометрического состава отгружаемой скальной породы на техническое состояние экскаваторов, является основанием экономического обоснования целесообразности вложения средств на повышение качества дробления взрывом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Л.И., Коростылев В.А., Хан К.О. Оценка технического состояния экскаваторов для определения целесообразности их дальнейшей эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 12–16.
2. Барон Л.И. Кусковатость и методы ее измерения. – М.: Изд-во АН СССР, 1982. – С. 121.
3. Методы ведения взрывных работ, Часть 1, Разрушение горных пород взрывом, Учебник для вузов, Кутузов Б.Н., 2009.
4. Захаров А. Ю. Влияние некоторых факторов на производительность карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / А. Ю. Захаров, А. Ю. Воронов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014 - №1. – с. 74

УДК: 621.313; 621.867.2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ РУДОПОДГОТОВКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ РУДЫ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

ЭШМУРОДОВ З. О.<sup>1</sup>, АРЗИЕВ Э. И.<sup>1</sup>, ИСМОИЛОВ М. Т.<sup>1</sup>, БОБОЖАНОВ М. К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Навоийский государственный горный институт

<sup>2</sup>Ташкентский государственный технический университет

**Аннотация.** Рост цен на электроэнергию и изменение структуры тарифов вызывают растущую потребность эффективное и экономичное использование электроэнергии, особенно в энергоемких промышленных технологических процессов, такие как транспортировка горной массы С увеличением цены на электроэнергию продолжают расти, возрастающая потребность в управлении энергопотреблением требует исследование энергоэффективных режимов работы для энергоемких установок, таких как конвейерные ленты. Одним из факторов влияющих на работу ленточных конвейеров является, сопротивление в транспортных системах существенно влияет на энергоэффективность транспортной системы.

**Ключивые слова:** конвейер, механические сопротивление, нагрузка, модель, энергоэффективность.

# INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF WATER TREATMENT AND ORE TRANSPORTATION SYSTEMS OF THE PROCESSING COMPLEX

ESHMURODOV Z. O., ARZIYEV E. I., ISMOILOV M. T., BOBOZHANOV M. K.

Navoi State Mining Institute  
Tashkent State Technical University

**Abstract.** Rising electricity prices and changing tariff structures are causing a growing need for efficient and economical use of electricity, especially in energy-intensive industrial technological processes, such as the transportation of rock mass. With increasing electricity prices continue to rise, the increasing need for energy management requires the study of energy-efficient operating modes for energy-intensive installations, such as conveyor belts. One of the factors affecting the operation of belt conveyors is that the resistance in transport systems significantly affects the energy efficiency of the transport system..

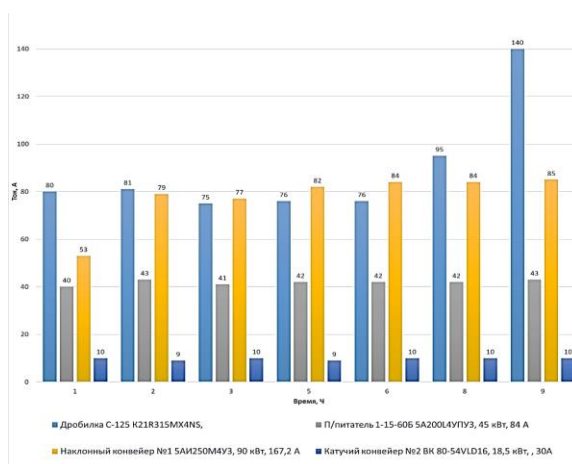
**Keywords:** conveyor, mechanical resistance, load, model, energy efficiency.

Конвейерные ленты используются в различных отраслях промышленности, включая энергетику, горнодобывающую промышленность и переработка полезных ископаемых. Конвейерные технологические достижения приводят к увеличению длины конвейера, ленты вводятся в эксплуатацию. Таким образом, потребление энергии каждой отдельной ленточной конвейерной единицей становится все более значительным.

Рост цен на электроэнергию и изменение структуры тарифов вызывают растущую потребность эффективного и экономичного использования электроэнергии, особенно в энергоемких промышленных технологических процессах, таких как транспортировка горной массы [1–3]. Эффективная и рентабельная работа ленточных конвейеров, как и для любого другого установки, требует точных моделей установки для использования при оптимизации алгоритмов [3].

Энергоэффективность в ленточных конвейерах достигается за счет согласования скорости ленты с подачей входящего материала скорости, чтобы максимизировать массу материала, транспортируемого на единицу длины и, следовательно, на единицу энергии [4]. Несоответствие между скоростью и скоростью подачи существует, потому что на практике конвейеры, как правило, работают на несколько ниже полной мощности. Ленточные конвейеры обычно увеличиваются в размерах при проектировании, чтобы удовлетворить предполагаемое расширение мощностей, а иногда и стандартизация размеров компонентов с целью снижения затраты на обслуживание [5]. В горнодобывающей промышленности конвейеры могут загружаться экскаватором, загрузочного бункера в результате чего при неравномерной загрузке ленты, общий расход материала составляет 50% -70% от полной мощности [6].

Диаграммы нагрузок электродвигателей оборудования технологической схемы рудоподготовки и транспортировки руды приведены на рис.1.



**Рисунок 1. Диаграммы нагрузок электродвигателей оборудования технологической схемы рудо подготовки и транспортировки руды**

Проведенный анализ работы электродвигателей оборудования технологической схемы рудоподготовки и транспортировки руды показывает, что электродвигатели работают менее чем на половину своей номинальной нагрузки: от 33,70 – 50,39 % номинальной нагрузки [9].

Расчетом установлено, что существующие технологические оборудования технологической линии рудоподготовки транспортировки руды перерабатывающего комплекса работает недогрузкой и с целью увеличения производительности и уменьшения энергозатрат целесообразно применение регулируемого электропривода на конвейерных линиях с учетом влияния технических и технологических факторов на энергоэффективность горнотранспортных систем.

В структуре ленточного конвейера и его подсистемах происходят потери. Потери в преобразователе возникают в потоке мощности от сетевого подключения к системе ленточного конвейера, в двигателе и в трансмиссии. Мощность передачи  $P_{пер}$ , необходимая на привод барабана, рассчитывается по формуле:

$$P_{пер} = F_{общ}(J, H)v(J, H). \quad (1)$$

Механические сопротивления, возникающие в результате процесса транспортировки, вызванные трением ленты и ролика и из-за сопротивления наклона, находятся в составе общего сопротивления  $F_{общ}$ . Общие сопротивления, а также скорость движения ленты  $v$  напрямую зависят от размеров нагрузки, т.е. от скорости грузопотока  $J$  и от высоты подъема  $H$ .

Для расчета механических потерь в ленточном конвейере необходимо разработать модель потерь. Обычные методы, такие как ISO 5048 и DIN 22101 допускают только зависящие от нагрузки, но никак не расчет сопротивления в зависимости от скорости. Зависимость сопротивлений от скорости важна для определения энергосбережения между приводами с регулируемой и нерегулируемой скоростью.

Метод индивидуальных сопротивлений позволяет произвести расчет сопротивления в зависимости от скорости и анализа параметров, таких как ширина ленты, сила натяжения и скорость ленты. Существует несколько типов сил сопротивления в конвейерной системе.

Для расчета механических потерь в ленточном конвейере необходимо разработать модель потерь. Обзор современных методов расчета сопротивлений в конвейерных системах приведен в работе [7]. Обычные методы, такие как ISO 5048 и DIN 22101 допускают только зависящие от нагрузки, но никак не расчет сопротивления в зависимости от скорости. Зависимость сопротивлений от скорости важна для определения энергосбережения между приводами с регулируемой и нерегулируемой скоростью.



Общее сопротивление  $F_{\text{общ}}$  разделен на три группы:

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{осн}} + F_{\text{нак}} + F_{\text{шунт}} \quad (2)$$

Основное сопротивление  $F_{\text{осн}}$  включает:

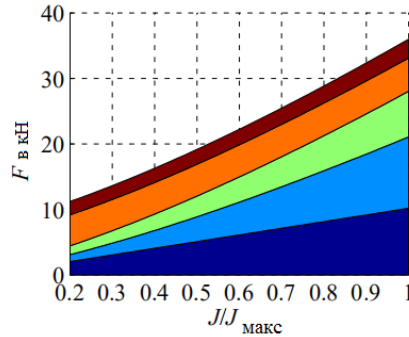
- сопротивление деформации и качению, увеличивается с увеличением длины конвейерной ленты;
- сопротивление наклона  $F_{\text{нак}}$ : из-за веса ленты увеличивается;
- шунтирующие резисторы  $F_{\text{шунт}}$ : содержит несколько местных сопротивлений, независимо от длины и высоты конвейерной ленты.

Расчетные сопротивления в зависимости от выбора типа электроприводов (нерегулируемых и регулируемых), показано на рис. 2а и 2б.



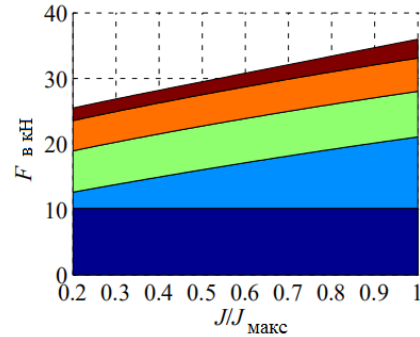
$F_{\text{нак}}$  – сопротивление наклона;  $F_{\text{И}}$  – резонансное сопротивление при изгибе;  
 $F_{\text{наж}}$  – нажимное сопротивление качению;  $F_{\text{кач}}$  – сопротивление качению;  
 $F_{\text{доб}}$  – добавочное сопротивление

а) работа от сети



а) конвейерная система с двигателями без регулирования

б) регулирование скоростью



б) конвейер с регулируемыми по скорости двигателями

**Рисунок 2. Расчетное распределение сопротивлений  $F$  в зависимости от расхода  $J$**

Основное сопротивление оказывает наибольшее влияние на низких уклонах и длинных конвейерных лентах. Он подразделяется на сопротивление натяжных роликов  $F_{\text{нр}}$  и сопротивление изгибу  $F_{\text{изб}}$ . Рассматривается отдельно для верхнего диапазона (индекс  $0$ ) и нижнего диапазона (индекс  $u$ ). Основное сопротивление  $F_{\text{H}}$  рассчитывается по формуле [7]:

$$F_{\text{H}} = (F_{\text{R}0} + F_{\text{W}0}) + (F_{\text{R}u} + F_{\text{W}u}). \quad (3)$$

Сопротивление направляющего ролика  $F_{\text{нр}}$  возникает на направляющем ролике за счет фрикционного движения подшипников и груза с конвейерной ленты, и оно меньше сопротивления изгибу. Сопротивление направляющих роликов увеличивается с увеличением нагрузки на метр длины  $m'_L$  и зависит только от скорости ленты  $v$ .

Сопротивление изгибу  $F_{\text{изг}}$  делится на три части. Это сопротивление качению по вдавливанию  $F_{\text{вд}}$ , что происходит, когда лента проходит через промежуточные ролики, сопротивление изгибным колебаниям  $F_{\text{ик}}$ , которое возникает за счет изгиба ленты вперед и назад, а сопротивление изгибу материала конвейера  $F_{\text{им}}$ , которое происходит при фрикционном движении транспортируемого материала. Сопротивление изгибному изгибу и сопротивление изгибу  $F_{\text{ии}}$  определяется по формуле [7]:

$$F_{\text{из}} = F_{\text{вд}} + F_{\text{ик}} + F_{\text{им}} = F_{\text{вд}} + F_{\text{ик}}. \quad (4)$$

От 50 до 70% сопротивление качению при вдавливании  $F_{вд}$  имеет наибольшую долю в сопротивлении изгибу  $F_{из}$ . Нагрузка, действующая на промежуточную станцию через конвейерную ленту, приводит к углублению в накладках ленты. В результате демпфирования внутреннего материала деформационная работа, связанная с движением ленты, полностью не восстанавливается.

Сопротивление изгибу и изгибу  $F_{ии}$  суммирует сопротивление колебаниям при изгибе  $F_{ки}$  и сопротивление  $F_{г}$  перемещаемого груза.

Наклонное сопротивление  $F_{нак}$  пропорционально общему напору  $H$  и длине. Масса  $m'_L$  транспортируемого груза [7]:

$$F_{нак} = Hgm'_L. \quad (5)$$

Вторичное сопротивление  $F_{ш}$  в значительной степени содержит сопротивления, возникающие в результате задачи перемещаемых грузов. Поскольку эти сопротивления не зависят от длины транспортировки, шунтирующее сопротивление в ленточных конвейерах небольшой длины имеет большую долю, чем основное сопротивление. Сопротивление шунта определяется по формуле [8]:

$$F_n = F_{уск} + F_{очс} + F_{тр} + F_{из} + F_{птб}. \quad (6)$$

Составляющие сопротивления движению:

–  $F_{уск}$  возникает в результате увеличения скорости потока в точке подачи. Это сопротивление представляет собой наибольшую долю вторичного сопротивления при более высоких скоростях ленты;

–  $F_{тр}$  описывает трение транспортируемого материала о стенки желоба точки подачи;

–  $F_{оч}$  включает трение ленточного очистителя о конвейерную ленту;

–  $F_{из}$  описывает сопротивление, которое возникает из-за изгиба конвейерной ленты на барабане;

–  $F_{тр}$  возникает из-за трения в подшипниках не приводных барабанов.

Таким образом, сопротивление в транспортных системах существенно влияет на энергоэффективность транспортной системы.

Повышение энергоэффективности в конвейерных установках приводит к снижению затрат на технологическом цикле. Преимущества повышения энергоэффективности:

– меньшие размеры компонентов электрического и механического привода (экономия инвестиционных затрат);

– увеличенный срок службы компонентов привода (экономия на затратах на обслуживание);

– меньше усилий для удаления отработанного тепла и снижение потребления ресурсов, а также уменьшение воздействия на окружающую среду.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эшмуродов З.О., Бобожанов М.К. Исследование эффективности конвейеров горнотранспортных систем // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №3. – С. 109-112.
2. Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О. Исследование эффективности работы ленточных конвейеров горнотранспортных систем // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2020. – №2. – С. 65-73.
3. Санакулов К.С. Навоийский горно-металлургический комбинат: слагаемые успеха // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2013. – №2. – С. 3-8.
4. Петухов С.В. Исследование электропотребления и разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности горных работ предприятий с открытой разработкой угля // Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва, 2019. – 168 с.

5. Монастырский В.Ф. Снижение энергозатрат при транспортировании насыпных грузов с помощью управления скоростью ленты конвейера / Монастырский В. Ф., Максютенко В. Ю., Кирия Р. В., Бужинский И. А. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – 2007. – №10. – С. 35 – 37
6. S. Zhang und X. Xia. A new energy calculation model of belt conveyor. In IEEE AFRICON, 2009.-pp.694-699 (14)
7. G.Kunze, H. Göhring und K. Jacob. Baumaschinen: Erdbau- und Tagebaumaschinen. Vieweg+TeUral Branchner, 2009. с. 293-297
8. S. Zhang und X. Xia. Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors. Applied Energy, 88: 2011. pp. 3061 – 3071 (14)
9. Bobojanov M.K., Eshmurodov Z.O., Ismoilov M.T., Arziev E.I., Togaeva G.Z. Study of the efficiency of conveyors of mining transport systems of mining complexes // E3S Web Conf. Volume 177, 2020 XVIII Scientific Forum «Ural Mining Decade» (UMD 2020) 08 July 2020 E3S Web of Conferences 177, 03023 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017703023>

УДК 622.273.3

## ВЫБОР АВТОГРЕЙДЕРА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ НА КРУПНЫХ КАРЬЕРАХ

АРЕФЬЕВ С. А.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** Обоснована необходимость более широкого использования автогрейдеров для выполнения дорожных работ на горнодобывающих предприятиях. Приведены характеристики моделей грейдеров, предназначенных для выполнения работ по строительству и эксплуатации карьерных дорог. Разработаны рекомендации и определены основные параметры автогрейдеров, которые целесообразно использовать на крупных карьерах и разрезах, эксплуатирующих технологические автосамосвалы особо большой грузоподъемности.

**Ключевые слова:** Автогрейдер, дорожные работы, проезжая часть автодороги, автосамосвалы особо большой грузоподъемности, ширина отвала.

## CHOOSING A GRADER FOR THE CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF ROADS IN LARGE QUARRIES

AREFEV S. A.

Ural State Mining University

**Abstract.** The necessity of wider use of motor graders for performing road works at mining enterprises is justified. The characteristics of grader models designed for the construction and operation of quarry roads are given. Recommendations have been developed and the main parameters of graders that are advisable to use in large quarries and sections that operate technological dump trucks of particularly large load capacity have been determined.

**Keywords:** Grader, road works, roadway, dump trucks of particularly large capacity, the width of the blade.

В последние годы на крупных горнодобывающих предприятиях России все шире используются автосамосвалы особо большой грузоподъемности. Сегодня более 300 машин Белорусского автозавода грузоподъемностью 220 тонн работают на разрезах Кузбасса.

Аналогичные самосвалы эксплуатируются в ООО «Солнцевский угольный разрез» на Сахалине, в АО «Разрез Тугнуйский» (Республика Бурятия), на разрезе «Нерюнгринский» в Республике Саха (Якутия). Автосамосвалы «Комацу» 730Е, грузоподъемностью 186 тонн, работают на Михеевском комбинате в Челябинской области. На Костомукшском ГОКе уже длительное время эксплуатируются десятки автосамосвалов грузоподъемностью 220-236 тонн компаний «Катерпиллер» (CAT 793D) и «Комацу» (830Е). На карьерах Качканарского, Михайловского и Стойленского горно-обогатительных комбинатов работают БелАЗы грузоподъемностью 240 т. Еще более крупные самосвалы грузоподъемностью 320-360 тонн перевозят горную массу в АО «Разрез Талдинский», АО «Разрез Бачатский», ЗАО «Черниговец».

Цена крупных современных карьерных автосамосвалов достигает 2-3,5 млн. долларов. Опыт работы горнодобывающих предприятий России и мира показывает, что иногда затратив существенные средства на приобретение таких дорогих автосамосвалов, они не всегда уделяют должное внимание качеству автодорог в карьере. Это приводит к снижению производительности дорогих транспортных машин и существенному росту эксплуатационных расходов [1, 2].

Опыт работы горных предприятий показывает, что от 15 до 30% в структуре транспортных затрат составляют затраты, связанные с ремонтом и покупкой шин карьерных автосамосвалов. При этом срок эксплуатации 50-90 % шин меньше оптимального срока службы [3-5]. Основные причины низкой ходимости шин - это механические повреждения (от 35 до 60%) и отслоение протектора (от 17 до 30%). Это свидетельствует, о том, что важнейшей причиной роста расходов на ремонт и приобретение новых шин является низкое качество дорожного покрытия [6].

При плохом качестве дорог в карьере повышается вероятность поломки рамы автосамосвала, увеличивается расход топлива и утомляемость водителей, снижается скорость и безопасность движения.

В тоже время, качественные дороги позволяют самосвалам двигаться с более высокой скоростью и перевозить большее количество груза в течение смены. В результате на крупных карьерах появляется возможность уменьшить парк автосамосвалов – не приобретать дополнительные дорогостоящие машины. Снижаются затраты, связанные с приобретением и ремонтом шин. Существенно снижается расход дорогостоящего дизельного топлива [7-18].

Сказанное выше позволяет сделать вывод о необходимости при внедрении автосамосвалов особо большой грузоподъемности уделять большое внимание качеству дорог в карьере. Необходимо приобретение и использование при строительстве и эксплуатации карьерных дорог мощной дорожно-строительной техники (бульдозеров, автогрейдеров, катков и др.).

Автогрейдеры применяют для профилирования и планировки поверхности полотна дорог, перемещения и разравнивания грунта, гравия и щебня, устройства кюветов и откосов, выемок и насыпей. Кроме того они используются для киркования грунта и изношенного полотна дорог, а также для расчистки их от снега [19]. Использование грейдеров при строительстве и ремонте дорог позволяет повысить эффективность эксплуатации технологических самосвалов. Снижение потребления топлива автосамосвалами позволяет компенсировать затраты на приобретение горючего, израсходованного автогрейдером при обслуживании карьерных автодорог. Снижаются расходы на ремонт самосвалов, и поддержание их в работоспособном состоянии. Эта экономия перекрывает затраты на покупку автогрейдера.

Внедрение автосамосвалов особо большой грузоподъемности требует значительного увеличения ширины проезжей части карьерных автодорог. Опыт работы перечисленных выше предприятий показывает, что сегодня на них она составляет 27-31 метр (табл. 1).

**Таблица 1. Ширина проезжей части автодорог на крупных горнодобывающих предприятиях**

Предприятие	Модель автосамосвала и его грузоподъемность	Ширина проезжей части автодорог, м
ОАО «Разрез Талдинский»	БелАЗ-75600 (320 т)	31
ОАО «Разрез Бачатский»	БелАЗ-75600 (320т)	31
ОАО «Разрез Тугнуйский»	БелАЗ-75306 (220 т)	27
ОАО «Карельский окатыш»	CAT-793D (220 т)	27

В прошедшие годы на крупных карьерах, эксплуатирующих автосамосвалы грузоподъемностью 110-180 тонн, для выполнения работ по строительству и обслуживанию автодорог использовались в основном грейдеры ДЗ-98. Этот автогрейдер имеет ширину отвала 4,2 м, мощность двигателя 173 кВт, и эксплуатационную массу 19,5 тонн. Отличительными особенностями автогрейдера ДЗ-98 являются привод на все шесть колес и регулируемое давление в шинах. Основным рабочим оборудованием этого автогрейдера являются отвал и кирковщик. В качестве дополнительного оборудования вместо кирковщика может быть установлен бульдозерный отвал, который служит для выполнения вспомогательных работ (засыпка траншей, очистка дорог от снега, перемещение сыпучих материалов и др.).

Рост полной массы технологических автосамосвалов потребовал не только увеличения ширины проезжей части, но и изменения конструкции дорожных одежд. В результате возрастают объемы работ по строительству и эксплуатации карьерных автодорог. Поэтому, при использовании для транспортирования горной массы автосамосвалов грузоподъемностью 180-360 тонн, требуется использование на дорожных работах в карьерах автогрейдеров, имеющих большую ширину отвала, мощность двигателя и эксплуатационную массу, чем у грейдера ДЗ-98.

Такие мощные автогрейдеры в последние годы созданы и поставляются на горные предприятия рядом компаний [20-22]. Технические параметры некоторых из них приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Технические параметры тяжелых грейдеров**

Параметры	«Катерпиллер»			«Комацу»
	CAT 24M	CAT 18M	CAT 16M	GD 825A-2
Ширина отвала, м	7,3	5,5	4,9	4,8
Мощность двигателя, кВт	397	227	216	209
Эксплуатационная масса, т	65,84	33,71	32,41	26,35

Компания «Катерпиллер» отмечает, что ее тяжелые грейдеры моделей 24M, 18M и 16M созданы с учетом пожеланий горнодобывающих предприятий. В первую очередь это относится к крупнейшему в мире автогрейдеру модели 24M, предназначенному для работы на карьерах, эксплуатирующих автосамосвалы грузоподъемностью 180-360 т. Двигатель C18ACERT рабочим объемом 18,1 л и мощностью 540 л.с., а также большая эксплуатационная масса этого грейдера обеспечивают тяговое усилие и нагрузку на отвал, необходимые для эффективной работы в тяжелых условиях. Благодаря высокому крутящему моменту и способности двигателя стабильно работать на режимах с максимальной нагрузкой достигается мощность, необходимая для плавной работы при резких кратковременных увеличениях нагрузки на машину. Технология ACERT обеспечивает снижение температуры в камере сгорания и оптимизирует режим сгорания топлива. Эта технология позволяет снизить вредные выбросы двигателя. Шесть передач переднего хода и три передачи заднего хода специально предназначены для обеспечения максимальной производительности в

широком рабочем диапазоне при выполнении всех работ на карьерах. Система контроля помогает оператору достигать требуемого поперечного профиля. Оптимизированная кривизна отвала и большой зазор между верхней его частью и поворотным кругом при максимальном отклонении отвала назад увеличивают эффективность перемещения материала. Особое внимание при разработке машины уделялось обеспечению комфортных условий работы оператора и удобству управления. При больших размерах, эксплуатационной массе и мощности грейдер модели 24М имеет хорошую управляемость благодаря использованию двух многофункциональных джойстиков, вместо рулевого колеса и нескольких рычагов. Система управления с помощью джойстиков снижает количество движений руки и предплечья оператора почти на 78% и позволяет значительно снизить его утомляемость. Контроль за работой основных систем машины осуществляется с использованием бортовых датчиков системы VIMS. Эта система позволяет повысить техническую готовность, срок службы и производительность грейдера, снизить затраты на его эксплуатацию.

Использование при строительстве и эксплуатации дорог в карьере грейдера CAT 24М вместо менее мощного CAT 16М позволяет существенно повысить производительность оборудования и сократить сроки осуществления работ.

Компания «Катерпиллер» рекомендует [22] использовать при определении производительности автогрейдера такой показатель как площадь обрабатываемого отвалом участка ( $P$ ,  $m^2/ч$ ):

$$P=1000 V (L_e - L_o) E$$

где  $V$  – рабочая скорость, км/ч  
 $L_e$  – эффективная длина отвала, м  
 $L_o$  – ширина наложения, м  
 $E$  – эффективность работы

Рабочая скорость при конечном профилировании обычно не превышает 4 км/ч, при планировке в особо тяжелых условиях 9 км/ч, при содержании автодорог для перевозки грузов от 5 до 16 км/ч, при перемещении снега от 7 до 21 км/ч.

Эффективная длина отвала  $L_e$  равна ширине перемещаемого отвалом материала. Она составляет для грейдера модели CAT 24М – 6,33 м при значении угла захвата отвала 30 градусов и 5,17 м при значении угла захвата отвала 45 градусов. Для грейдера модели CAT 16М она составляет соответственно 4,22 и 3,45 м.

Ширина наложения  $L_o$  может быть принята равной 0,6 м

Эффективность работы ориентировочно принимают равной 0,7 – 0,85.

Площадь обрабатываемого отвалом грейдера участка при выполнении работы по содержанию дороги составляет:

- для грейдера CAT 24М:

$$P=1000 \cdot 5 (6,33 - 0,6) \cdot 0,85 = 24352 \text{ м}^2/\text{ч}$$

- для грейдера CAT 16М:

$$P=1000 \cdot 5 (4,22 - 0,6) \cdot 0,85 = 15385 \text{ м}^2/\text{ч}$$

Таким образом, при выполнении работ по содержанию дороги замена грейдера CAT 16М на более мощный грейдер CAT 24М позволяет повысить площадь обрабатываемого отвалом участка в 1,5 раза.

Расчеты, связанные с оценкой возможной производительности и парка автогрейдеров моделей 16М и 24М при содержании технологических дорог (легкий ремонт), имеющих ширину проезжей части 35 м, выполнили специалисты компании «Катерпиллер» [22]. Установлено, что при работе грейдера CAT 16М необходимо выполнить 16 проходов по участку дороги, а при использовании CAT 24М только 7 проходов. Протяженность технологических дорог, восстановленных за смену автогрейдером CAT 16М, составляет 4,79 км, а грейдером CAT 24М – 12,08 км. Если общая протяженность технологических дорог в

карьере составляет 30 км, необходимый парк грейдеров, применяемых при выполнении дорожных работ, в случае использования модели 24М будет в 2,5 раза меньше, чем при применении грейдеров модели 16М.

Важнейшим параметром автогрейдера является ширина отвала. Именно она определяет в значительной степени производительность машины. Чем больше ширина отвала грейдера, тем меньше проходов необходимо ему выполнить вдоль обслуживаемого участка автодороги.

Исходя из сказанного выше, в связи с тем, что ширина дорог в карьере и, следовательно, объем работ по их строительству и содержанию увеличивается при переходе к использованию автосамосвалов большей грузоподъемности, необходимо одновременно переходить к использованию более мощных грейдеров с большей шириной отвала.

На основе выполненных расчетов разработаны рекомендации по выбору целесообразной ширины отвала и мощности двигателя автогрейдера в зависимости от грузоподъемности технологических автосамосвалов, перемещающихся по дорогам в карьере.

Предложено при грузоподъемности автосамосвалов 30-110 т применять грейдеры с шириной отвала 3,5 – 4,8 м и мощностью двигателя 120-210 кВт.

Если используются машины грузоподъемностью 130-260 т, то ширина отвала грейдера должна составлять 5,1 – 6,6 м, а мощность двигателя 230-340 кВт.

Для строительства и эксплуатации дорог, по которым перемещаются самосвалы грузоподъемностью 280 – 360 т, необходимо использовать грейдеры с шириной отвала 6,9-7,5 м и мощностью двигателя 350-400 кВт.

Использование этих рекомендаций при выборе модели автогрейдера для дорожных работ в крупном карьере позволит:

- оптимизировать парк автогрейдеров на горнодобывающем предприятии;
- снизить затраты, связанные со строительством и эксплуатацией карьерных автодорог;
- повысить эффективность работы дорожной службы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карьерная техника ПО «БЕЛАЗ»: Справочник /Под ред. П. Л. Мариева, К. Ю. Анистратова. М.: ООО НТЦ «Горное дело», 2007. 456 с., ил.
2. Потапов М. Г., Биденко А. В., Белозеров В. И. Эксплуатация карьерных автосамосвалов особо большой грузоподъемности //Обзор ЦНИЭИуголь. М., 1985. 41 с. 3. Циперфин И.М., Штейн В.Д. Карьерный автотранспорт: Справочник. М.: Недра, 1992. 415 с.
3. Зырянов И. В., Цымбалова А.И. Ходимость крупногабаритных шин в условиях Удачинского ГОКа // Горный журнал, 1995, № 6, С, 16-17.
4. Золотарь И.А. Экономико-математические методы в дорожном строительстве – М. Транспорт, 1974 – 248 с.
5. Кулешов А. А. и др. Анализ вариантов транспортирования руды от карьера до обогатительной фабрики в условиях АК «АЛРОСА». Горный журнал – 2003 - № 6 – с. 13-17.
6. Зырянов И. В., Зырянов Н.В. Исследование скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов в различных дорожных условиях // Цветная металлургия, № 2, 1994, С. 24-26.
7. Бусел Б. У. Категории карьерных дорог. // Автомобильная промышленность, № 2, 2003, С. 17 - 19.
8. Коллинз Дж., Фитас К., Сингал Рей К. Проектирование, строительство и эксплуатация карьерных автодорог //Международный журнал по открытым горным работам. 1992. № 1. С. 45 – 54.

9. Костельов М. П., Пахаренко Д. В. Опыт фирмы «ВАД» по устройству плотных, прочных и жестких щебеночных дорожных оснований //Дорожная техника: каталог-справочник. СПб.: Славутич, 2000. С. 12-23.
10. Кулешов А. А., Тымовский Л. Г. Эксплуатация карьерного транспорта в условиях Севера. М.: Недра, 1973. 144 с.
11. Сидяков В. А., Колчанов А. Г., Стенин Ю. В. Карьерные автомобильные дороги. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2011. 144 с.: ил.
12. Богомолов С. В. Выбор оптимальных параметров карьерных автомобильных дорог //Повышение эффективности дорожного строительства в условиях Сибири. Кемерово, 1991. С. 127-132.
13. Строительство автомобильных дорог. Том 1. Учебник для вузов /Под ред. В. К. Некрасова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1980. 416 с.
14. Строительство автомобильных дорог. Том 2. Учебник для автомобильно-дорожных институтов /под ред. В. К. Некрасова. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Транспорт, 1980. 421 с.
15. Строительство автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника /Бочин В. А., Вейцман М. И. Зейгер, Е. М. и др. /Под. ред. Бочина В. А. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1980. 512 с.
16. Забелин В. В., Зырянов И. В., Еремеев В. Н., Шурылин В.В. Строительство и эксплуатация технологических автодорог на кимберлитовых карьерах Якутии // Колыма, 1994, № 6, С. 29-33.
17. Зырянов И. В., Дмитриева Ж. Н. Пути повышения качества технологических дорог в АК «АЛРОСА» // Международная научно-техническая конференция «Промышленный транспорт на пороге XXI». Тезисы докладов. М., 4-6 марта 1998, С. 199-203.
18. Ронинсон Э.Г. Автогрейдеры. М., 1986 276 с.
19. Столбов В. В., Максимов С. Е., Скороходов Д. А. Анализ состояния рынка и технического сервиса импортной техники в дорожно-строительной отрасли //Дорожная техника: каталог-справочник. СПб.: Славутич, 2003. С. 56-64.
20. Справочник по техническим характеристикам и применению Komatsu. Издание 30, 2009. 928 с.
21. Справочник по эксплуатационным характеристикам Caterpillar. № 42 публикация компании Caterpillar Inc., Пеория, шт. Иллинойс, США. 2012. 1598 с.

УДК 551.4; 556.3; 622.06

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН НА СРЕДНЕСАРМАТСКИЙ ВОДОНОСНЫЙ ГОРИЗОНТ НА СЕВЕРО-СТАВРОПОЛЬСКОМ ПХГ

ГОЛОВАНОВ К.С.

Северо-Кавказский федеральный университет

**Аннотация.** В статье приводятся геоморфологическая и гидрогеологическая характеристики приповерхностных отложений территории горного отвода Северо-Ставропольского ПХГ. Особый акцент сделан на водоносный горизонт среднего сармата (верхняя свита среднего сармата), являющийся наиболее пригодным для водоснабжения населённых пунктов рассматриваемой территории. На указанный водоносный горизонт рекомендовано проектирование наблюдательных проектных скважин в целях контроля за химическим составом приповерхностных вод.

**Ключевые слова:** Северо-Ставропольского ПХГ, среднесарматский водоносный горизонт, наблюдательные скважины на среднесарматские отложения



# DESIGN OF OBSERVATION WELLS AT THE AQUIFER ROCK OF THE MIDDLE SARMATIAN ON NORTH-STAVROPOL GAS STORAGE FACILITY

GOLOVANOV K. S.

North Caucasus Federal University

**Abstract.** The article presents the geomorphological and hydrogeological characteristics of the near-surface sediments of the territory of the mountain branch of the North Stavropol gas storage facility. Special emphasis is placed on the aquifer of the Middle Sarmatian (upper formation of the Middle Sarmatian), which is the most suitable for the water supply of settlements in the territory under consideration. The design of observation wells is recommended for the specified aquifer in order to control the chemical composition of near-surface waters.

**Keywords:** North-Stavropol gas storage facility, aquiferous rock of the middle Sarmatian, observation wells on the rocks of the middle Sarmatian

Северо-Ставропольское подземное хранилище газа (ССПХГ) расположено на территории Ставропольского края в 30 км к северо – западу от г. Ставрополя. Площадь основного горного отвода ССПХГ составляет 689 км<sup>2</sup>. Территория горного отвода по площади ограничена многоугольником, вмещающим структуру подземных хранилищ газа в хадумском горизонте и в зеленой свите. Данные горизонты являются объектами хранения на рассматриваемой территории. Границы горного отвода эксплуатационных и верхних контрольных горизонтов по вертикали определены от дневной поверхности до подошвы зеленой свиты (абсолютная отметка подошвы зеленой свиты минус 860 м). Горный отвод на подземное размещение жидких отходов в плане, находится в пределах основного горного отвода, выданного на эксплуатацию подземного хранилища (рис. 1) [6].

Основная часть территории горного отвода ССПХГ представляет собой эрозионно-денудационную пологоступенчатую равнину, наклонённую с юга на север и осложняющуюся мелкими плоскодонными впадинами округлой формы (западинами, степными блюдцами). Гипсометрически в южной части площади абсолютные отметки рельефа достигают плюс 470 м, в северной составляют плюс 135 м.

Ведущая роль в формировании современного рельефа изучаемой местности, принадлежит отложениям сарматского яруса (поздний миоцен). Так, отложения нижнесарматского подъяруса обнажаются в долинах рек Русская, Чибрик, Ташла, Малая Ташла и Вербовка. Породы мамайского горизонта выходят на поверхность в долинах рек Русская, Чибрик, Ташла и ручей Солёный. Криптоактровый горизонт обнажается в бортах рек Русская, Чибрик, Ташла, Малая Ташла, ручей Солёный и ручей Беляевский. Ясеновской и форштадтской свитами сложены верхние части крутых склонов платообразных возвышенностей, рассечённых балками и долинами рек. Породами холоднородниковского горизонта сложены бронированные платообразные поверхности территории хранилища. Данный горизонт представлен карбонатными породами, в частности, известняком-ракушечником, обладающим повышенной трещиноватостью. Трещиноватость породы связана с тектоническими напряжениями, возникшими в результате вертикальных движений при формировании Северо-Ставропольского и Пелагиадинского антиклинальных поднятий. Крупные блоки известняков-ракушечников, отколовшихся от материнской породы, участвуют в оползневых процессах ступенчатого типа, образуя вдоль склона речной долины линии из перемещенных блоков породы. Скользят блоки, предположительно, по поверхности глин криптоактрового горизонта [1,7]. На изучаемой территории ступенчатые оползни развиты в районе с. Подлужного, х. Красная Балка и х. Золотой Родник [1].

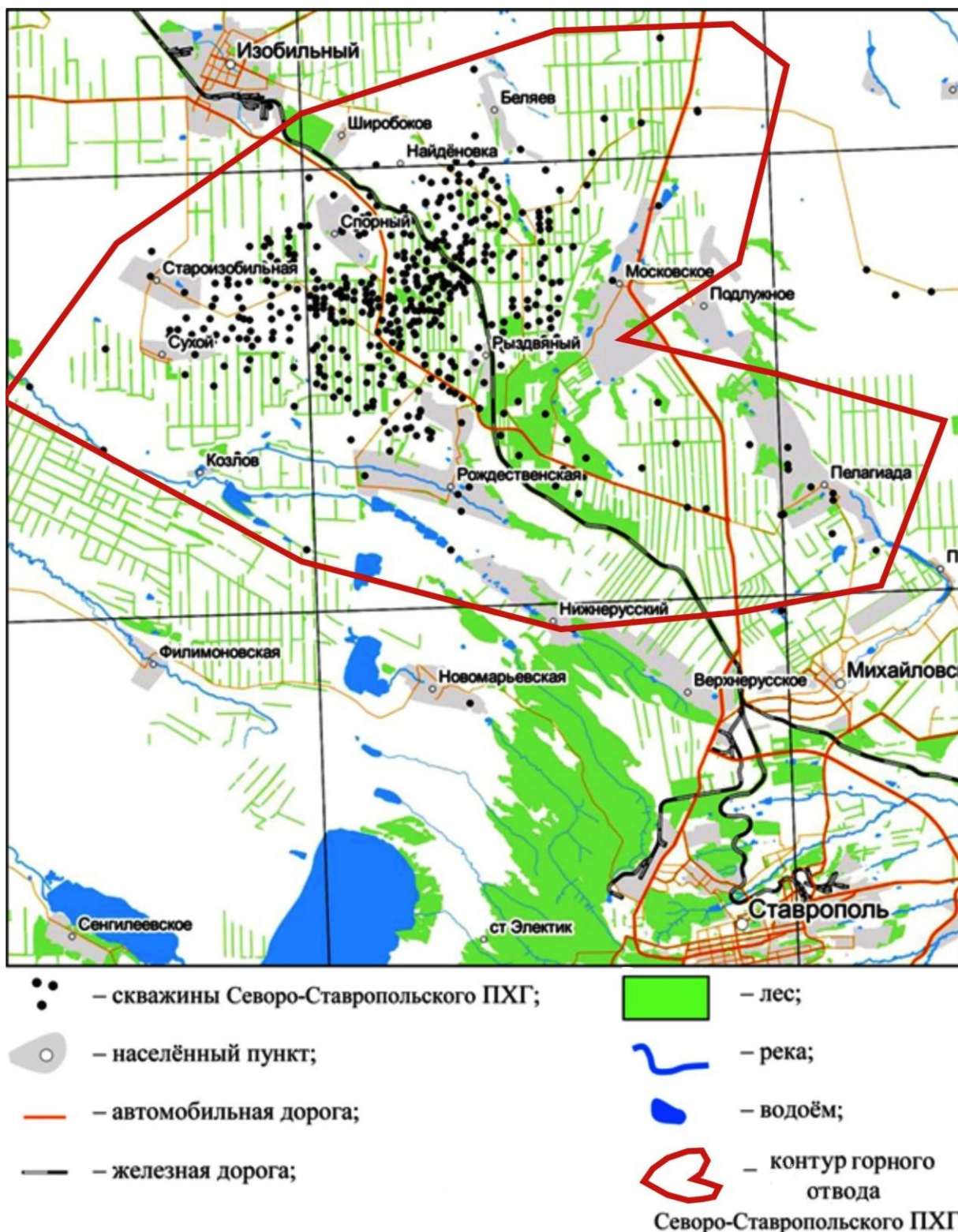


Рисунок 1. Обзорная карта района расположения Северо-Ставропольского ПХГ

В гидрогеологическом плане приповерхностные отложения слагающие разрез СНПХГ можно дифференцировать на 3 водоносных горизонта, разделенных тремя водоупорами. Водоносными являются четвертичный, холоднородниковско-форштадтско-ясеновский и мамайский горизонты. К водоупорным относятся отложения плиоцена (понтический ярус, армавирская свита), криптомактровый и нижнесарматский горизонты.

Четвертичный водоносный горизонт связан преимущественно с речными долинами и крупными балками. Водовмещающими породами данного горизонта являются галечники и пески, делювиально-пролювиально-эоловые суглинки и супеси. К выделенным образованиям приурочены грунтовые воды отличающиеся разнородностью химического состава. Напор и дебит водоносного горизонта незначительный и зависит от количества выпадающих осадков. Толщина горизонта не превышает 5 м [3,7].

В качестве разделяющего водоупора между четвертичными и сарматскими отложениями служат отложения плиоценового возраста. Данные отложения (армавирская свита в частности) представлены плотными красно-бурыми глинами с обломками розовато-серого известняка и имеют наибольшее распространение в северной части территории. Толщина отложений составляет 2 м [4].

Несмотря на выделение в отдельный комплекс четвертичного горизонта ведущая роль в водонасыщении пород верхней части разреза хранилища отводится сарматскому горизонту.

Первый водоносный горизонт, непосредственно относящийся к сарматским отложениям – холоднородниковско-форштадтско-ясеновский. Данный водоносный горизонт относится к верхней свите среднего сармата, в состав которой входит горизонт с типичной среднесарматской фауной. Роль водовмещающих пород в нём играют пески, песчаники и известняки-ракушечники. Воды описываемого горизонта относятся к безнапорным. Минерализация вод варьирует от 0,3 до 3,0 г/дм<sup>3</sup>. Химический состав, главным образом, гидрокарбонатный, реже сульфатный кальциево-магниевый. На рассматриваемой территории воды указанного горизонта выходят на поверхность в виде многочисленных родников, бóльшая часть из них сконцентрирована в пределах долин рек Ташла и Малая Ташла. Также родники разгружаются в долине ручья Солёный возле х. Найдёновка, в бортах ручья Беляевского в районе х. Беляев и на Рождественском участке ССПХГ (рис. 2). Данные выходы подземных вод используются местным населением для питьевого и хозяйственного водоснабжения. Максимальная толщина отложений составляет 65-70 м [1,3,4,7].

Далее по разрезу среднесарматские водоносные горизонты разобщает криптомактровый водоупорный горизонт. Этот горизонт сложен глинами, глинистыми песками и мергелями [7]. Толщина горизонта изменяется от 30 до 45 м.

Третий выделяемый водоносный горизонт – мамынский, водовмещающими породами которого являются слои и линзы мелкозернистых песчаников и глинистых песков. Подземные воды горизонта дренируются на описываемой территории в виде многочисленных одиночных и групповых родников распространенных в северной и северо-восточной окраинах территории. Но в отличие от предыдущего водоносного горизонта мамынский содержит слабосоленоватые, преимущественно напорные и не имеющие практического значения для водоснабжения воды. По химическому составу воды гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные и сульфатные магниевые-кальциевые и кальциево-натриевые. Минерализация колеблется от 0,4 до 4,4 г/дм<sup>3</sup> [7]. Толщина горизонта не превышает 25 м.

Другим водоупорным горизонтом на изучаемой территории является нижнесарматский. Сложен горизонт, в основном, глинами [7]. Толщина в среднем составляет 45 м.

В «Дополнении к технологическим проектам Северо-Ставропольского ПХГ по совершенствованию системы контроля...» [2], выполненном в 2002 году, на исследуемой территории рекомендовано бурение 24 наблюдательных скважин на среднесарматские отложения. Располагать скважины планируется вблизи населённых пунктов находящихся в пределах территории горного отвода ССПХГ. С помощью наблюдательных скважин намечается осуществлять контроль за химическим составом и наличием техногенного газа в приповерхностных водах, последний за счёт вертикальной миграции из объектов хранения может насыщать породы сарматского яруса.

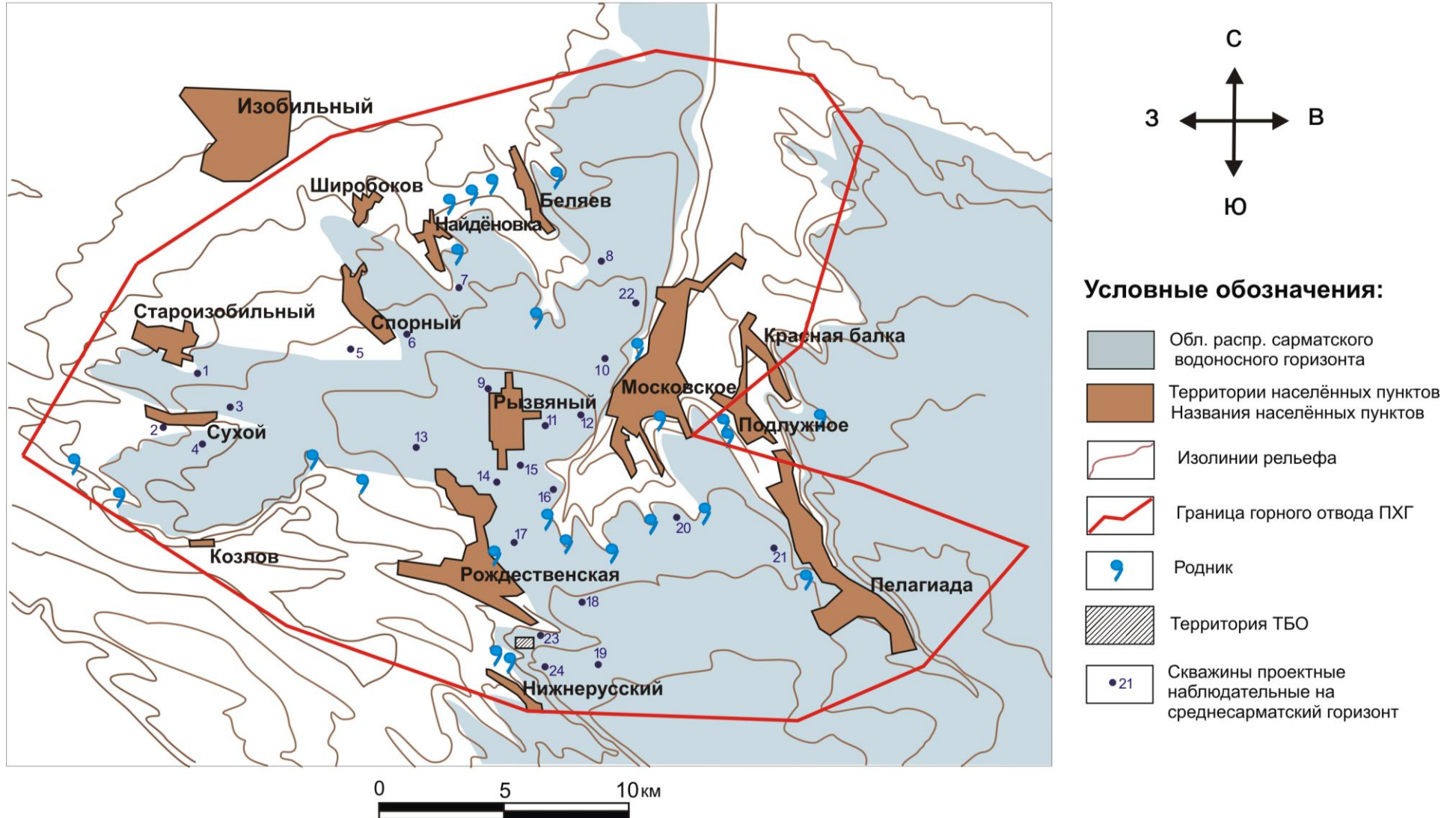


Рисунок 2. Схема области распространения среднесарматского водоносного горизонта и расположение проектных наблюдательных скважин на указанный горизонт ССПХГ [3]

Проанализировав топографические карты разных масштабов и космические снимки изучаемой территории в рамках [2], выполнена предварительная расстановка наблюдательных скважин проектируемых на среднесарматские отложения (Рисунок2). В частности, определены координаты и альтитуды проектируемых наблюдательных скважин (табл.1).

**Таблица 1. Основные сведения о проектируемых наблюдательных скважин на среднесарматские отложения**

№ п/п	Номер скважины	Альтитуда, м	Краткое описание
1	1*	324	в 650 м ЮВ от ст. Староизобильной
2	2*	280	в 470 м ЮЗ от х.Сухой
3	6*	331	в 450 м СВ от х.Спорный
4	7*	293	в 850 м ЮВ от с. Найдёновка
5	8*	312	в 3 км от х. Беляев
6	14*	384	возле пос. Рыздвяный
7	23*	413	в 2 км восточнее от ст. Рождественской
8	20*	366	возле с. Московского
9	21*	375	в 800 м от с.Пелагиада
10	19*	439	в 1,5 м от х. Нижнерусский
11	3	334	750 м от х.Сухой и 1,5 км от ст. Староизобильной
12	4	325	за х. Сухой
13	18	396	в 2 км от ст. Рождественской
14	16	372	возле с. Московского (ЮЗ часть)
15	22	322	возле с. Московского (СВ часть)
16	5	286	возле х. Спорный (СЗ часть)
17	10	345	возле с. Московского
18	12	368	возле с. Московского
19	11	374	возле пос. Рыздвяный
20	15	373	возле пос. Рыздвяный
21	24	419	возле х. Нижнерусский
22	17	378	возле ст. Рождественской
23	13	380	в 2,5 км от пос. Рыздвяный
24	9	364	в 1,5 км от пос. Рыздвяный (СЗ часть)

Примечание: \* номера 10 первоочередных для бурения скважин

Скважины предполагается пробурить на глубину 70 м. Контрольный горизонт – холоднородниковско-форштадско-ясеновский (средний сармат). Зона перфорации на глубине 30-45 м. Конструкция скважины предполагает наличие шахтного направления диаметром 324 мм, глубина спуска: 0-7 м (для предупреждения размыва устья скважины); направления диаметром 245 мм, глубина спуска: 0-20 м (для крепления устья скважины); эксплуатационной колонны диаметром 146 мм, глубина спуска: 0-70 м (для контроля за эксплуатацией газового хранилища). Наличие НКТ в наблюдательных скважинах не предполагается [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проведение независимого геотектонического и гидрогеохимического мониторинга недр на территории Ставропольского свода (ПХГ): Отчет о НИР (промежуточ.) / СевКавНИПИГаз; Руководитель Вершовский В.Г. – Контракт № 26 - К. Ставрополь, 2003
2. Дополнение к технологическим проектам по хадумскому горизонту и горизонту и горизонту зеленая свита по совершенствованию системы контроля за эксплуатацией Северо-Ставропольского ПХГ: Отчет о НИР / СевКавНИПИГаз; Договор № 118 СтО/02.02. – Ставрополь, 2002
3. Экологическое обоснование деятельности объектов Северо-Ставропольского подземного хранилища газа и программа системы мониторинга: Отчет о предварительных результатах работ по договору 15/96, 4/97. / НПП “Эколого-Аналитический центр”; Руководитель Морозова Л.Н. – М., 2002
4. Рекомендации по контролю за загазованностью верхней части разреза при эксплуатации Северо-Ставропольского подземного хранилища газа/ СевКавНИПИГаз; Авт. Терновой Ю.В., Марков О.Н. – Ставрополь, 1987
5. Проектно-сметная документация на строительство скважин для системы контроля за эксплуатацией Северо-Ставропольского ПХГ: Групповой рабочий проект Том I/ СевКавНИПИГаз; Договор 13Ст/06.06 – Ставрополь, 2007
6. Проект мониторинга геологической среды Северо-Ставропольского ПХГ: Отчет по договору 3ПХГ /09.09, этап 1.2/ СевКавНИПИГаз; Отв. исполн. Чумакова Н.А. – Ставрополь, 2009
7. Выполнение работ по контролю за герметичностью Северо-Ставропольского ПХГ методом электроразведки ЧЗ-ВП: Отчет о работе / ФГУГП «Кавказгеолсъемка»; Отв. исполн. Шемпелев А.Г. – Ессентуки, 2007

УДК: 622.5

### К ВОПРОСУ О РЕЖИМАХ РАБОТЫ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК

ЮСУПОВ Т.И., УГОЛЬНИКОВ А.В.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** В статье подробно обосновывается система шахтных водоотливных установок по своему назначению и мощности, которая занимает видное место в электромеханическом оборудовании шахт. Авторы рассматривают шахтные водоотливные установки как сложный комплекс горных выработок и электромеханического оборудования, которое состоит из насосов, двигателей, всасывающих и нагнетательных трубопроводов, пусковой аппаратуры автоматического управления для удаления воды и выдачи ее на поверхность.

**Ключевые слова:** шахтные водоотливные установки, энергосберегающие технологии, электромеханическое оборудование шахт, энергозатраты горного предприятия, снижение эксплуатационных затрат.

### OPERATING MODES OF MINE DRAINAGE SYSTEMS

YUSUPOV T. I., A. V. UGOLNIKOV

Ural State Mining University

**Abstract.** The article explains in detail the system of mine drainage systems for their purpose and capacity, which occupies a prominent place in the electromechanical equipment of mines. The authors consider mine drainage installations as a complex complex of mine workings and electromechanical equipment, which consists of pumps, motors, suction and discharge pipelines, starting equipment for automatic control of water removal and its delivery to the surface.

**Keywords:** mine drainage systems, energy-saving technologies, electromechanical equipment of mines, energy consumption of a mining enterprise, reduction of operating costs.

Современные шахты оснащены разнообразным и сложным электромеханическим оборудованием. Система шахтных водоотливных установок по своему назначению и мощности занимает видное место в электромеханическом оборудовании шахт. Шахтные водоотливные установки находятся в числе основных потребителей электроэнергии на шахте. В ряде случаев они потребляют до 50 % электроэнергии, расходуемой на шахте. От надежности и эффективности режимов работы шахтных водоотливов зависят безопасность, экономичность и бесперебойность работы шахт [1].

Поэтому важно, чтобы эти установки были не только надежными в эксплуатации, но и экономичными. Шахтные водоотливные установки – это сложный комплекс горных выработок и электромеханического оборудования, которое состоит из насосов, двигателей, всасывающих и нагнетательных трубопроводов, пусковой аппаратуры автоматического управления для удаления воды и выдачи ее на поверхность. На наш взгляд благодаря тщательной разработке рационального проекта шахтной водоотливной установки и именно в направлении типизации и стандартизации отдельных частей и элементов и установки в целом – можно достигнуть значительных технических и экономических результатов. Необходимость разработки обводненных месторождений полезных ископаемых и рост

глубины горных работ привели к значительному увеличению мощности водоотливных установок, которые на ряде шахт и рудников потребляют до 50% и более электроэнергии в общем балансе энергозатрат горного предприятия. Осушение шахтных полей может осуществляться спуском воды по наклонным выработкам в открытые русла (водоотлив самотеком) или подъемом воды на поверхность с помощью специальных водоотливных средств, что в большинстве случаев встречается на практике. Водоотлив самотеком, или безнапорный водоотлив, возможен в тех случаях, когда рельеф местности позволяет проходить штольни при подземной разработке или каналы при открытой разработке полезных ископаемых. В случае водоотлива с подъемом воды (напорный водоотлив) шахтная вода собирается в специальных водосборниках, откуда насосами транспортируется на поверхность.

Различают вспомогательные и проходческие водоотливные установки. Главная водоотливная установка откачивает на поверхность весь приток воды из шахты. Иногда водоотливная установка обслуживает несколько шахт, в этом случае она называется центральной. Вспомогательные водоотливные установки оборудуют на участках, уклонах, зумпфах; они перекачивают воду в водосборник главной или центральной водоотливной установки. Основными требованиями, предъявляемыми к водоотливным установкам, являются обеспечение полной безопасности ведения горных работ и высокие технико-экономические показатели их работы. Основные положения, выполнение которых обеспечит надежную и бесперебойную работу водоотливных установок [2].

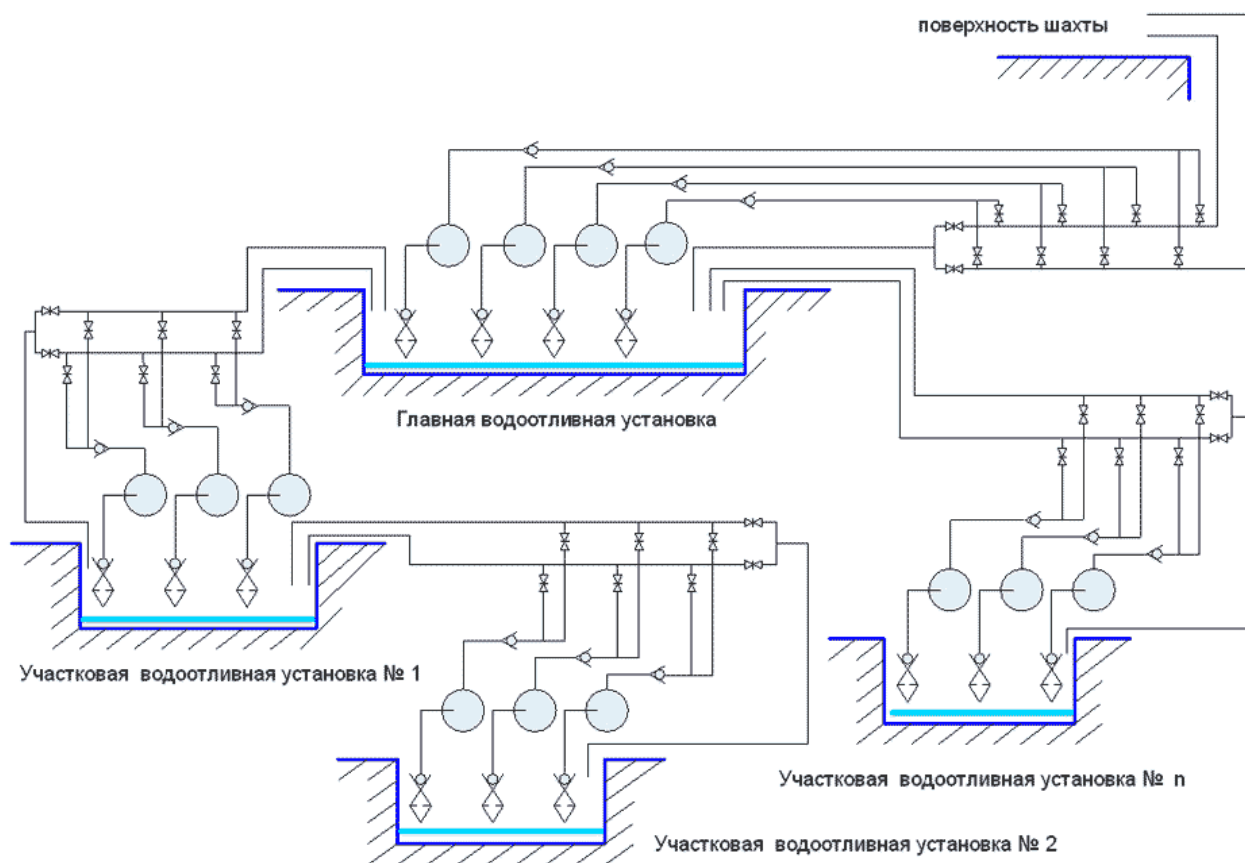
Эксплуатационными режимами комплекса водоотлива шахты являются: пуск; рабочий режим; остановка.

Режим пуска каждой водоотливной установки начинается при достижении водой в водосборнике верхнего допустимого уровня. При ступенчатой схеме откачки пуск осуществляется также с учетом текущего уровня воды в водосборнике, куда перекачивается вода. В рабочем режиме работы водоотливной установки осуществляется перекачивание воды насосом. При достижении нижнего уровня воды в водосборнике водоотливная установка отключается.

В результате анализа эксплуатационных режимов работы водоотливных установок комплекса водоотлива шахты, установлены следующие аварийные ситуации:

- перегрев подшипников насоса и двигателя;
- некачественная заливка главного насоса;
- насос не вышел на рабочий режим за заданное время;
- снижение подачи насоса ниже допустимой;
- снижение напора ниже допустимого;
- прорыв нагнетательного трубопровода;
- закупорка нагнетательного трубопровода;
- закупорка всасывающего трубопровода;
- задвижка на нагнетательном трубопроводе полностью не открыта или не закрыта;
- кавитация;
- рабочий режим насоса вышел из зоны промышленного использования;
- увеличение расхода воды через разгрузку;
- гидравлический удар в нагнетательном трубопроводе;
- аварии приводного электродвигателя.





**Рисунок 1. Типовая структурная схема шахтного водоотлива**

Водоотлив в шахтах и карьерах предназначен для удаления из горных выработок воды, попавшей в них с земной поверхности и из подземных водоносных горизонтов. Современная ориентация на применение энергосберегающих технологий предопределяет необходимость оценки энергозатрат на откачку шахтных вод как на этапе проектирования при выборе технологической схемы и основного оборудования, так и при организации его работы в оптимальных режимах в процессе эксплуатации. При проектировании водоотливных установок и исследовании режимов их работы весьма важное значение имеет выбор критерия для энергетической оценки сопоставляемых вариантов или изменений режимных параметров. В качестве такого критерия для насосов принято считать КПД. Чем выше КПД насоса, тем меньше его энергопотребление в конкретно рассматриваемом режиме работы. В качестве оптимального режима работы насоса принято считать режим его работы при наибольшем значении КПД. В связи с этим в качестве номинальных параметров для лопастных насосов принимаются их значения при максимальном КПД или возможно близких к нему режимах работы, а область промышленного применения назначается в определенном диапазоне подач при значениях КПД не ниже 0,85 - 0,9 от максимальной его величины. Одной из особенностей функционирования водоотливной установки является непостоянство ее эксплуатационных параметров, что приводит к выходу рабочего режима насоса из зоны промышленного использования и соответственно к увеличению эксплуатационных затрат, невозможностью насосом перекачивать необходимый объем воды на существующую величину подъема.

Таким образом, для снижения эксплуатационных затрат на водоотливе шахты необходимо обеспечить работу энергоемких водоотливных установок в рациональных режимах и исключить аварийные ситуации. Это может быть достигнуто путем разработки и применения системы мониторинга состояния и управления комплексом водоотлива шахты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейер В. Г., Тимошенко Г. М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки // В. Г. Гейер, Г. М. Тимошенко – М.: Недра, 1987. – 229 с.
2. Долганов, А. В. Анализ электропотребления водоотливных установок подземных рудников медноколчеданных месторождений Южного Урала / А. В. Долганов // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 2. – С. 39-41.
3. Долганов А.В. Стационарные машины. // Долганов А.В. учебник. Уральский государственный горный университет. – М.: 2017. – С. 64-92.
4. Сташинов Ю.П., Боченков Д.А., Волков В.В., Энергосберегающее регулирование режима работы главных водоотливных установок шахт и рудников. //Записки горного института. // Т: 192. 2011. – С. 209-211
5. Щербина Г.С. Горный англо-русский словарь // Изд-во: Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк). – 2014. – 306 с.
6. Черняховский Р. Л. Адаптация режимов работы электромеханических комплексов шахтного водоотлива к графикам энергосистемы в условиях переменных водопритоков: Автореф. дис ... канд. тех. наук. СПб, 2003.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК, ОБОРУДОВАННЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

ЮСУПОВ Т.И.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** В статье представлено обоснование использования шахтных водоотливных установок, оборудованных центробежными насосами. Авторы отмечают, что регулирование производительности осуществляется изменением количества параллельно работающих насосных агрегатов. Также авторы статьи акцентируют внимание на выборе сочетания насосных агрегатов, что существенно влияет на результирующую энергоэффективность процесса водоотведения.

**Ключевые слова:** шахтные водоотливные установки, центробежные насосы, потребители электроэнергии; электромеханическое оборудование шахт, энергозатраты горного предприятия, снижение эксплуатационных затрат.

## ADVANTAGES OF USING MINE DRAINAGE SYSTEMS EQUIPPED WITH CENTRIFUGAL PUMPS

YUSUPOV T. I.

Ural State Mining University

**Abstract.** The article presents the rationale for the use of mine drainage systems equipped with centrifugal pumps. The authors note that the performance control is carried out by changing the number of parallel pumping units. Also, the authors of the article focus on the choice of a combination of pumping units, which significantly affects the resulting energy efficiency of the wastewater disposal process.

**Keywords:** mine drainage systems, centrifugal pumps, electricity consumers; electromechanical equipment of mines, energy consumption of a mining enterprise, reduction of operating costs.

Как отмечает А.В. Долганов, на горных предприятиях нашли наибольшее применение шахтные водоотливные установки, оборудованные центробежными насосами. По сравнению с поршневыми насосами центробежные, благодаря вращательному движению рабочего органа имеют равномерное движение воды в трубопроводе, большую высоту всасывания и

большую быстроходность, меньшие габариты и массу, непосредственное соединение валов насоса и быстроходного двигателя, тогда как при поршневом насосе надо применить тихоходный двигатель или понижающую передачу. Отсутствие клапанов в центробежном насосе приводит к повышению его надежности в сравнении с поршневым, где они имеются. Подача центробежного насоса просто регулируется с помощью задвижки на нагнетательном трубопроводе, в поршневом насосе для этих целей необходимо регулирование частоты вращения его вала. Сравнение центробежных и поршневых насосов применительно к шахтным условиям говорит в пользу центробежных насосов, которые имеют на шахтах исключительное применение. При проходке уклонов приток воды почти не меняется, а высота подачи непрерывно увеличивается. Здесь целесообразно применить насосы, подача которых не зависит от напора, что характерно для поршневых насосов. В то же время применение громоздких и тяжелых поршневых насосов может отрицательно сказаться на скорости прохождения выработок [1, 2, 3].

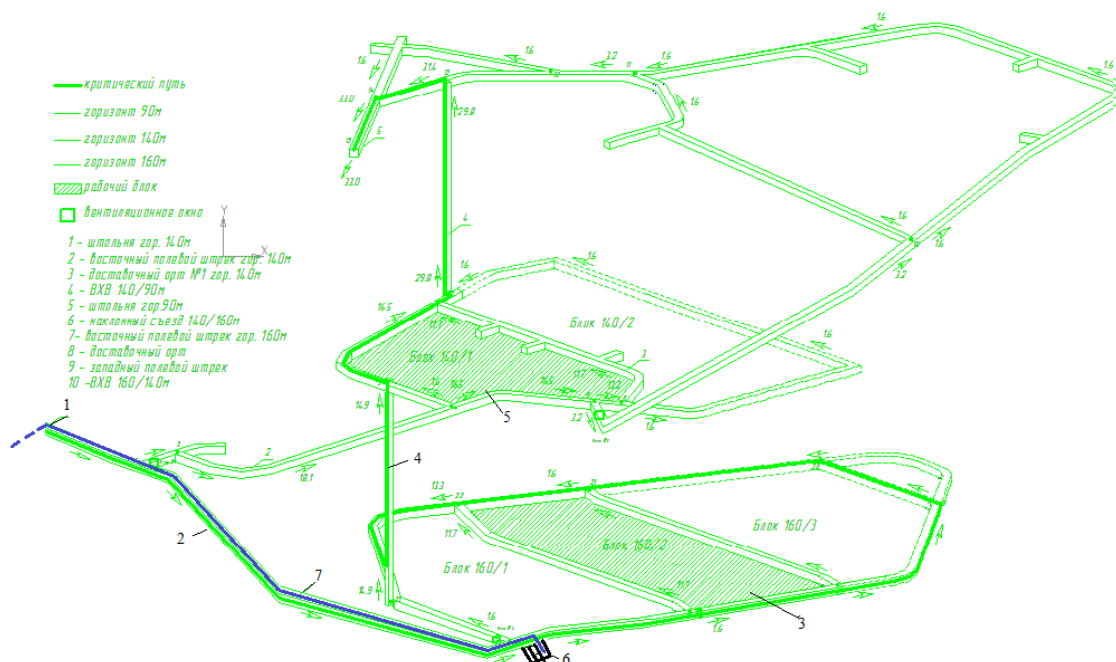
Регулирование производительности осуществляется изменением количества параллельно работающих насосных агрегатов. Водоотливные установки являются самыми крупными потребителями электроэнергии шахты. Известны подходы по энергосбережению в установках центробежного принципа действия. Выбор сочетания насосных агрегатов существенно влияет на результирующую энергоэффективность процесса водоотведения.

Классификация центробежных насосов обычно производится по признакам, приведенным ниже [2, 3]:

1. По числу ступеней или рабочих колес – одноступенчатые и многоступенчатые.
2. По способу сбора и отвода воды после рабочего колеса – насосы с направляющими аппаратами и переводными каналами, насосы со спиральной камерой и коническим диффузором, насосы с кольцевым отводом, спиральной камерой и коническим диффузором.
3. По месту преобразования скоростного напора, выходящего из рабочего колеса насоса в статическое давление – в направляющем аппарате, кольцевом отводе-диффузоре и коническом диффузоре.
4. По числу всасывающих отверстий в рабочем колесе – с одно- или двусторонним всасыванием.
5. По расположению вала – горизонтальные и вертикальные.
6. По конструкции корпуса – цельнокорпусные, с разъемным корпусом и секционные. У разъемных насосов корпус имеет один разъем вдоль вала машины, у секционных корпус разделен на несколько одинаковых частей – секций, перпендикулярных валу машины. Все секции корпуса стягиваются вместе болтами.
7. По назначению – шахтные, скважинные, углесосы, грунтонасосы и т. п. Они изготавливаются для откачки пресной и кислотной воды, для перекачивания чистых жидкостей и насыщенных различного рода механическими примесями, гидросмесей.

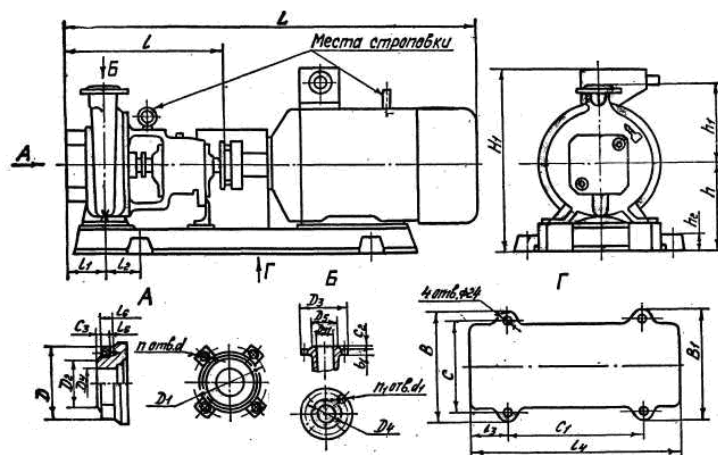
Для откачки нормального водопритока ( $Q_{\text{нор}} = 70 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) при расчетной геодезической высоте напора насоса ( $H_r = 54 \text{ м}$ ) на шахте Камаганского месторождения Сибайского подземного рудника используется центробежный агрегат К-100, по напорному трубопроводу на высоту подъема равную 20 м (рис. 1), до места слива на выходе из портала штольни №4 2гор. 160 м (рис. 1), имеющийся на предприятии.

Участковая зумпфовая насосная установка располагается в нише типовой горной выработки (рис. 1).



**Рисунок 1. План расположения горных выработок и наклонного съезда рудных тел и участковой зумпфовой насосной установки: 1 – портал штольни – наклонный съезд; 3, 4, 5 – горные выработки; 6 – место установки участковой насосной станции в горные выработке; 7 – напорный трубопровод; 8 – сброс шахтной воды на выходе из портала штольни.**

По своей конструкции консольный насос является типом центробежного насоса, для которого характерно наличие рабочего центробежного колеса.



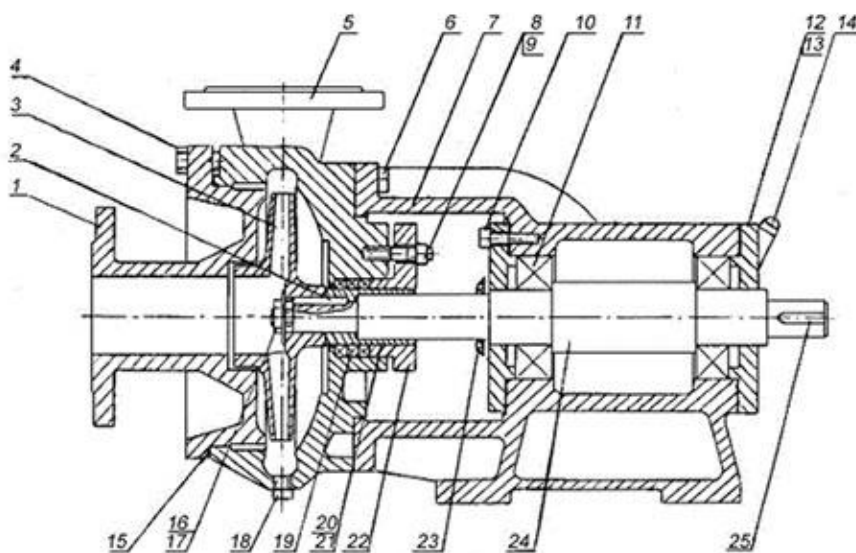
**Рисунок 2. Габаритные и присоединительные размеры насосного агрегата К-100**

Техническая характеристика насоса К-100 приведена в табл. 1.

Центробежные консольные насосы уже давно себя зарекомендовали только с положительной стороны. Важной и отличительной особенностью является то, что в состав перекачиваемой жидкости могут входить примеси. Концентрация их не должна превышать 0,1%. Учитывая относительно высокую продуктивность, эта цифра на самом деле очень велика. Размер же некоторых твердых частиц ограничен в 0,2 мм.

**Таблица 1. Техническая характеристика центробежного консольного насоса К-100**

Показатель	К-100
Подача, м <sup>3</sup> /ч	90
Напор, м	26
Частота вращения, мин-1	48 (2900)
Допустимая высота всасывания, м	4.5
Подача насоса в пределах рабочей части характеристики, м <sup>3</sup> /ч	110-240
КПД насоса, %	69
Мощность, кВт	9,2 (11)
Масса насоса, кг	78
Масса агрегата, кг	210
Тип двигателя	ВА02-280S-4
Применяемость подшипников торцевого уплотнения	309 ГОСТ 8338-75
Запуск агрегата	Запрещается запуск агрегата «всухую», т.е. без предварительного заполнения насоса перекачиваемой жидкостью



**Рисунок 3. Устройство консольного насоса характеризуется массивностью. Консольно моноблочный насос состоит из таких деталей как:** 1 – крышка корпуса; 2 – шпонка; 3 – рабочее колесо; 4, 6, 10 – болты; 5 – корпус насоса; 7 – корпус подшипника; 8, 9 – гайка и шпилька; 11 – подшипник; 12 – крышка подшипника; 13, 15 – прокладки; 14 – масленка; 16, 17 – гайка и шайба рабочего колеса; 18 – сливная пробка; 19 – сальниковая набивка (уплотнение); 20 – защитная втулка; 21 – прокладка; 22 – крышка сальника; 23 – отбойник; 24 – вал; 25 – шпонка для крепления муфты.

Таким образом, все эти факторы должны учитываться при оценке затрат и поисков оптимальных способов и средств, позволяющих снизить затраты на шахтный водоотлив.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейер В. Г., Тимошенко Г. М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки // В. Г. Гейер, Г. М. Тимошенко – М.: Недра, 1987. – 229 с.

2. Долганов, А. В. Анализ электропотребления водоотливных установок подземных рудников медноколчеданных месторождений Южного Урала / А. В. Долганов // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 2. – С. 39-41.
3. Долганов А.В. Повышение энергоэффективности при эксплуатации комплексов шахтного водоотлива. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – М.; Горная книга. – 2019. – S9 - С. 16-23
4. А. В. Угольников, Д. С. Стожков, С. В. Дмитриев. К вопросу обоснования рациональной высоты ступени в многоступенчатых схемах шахтного водоотлива // Известия Уральского государственного горного университета. - 2013. - № 3 (31). - С. 37-39.
5. Щербина Г.С. Горный англо-русский словарь // Изд-во: Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк). – 2014. – 306 с.

УДК: 621.313; 621.867.2

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНВЕЙЕРОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ РУДЫ ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

ЭШМУРОДОВ З. О., АРЗИЕВ Э. И., ИСМОИЛОВ М. Т., ОРИПОВА У. З.

Навоийский государственный горный институт

**Аннотация.** С увеличением цены на электроэнергию продолжают расти, возрастающая потребность в управлении энергопотреблением требует лучшего понимания моделей для энергоемких установок, таких как конвейерные ленты.

**Ключевые слова:** конвейер, энергетическая модель, инвертор, эффективность, асинхронная машина.

## MATHEMATICAL MODELS OF ORE TRANSPORTATION CONVEYORS OF MINING TRANSPORT SYSTEMS

ESHMURODOV Z. O., ARZIYEV E. I., ARIPOVA U. Z.

Navoi State Mining Institute

**Abstract.** As electricity prices continue to rise, the increasing need for energy management requires a better understanding of models for energy-intensive installations such as conveyor belts.

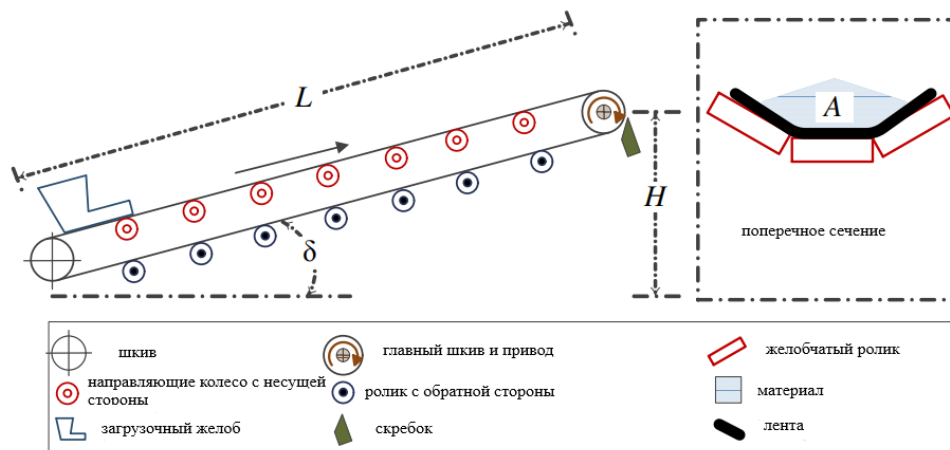
**Keywords:** conveyor, energy model, inverter, efficiency, asynchronous machine.

Большая часть современной литературы по моделированию ленточных конвейеров сосредоточена на динамическом моделировании, натяжения ленты, упругих свойств материала ленты и моделирования отдельных видов сопротивления [1, 2, 3]. Однако также необходимо, чтобы энергетическая модель отражала величины материала, перемещаемого конвейерами в целях оптимизации затрат на электроэнергию [3]. Текущие модели предполагают установившееся состояние с однородной массой материала на единицу длина всего ленты [5, 6].

Предлагаемая энергетическая модель использует уравнение в частных производных первого порядка для определения состояние материала на ленты и двухпараметрическое уравнение, полученное из устоявшейся отрасли стандарты для количественной оценки требований к мощности конвейера. В отличие от ранее предложенных моделей, наша модель учитывает различное количество массы на длину на всем протяжении длина конвейера, и поэтому он может дать более точную оценку потребление энергии ленты. Результаты

показывают, что предложенная энергетическая модель дает значения мощности близкие в условиях максимальной нагрузки.

Желобчатый конвейер приводится в движение системой с приводом от электродвигателя и поддерживается системой шкивов, как показано на рис. 1. Транспортер переносит сыпучий материал на поверхность с желобами резинового ленты. Желобчатая структура ленты поддерживается наборами равномерно расположенных натяжных роликов (рис. 2). Ленты снабжены загрузочный желобом в хвостовой части и скребок под головной частью.



**Рисунок 1. Упрощенный эксиз конвейера**

Для регулирования скорости приводов используются частотные преобразователи. Общие потери в преобразователе частоты будут определяются как правило, из-за потерь на передачу и переключение в выпрямителе, а также в инверторе. Средние прямые потери  $P_{VUmrDurch}$  для диодов и IGBT1 приводят к прямое напряжение  $U_F$  и дифференциальное сопротивление  $r_F$  компонентов в постоянном токе. Инверторы из [7]:

$$P_{VUmrDurch} = U_F \bar{I} + r_F I^2. \quad (1)$$

При этом  $\bar{I}$  и  $I$  являются средними и эффективными значениями токов, проходящих через компоненты. Выходной ток инвертора  $I_{Umr}$  делится в зависимости от процесса модуляции, степень модуляции и угол мощности в различных пропорциях на диодах и на IGBT. В дальнейшем характеристика потерь ( $U_F$ ;  $r_F$ ) IGBT и диода определяется как принятое равным, таким образом, сумма пропускных потерь независимо от модуляции и угол мощности

Для потерь переключения в инверторе [8]:

$$P_{VUmrSchalt} = E_{Schalt}(I, U_{zk}) f_{Puls}. \quad (2)$$

При этом  $f_{Puls}$ -это частота импульсов инвертора, а  $E_{Schalt}(I, U_{zk})$  - энергия потери переключения, который в первом приближении пропорционален току  $I$  и напряжению промежуточной цепи  $U_{zk}$ . Потери переключения линейно зависят от частоты пульса  $f_{Puls}$ , но частота пульса, как правило, выбирается при вводе в эксплуатацию и после этого больше не изменяется. Эта потери переключения не зависят от степени модуляции и угла мощности.

Зависимость потерь преобразователя от инвертора выходной ток  $I_{Umr}$  по (1) и (2) описывается полинома второй степени:

$$P_{VUmr} = C_1 + C_2 I_{Umr} + C_3 I_{Umr}^2. \quad (3)$$

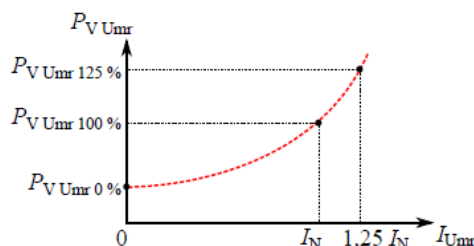
Коэффициенты полинома функции подхода  $C_1 - C_3$  определяются на основе данных таблицы. Некоторые производители (например, ПЭВ) дают при потери преобразователя

частоты 100% и 125 % номинальный ток  $P_{VUmr} 100\%$  и  $P_{VUmr} 125\%$ , а также на холостом ходу  $P_{VUmr} 0\%$ .

Коэффициенты  $C_1 \dots C_3$  функции приближения (3), вытекают из:

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{(1,25^2 - 1,25)I_N^3} \begin{bmatrix} (1,25^2 - 1,25)I_N^3 & 0 & 0 \\ (1 - 1,25^2)I_N^2 & (1,25^2)I_N^2 & -I_N^2 \\ (1 - 1,25 - 1)I_N & -1,25I_N & I_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{VUmr0\%} \\ P_{VUmr100\%} \\ P_{VUmr125\%} \end{bmatrix} \quad (4)$$

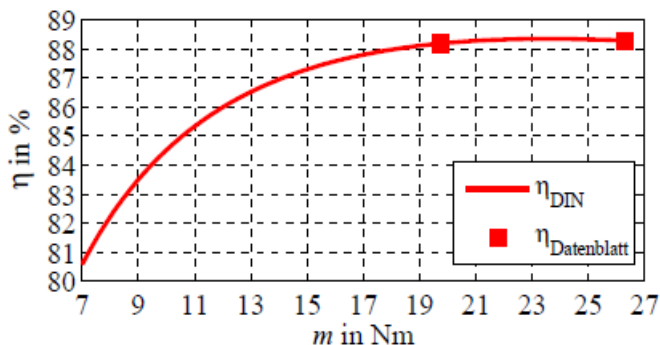
На рис. 2 показана кривая потерь, аппроксимированная функцией приближения в (3)



**Рисунок 2: Потери в инверторе в зависимости от выходного тока, [67]**

Эффективность асинхронной машины в зависимости от нагрузки, в DIN CLC / TS 60034-31 [8] введено приближение к КПД. В рисунки 3. представлено, КПД в зависимости от крутящего момента двигателя. Эти расчеты основаны на данных таблицы эффективности на 100%, а также 75% нагрузки и расчетной скорости двигателя. Это будет прямое подключение к электрической сети. Приводы с переменной скоростью все чаще используются для использования энергосберегающих потенциалов в транспортных системах. Таким образом, определение эффективности в зависимости от нагрузки при скорости вращения без включения дополнительных потерь, вызванных работой инвертора, недостаточно. Поэтому здесь представлен метод, с помощью которого эффективность двигателя как для асинхронной машины, а также для синхронных машин с постоянным магнитным возбуждением нагрузка и вращение определяется в зависимости от количества данных.

В большинстве квазистационарных приводных систем в настоящее время используются прочные и устойчивые асинхронные двигатели. В качестве энергоэффективной альтернативы, также используются синхронные двигатели с постоянным магнитным возбуждением.



**Рисунок 3. Изменение КПД асинхронного двигателя  $P_n = 4$  кВт**

Для асинхронных машин, в том числе 100% и 75% эффективности  $\eta_{100}$  и  $\eta_{75\%}$  а также номинальные значения мощности  $P_N$ , скорости  $n_N$ , тока  $I_{SN}$ , напряжения  $U_{SN}$  и коэффициента мощности  $\cos(\varphi_N)$ , указана в техническом паспорте.

Для расчета потерь сначала оцениваются параметры схемы замещения из данных технического паспорта. Параметры схемы замещения позволяют рассчитать потери



двигателя в зависимости от частоты вращения двигателя, а также от момента двигателя. В модели потери включают в себя медь, железо, и потери трения, а также эффекты различных способ управления, как, например,  $U/f^2$  - управление или режим ослабления поля.

Учет потерь гармоник при работе преобразователя в дополнение к фундаментальным колебаниям усиливает дополнительную пульсацию тока, которая называется здесь током искажения. Для эффективного значения тока искажения  $I_{VZ}$  применяется (4) со степенью модуляции  $M$  и напряжение промежуточной цепи  $U_{zk}$ . Потери в обмотке из-за гармоник поэтому  $P_{VCuOS}$  в (3.25) квадратично уменьшается с частотой импульсов

$$I_{VZ} = \frac{MU_{zk}}{8\sqrt{3}f_{Puls}(L_{\sigma S}+L'_{\sigma R})} \sqrt{0,5 - 0,7M + 0,3M^2}, \quad M = \frac{2\hat{U}_s}{U_{zk}}, \quad (4)$$

$$P_{VCuOS} = 3R_S I_{VZ}^2 \quad (5)$$

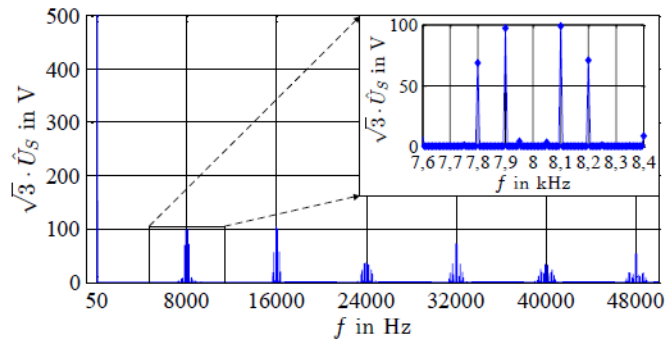
Пример для асинхронного двигателя 7,5 кВт ( $I_N = 9; 4$  А,  $L_{sS} \approx L_{\sigma S} \approx L'_{\sigma S} = 20$  мГн) с одной частота импульсов  $f_{Puls} = 2$  кГц приводит к искажению тока  $I_{VZ} \approx 130$  мА согласно (4). Поэтому гармоники едва увеличивают потери в обмотке и находятся на частотах импульсов  $f_{Puls} \geq 2$  кГц

Преобразователь частоты использует метод модуляции, такой как, например, пространственная векторная модуляция. Напряжение показывает рядом с основной вибрацией  $U_{Sl}$  дополнительная гармоническая составляющая  $U_{sv}$ . На рис. 4 показаны частотные составляющие напряжение двигателя, фазовое напряжение  $U_s$  (соединение

«звезда») Напряжение проводника (фактор  $\sqrt{3}$ ) и пиковое значение (фактор  $\sqrt{2}$ ). Вибрации  $U_{sv}$  лежат в боковых полосах, кратных частоте импульсов:

$$f_v = if_{puls} \pm nf_1 (v, i, n \in Z) \quad (5)$$

где  $n$  - числовая переменная соответствующих частот,  $i$  - кратная частота пульса и  $p$  интервала соответствующих боковых лент, кратного базовой частоте вибрации  $f_1$ .



**Рисунок 4. Вычисленные частотные доли спрямленного напряжения двигателя**

(модуляция пространственного указателя) с  $f_1 = 50$  Гц,  $f_{Puls} = 8$  кГц и  $\sqrt{3}\hat{U}_{sl} = 500$  В

Эти гармоники также (вызывают) приводят к изменению магнитного потока  $\Phi_v$  :

$$U_{s,v} \sim f_v \Phi_v \quad (6)$$

Таким образом, возникают дополнительные потери:

$$U_{Sv} \sim f_v \Phi_m^2 \sim \frac{1}{f_v} U_{s,v}^2 \quad (7)$$

Дополнительные потери гистерезиса от высоких частот возникает из-за верхних колебаний.

Этот фактор понимается только как аппроксимация, так как здесь верхние колебания независимы накладываются друг на друга, что физически из-за наложения связанных магнитные поля неверны. Для расчета коэффициента используется пульсирующий узор шестигранника. Моделирует конвертеры с модуляцией 400V-Netz . Вычисленные амплитуды верхнего и базового колебаний составляют коэффициент потерь  $k_{OS}$ , который на рис. 5 показан в качестве функции основного сдвига напряжения двигателя.

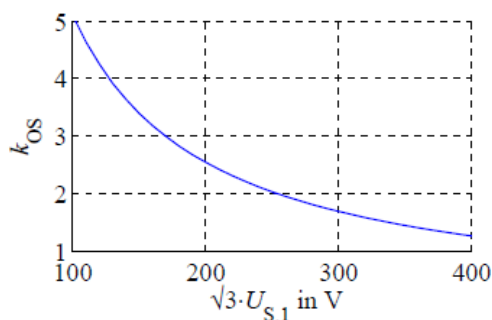


Рисунок 5. Отношение потерь относительно работы сети

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монастырский, В. Ф. Снижение энергозатрат при транспортировании насыпных грузов с помощью управления скоростью ленты конвейера / Монастырский В. Ф., Максютенко В. Ю., Кирия Р. В., Бужинский И. А. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – 2007. – №10. – С. 35 – 37
2. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под. ред. И.Я. Браславского. – М.: АСАДЕМА, 2004. – 202 с.
3. Эшмуродов З.О., Бобожанов М.К. Исследование эффективности конвейеров горнотранспортных систем // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №3. – С. 109-112.
4. Бобожанов М.К. Эшмуродов З.О. Ташева Х. Т. Математические модели электроприводов горных машин // «Проблемы информатики и энергетики», 2017. – №1. – С. 65-70.
5. S. Zhang und X. Xia. A new energy calculation model of belt conveyor. In IEEE AFRICON, 2009.-pp.694-699
6. J. W. Kolar, H. Ertl und F.C. Zach. Influence of the Modulation Method on the Conduction and Switching Losses of a PWM Converter System. IEEE Transactions on Industry Applications, 27, 1991
7. F. Jenni und D. Wüest. Steuerverfahren für selbstgeführte Stromrichter. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich und B.G. TeUral Branchner Stuttgart, Zürich, 1995
8. J. Schützhold, K. Benath und W. Hofmann. Berechnung des drehzahl- und lastabhängigen Wirkungsgrads von elektrischen Maschinen anhand von Datenblattangaben. ETG Fachbericht 139, ISBN 978-3-8007-3550-1, Int. ETG-Kongress, Berlin, 2013.

## АНАЛИЗ ВНЕПЛАНОВЫХ ПРОСТОЕВ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАРЬЕРА ПАО «УРАЛАСБЕСТ»

СТЕНИН Ю. В., ЛЕШКОВ Е. Ю.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** Непланные простои экскаваторов составляют от 20% до 50% календарного времени. Снижение простоев – основной резерв увеличения производительности. Выполнен анализ простоев экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере ПАО «Ураласбест» установлены частота и продолжительность простоев. Выявлены закономерности их распределения во времени смены и по различным причинам. Приведены условия снижения и управления неплановыми простоями.

**Ключевые слова:** Производительность, экскаваторно-автомобильный комплекс, простои плановые неплановые, отказы, смена, мониторинг, мотивация, обучение.

## ANALYSIS OF UNSCHEDULED DOWNTIME OF MINING EXCAVATOR AND DUMP TRUCK COMPLEX OF PJSC "URALASBEST"

STENIN YU. V., LESHKOV E. YU.

Ural State Mining University

**Abstract.** Unplanned downtime of excavators is from 20% to 50% of the calendar time. Reducing downtime is the main reserve for increasing productivity. The analysis of the downtime of excavator-automobile complexes in the "Uralasbest" Company's territory was performed, and the frequency and duration of downtime were determined. The regularities of their distribution over the shift time and for various reasons are revealed. The conditions for reducing and managing unplanned downtime are given.

**Keywords:** Productivity, excavator-car complex, planned unplanned downtime, failures, shift, monitoring, motivation, training.

В настоящее время экскаваторно-автомобильные комплексы (ЭАК) используются на большинстве предприятий открытой разработки месторождений в качестве основного или сборочного звена перемещения горной массы из карьера.

В карьере ПАО «Ураласбест» ЭАК представлены экскаваторами ЭКГ-8И и ЭКГ-10 и автосамосвалами БелАЗ – 7555 (55т), БелАЗ – 75131 (130т), и GAT – 777F (90т).

Погрузка и транспортирование – ключевые и самые затратные процессы в технологии открытой добычи. Поэтому от эффективности эксплуатации ЭАК в значительной мере зависит прибыль горного предприятия, которая в первую очередь определяется себестоимостью добычи. На формирование последней существенное влияние, до 60% [1,2], оказывает производительность.

Изменение – увеличение производительности возможно за счет двух основных групп факторов: интенсивные экстенсивные факторы.

Применительно к экскаваторно-автомобильным комплексам карьеров интенсивные факторы - это мощность и количество оборудования комплекса, его скоростные качества, надежность, ремонтпригодность и условия работы. Экстенсивные факторы, т.е. использование рабочего времени, оцениваемое простоями в работе оборудования - вынужденным бездействием оборудования или комплекса в целом в связи с плановыми и незапланированными остановками. [3]

Простои в работе экскаваторно-автомобильных комплексов карьеров (ЭАК) обусловлены, в основном, остановками экскаватора, как головного оборудования комплекса, и технологическими и организационными перерывами в работе комплекса.

Под плановыми простоями понимаются простои оборудования, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием оборудования, технологические и организационные перерывы в работе, величина которых рассчитывается непосредственно на предприятиях и учитываются при планировании производственной программы [4].

Внеплановые простои возникают как результат значительной неопределенности в работе ЭАК и возникают из-за аварий или различных неполадок во время работы, технологических или организационных сбоев.

Анализ использования оборудования экскаваторов экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере ПАО "Ураласбест" показывает, что среднегодовые простои экскаваторов составляют: от 2700 до 3500 часов, в том числе плановые – от 1000 до 1300 часов; внеплановые – от 1300 до 2300 часов. Среднегодовой коэффициент использования календарного времени при этом варьируется в пределах 0,64 – 0,69, а в пределах года диапазон его изменения составляет: 0,57 – 0,71.

Характеристика основных простоев экскаваторов приведена в таблице, где видно, что большая часть простоев приходится на внеплановые простои. Меньшая доля простоев обусловлена плановыми простоями, причины и продолжительность которых объективны и регламентированы действующими нормами, правилами и технологией горных работ и учитывается при планировании. Большая доля (60% - 67%) это внеплановые простои. Продолжительность их варьируется шире, чем плановых (коэффициент вариации 0,38 против 0,2).

**Таблица. Внеплановые простои экскаваторов автомобильно-экскаваторных комплексов карьера ПАО «Ураласбест»**

Экскаватор	Отказ	Причина	Внеплановый ремонт	Продолжительность простоя (часов)
01.ЭКГ10-337	25.Ковш	Неисправность ОДК	Замена тросика ОДК	1,3
01.ЭКГ8-311	25.Ковш	Неисправность ОДК	Ремонт/замена цепи	1,0
01.ЭКГ10-336	25.Ковш	Неисправность корпуса ковша	Ремонт корпуса ковша	1,1
01.ЭКГ8-303	44.Двигатель подъема правый	Неисправна полумуфта	Замена амортизаторов	1,6
01.ЭКГ8-322	311.Генератор напора	Неисправна полумуфта	Ремонт муфты	0,8
01.ЭКГ10-336	25.Ковш	Неисправность днища ковша	Ремонт/замена днища	1,0
01.ЭКГ10-329	311.Генератор напора	Неисправна полумуфта	Замена амортизаторов	0,8
01.ЭКГ10-325	46.Цепи управления (система)	Неисправность в схеме запуска	Устранение неисправности	2,8
01.ЭКГ10-329	25.Ковш	Неисправность ОДК	Замена тросика ОДК	0,5
01.ЭКГ8-311	25.Ковш	Порыв/ослабление болтовМ48(56)	Протяжка/замена болтов	2,1
01.ЭКГ10-339	46.Цепи управления (система)	Неисправность коммутационной	Ремонт коммутационной	1,6
01.ЭКГ8-311	36.Редуктор Подъема	Износ колодок тормоза	Замена колодок тормоза	0,7
01.ЭКГ8-311	26.Редуктор Напора	Люфт крепления редуктора	Протяжка соединения	1,7
01.ЭКГ10-336	29.Редуктор хода	Люфт крепления редуктора хода	Закрепить редуктора хода	0,8
01.ЭКГ10-336	25.Ковш	Неисправность ОДК	Замена тросика ОДК	0,8
01.ЭКГ8-311	25.Ковш	Неисправность ОДК	Ремонт/замена рычага	1,0
01.ЭКГ8-311	191.Канат	Сброс каната с головных блоков	Установить канат на место	0,8
01.ЭКГ8-276	25.Ковш	Неисправность ОДК	Замена тросика ОДК	0,7
01.ЭКГ8-276	46.Цепи управления (система)	Неисправность коммутационной	Ремонт коммутационной	0,5
01.ЭКГ10-336	25.Ковш	Неисправность засова ковша	Замена засова ковша	1,3
01.ЭКГ8-311	29.Редуктор хода	Неисправность упругой муфты	Ремонт муфты редуктора	1,3
01.ЭКГ10-329	191.Канат	Обрыв напорного каната	Замена напорного каната	3,4
01.ЭКГ10-339	25.Ковш	Неисправность ОДК	Ремонт/замена рычага	1,2
01.ЭКГ10-325	25.Ковш	Неисправность ОДК	Замена тросика ОДК	0,5
01.ЭКГ10-334	191.Канат	Сброс каната с головных блоков	Установить канат на место	1,1
01.ЭКГ10-325	25.Ковш	Порыв/ослабление болтовМ48(56)	Протяжка/замена болтов	1,5
01.ЭКГ8-291	25.Ковш	Неисправность днища ковша	Ремонт/замена днища	0,8

Эти простои чаще встречаются по мере возникновения неожиданных случайных изменений, сбоев, отказов технологического, технического или организационного характера в работе ЭАК, в то время, как плановые простои и их продолжительность регламентируются и являются относительно стабильными. Учитывая это, внеплановые простои являются значимым фактором повышения производительности ЭАК.

Расчеты показывают, что если unplanned downtime снизить на 10%, то производительность экскаватора должна возрасти, в среднем, на 21,9%.

Анализ непредвиденных остановок и аварийных ремонтов экскаватора за период январь 2019 – февраль 2020 показывает, что наиболее часто внезапные отказы возникают в рабочем оборудовании экскаватора, а именно: порыв и замена тросика открывания днища ковша (ОДК) и порыв или ослабление, с последующей заменой, болтов крепления соединения рукояти с ковшом, при продолжительности восстановления от 0,6 – 0,8 часа до 2,5 – 3.0 часов. Частота и продолжительность отказов зависит от технического состояния экскаватора и условий его работы – качество забоя. Характерной особенностью распределения их в течение смены – наиболее частое появление в первые часы смены (рис. 1, 2).

Количество внеплановых ремонтов экскаваторов по причине замены тросика ОДК, ед.

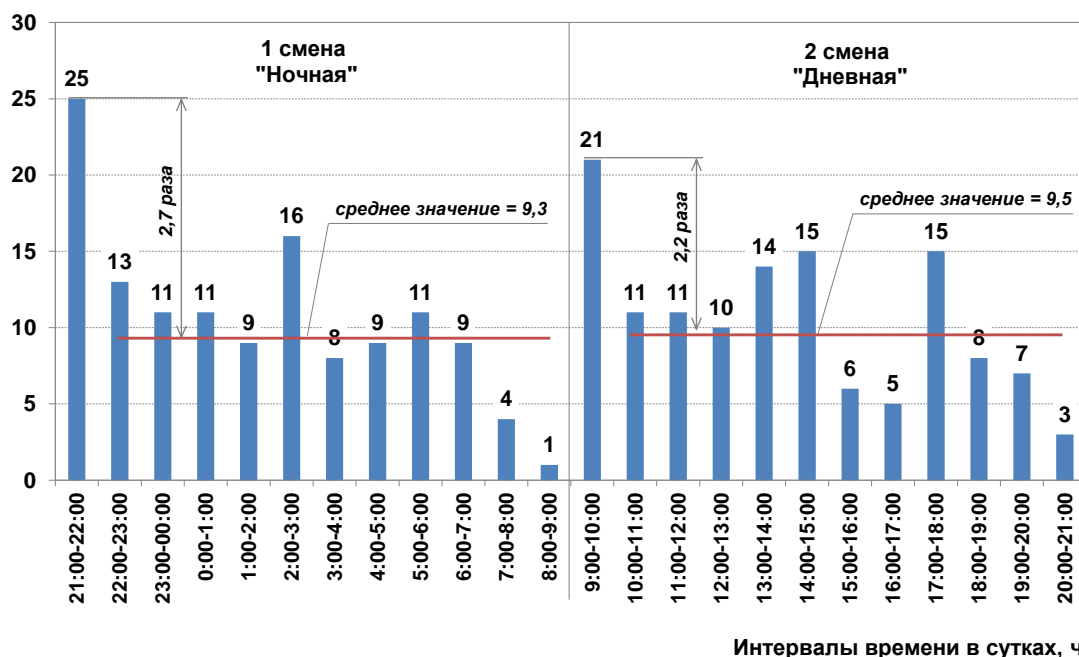


Рисунок 1. Распределение внеплановых ремонтов экскаваторов по причине замены тросика ОДК по часам в дневной и ночной смене.

В итоге, существенно нарушается ритмичность работы автосамосвалов из-за их перегруппировки по сравнению с планом под исправные экскаваторы в первый час смены, и перестановки, впоследствии, под вновь запущенные в работу экскаваторы. Это приводит к росту непроизводительных затрат рабочего времени на переустановку и ожидание погрузки автосамосвалов, которые линейно растут при увеличении числа и продолжительности простоев экскаваторов, приходящихся на первый час работы в смене.

Такой характер распределения простоев в течение смены дает основание предполагать с одной стороны - о недостаточной квалификации работников, занятых в реализации погрузочно-транспортного процесса, с другой – о неудовлетворительном менеджменте, в том числе о мотивации, ограниченной личными интересами работников – максимальная выработка, обеспечивающая максимальный заработок, несогласующаяся с интересами производства – высокая производительность при минимальных простоях и затратах.

Количество внеплановых ремонтов экскаваторов по причине протяжки/замены болтов крепления соединения рукояти с ковшом, ед.

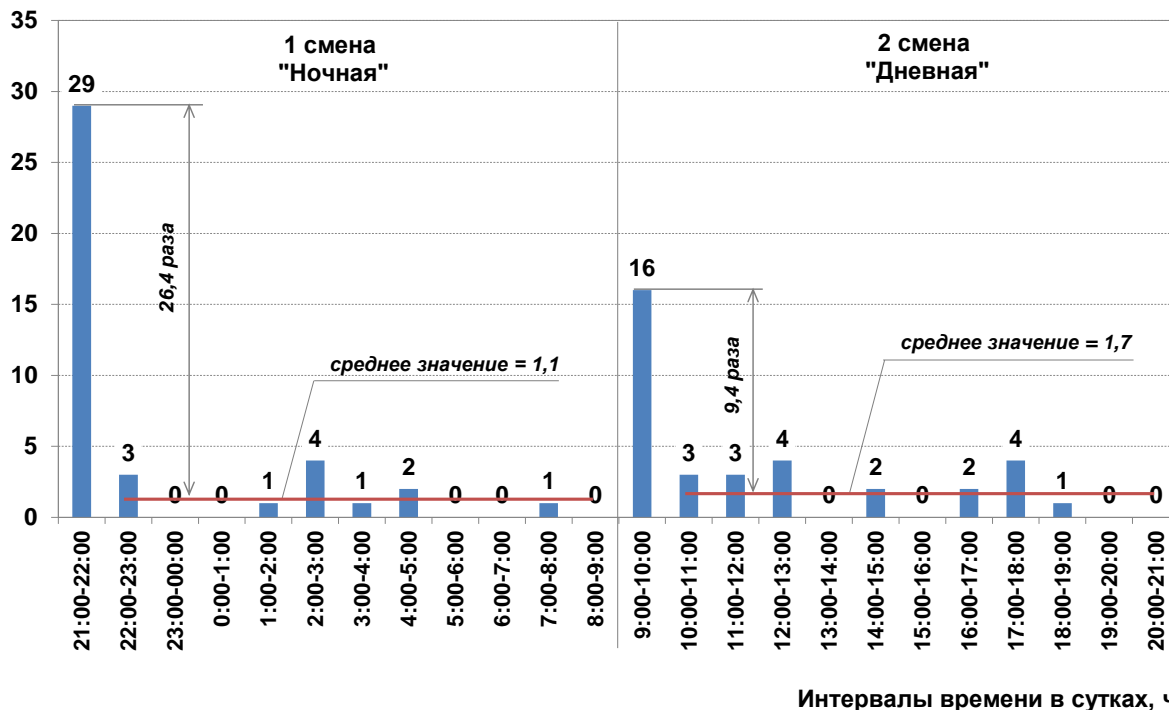


Рисунок 2. Распределение внеплановых ремонтов экскаваторов по причине протяжки/замены болтов крепления соединения рукояти с ковшом по часам в дневной и ночной смене

Подтверждением этого служат установленные закономерности распределения отказов по сменным бригадам с различными руководящими специалистами и по экскаваторам с различными машинистами (рис. 3).

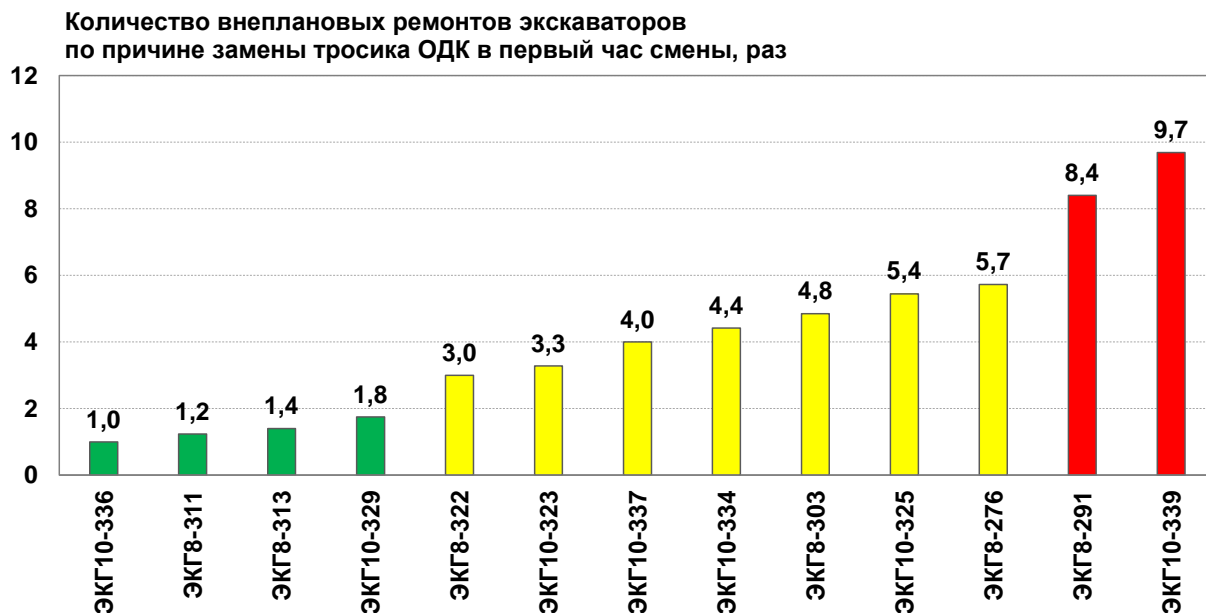


Рисунок 3. Распределение доли отказов, приходящихся на первый час по сменам (группам машинистов выходящих в одну смену).

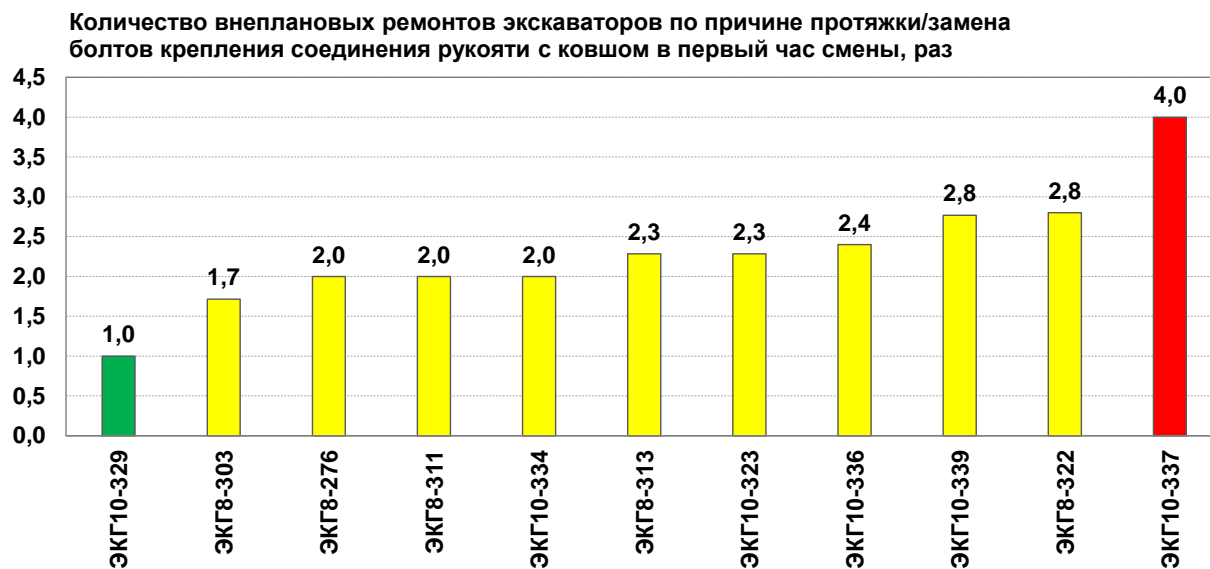
Так, в отношении сменных бригад явно выделяется смена В, где частота отказов вдвое больше по сравнению с остальными бригадами.

В отношении экскаваторных бригад, надежнее работают бригады экскаваторов ЭКГ-10 (329) и ЭКГ-8 (311) по сравнению с бригадами экскаваторов ЭКГ-10 (337) ЭКГ-10 (339) (рис. 4, 5).

Конечно, к причинам различия следует относить техническое состояние оборудования и технологические факторы, но основным логично считать человеческий фактор.



**Рисунок 4. Распределение по экскаваторам количества внеплановых ремонтов, приходящихся на первый час смены, по причине замены тросика ОДК**



**Рисунок 5. Распределение по экскаваторам количества внеплановых ремонтов, приходящихся на первый час смены, по причине протяжки/замены болтов крепления соединения рукояти с ковшом**

Исследованиями, посвященными производительности труда, утверждается, что основными факторами производительности, наравне с технико-технологическим прогрессом, является качественное управление и мотивация труда [2, 5].

Поэтому, учитывая выполненный анализ, в качестве направлений повышения эффективности управления внеплановыми простоями экскаваторно-автомобильных комплексов предлагается:

- организовать контролировать приемку-сдачу смен;
- организовать закрепление за каждым членом экскаваторной бригады конкретных узлов агрегатов экскаватора для контроля, обслуживания и мониторинга за ними;
- обеспечивать экскаваторные бригады набором инструментов, запасных частей и материалов, необходимых для профилактики и быстрого устранения внезапных отказов;
- регулярно разрабатывать и корректировать графики профилактического и технического обслуживания для каждого экскаватора в соответствии конкретными горнотехническими условиями его работы;
- разработать и внедрить методику оценки работников (ИТР и рабочих), мотивирующую достижение результатов, отвечающих как личным, так и производственным интересам;
- на базе теории практического производственного опыта регулярно проводить периодическое обучение и проверку знаний рабочих, и углубленное изучение особенностей функционирования закрепленных подшефных модулей оборудования.

В результате проведенного анализа внеплановых простоев ЭАК в карьере ПАО «Ураласбест» предложено:

- форма акта и процедура передачи смены между машинистами экскаватора; в акте отражается техническое состояние машины, условие работы и готовность к работе в предстоящую смену;
- в плане совершенствования и развития действующей системы автоматизированного управления автотранспортом «Авто Треккер» разработать и внедрить техническое и программное обеспечение для оптимального распределения автосамосвалов в начале и в течение смены и мониторинга технического состояния оборудования ЭАК и организационно-технологической ситуации с целью минимизации внеплановых простоев;
- разработать комплексную методику оценки труда рабочих и ИТР, мотивирующую как на выполнение норм выработки, так и обеспечение минимальных внеплановых простоев оборудования ЭАК.

Возможный расчетный экономический эффект от сокращения по каждому экскаватору доли отказов в начале смены ожидается около 10,5 млн руб. в год.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. Панфилова и др. Как управлять производительностью труда в условиях кризиса / Н. Панфилова, Ю. Маркова // Управление производством – 2009 - № 1: [Электронный ресурс] [http://www.cfin.ru/anticrisis/methodical\\_material/press/labour\\_productivity.shtml](http://www.cfin.ru/anticrisis/methodical_material/press/labour_productivity.shtml)
2. В. Д. Кантемиров Оценка экономической эффективности экскаваторно-автомобильных комплексов при освоении новых месторождений // Проблемы карьерного транспорта. Материалы XI Международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 12 - 15 октября 2011 г.) / редколл.: Ю. А. Бахтури [и др.] – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С.98 – 102.
3. Монастырский Ю.А., Систук В.А. Определение причин потерь рабочего времени экскаваторно-автомобильных комплексов на Петровском карьере ОАО«ЦГОК» [Электрон. ресурс]. - 2011. URL: [http://www.nbu.gov.ua/Portal/natural/Rrm/2011\\_94/75.pdf](http://www.nbu.gov.ua/Portal/natural/Rrm/2011_94/75.pdf) (дата обращения 15.04.2011)
4. Захаров А. Ю. Влияние некоторых факторов на производительность карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / А. Ю. Захаров, А. Ю. Воронов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014 - №1. – с. 74 – 76.
5. Лысенко Д.В. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности: Учебник для вузов / Д.В. Лысенко. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 320 с.



УДК 502.3550.34.01

## ОПАСНЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЮЖНОГО УРАЛА

ЦВЯК А. В.<sup>1</sup>, ПИНАЕВ В.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов

**Аннотация.** В статье поднята проблема опасных геодинамических процессов, происходящих в Оренбургской области. Приведены результаты мониторинга в течение 15 лет сейсмической активности региона с помощью сети сейсмических станций. Выполнен анализ сейсмической активности недр Оренбургской области. Было установлено, что при добыче углеводородов в западной части Оренбуржья возрастает сейсмическая активность. Сгущение сейсмических событий в первом приближении согласуется с техногенно нарушенными блоками массивов горных пород (месторождений нефти и газа). Плотность выделившейся сейсмической энергии в пределах месторождений в три и более раз выше, чем в районах не подверженных техногенному воздействию. В восточной части области отсутствуют месторождения углеводородов, однако производится добыча рудных полезных ископаемых открытым и шахтным методами, что также приводит к геодинамическим рискам. В этой части Оренбургской области наблюдается аномальная сейсмическая активность, которая имеет техногенный характер.

**Ключевые слова:** геодинамика, сейсмические события, природно-техногенные катастрофы, мониторинг, анализ сейсмической активности, сеть сейсмических станций, опасные геодинамические процессы.

## DANGEROUS GEODYNAMIC PROCESSES OF THE SOUTHERN URALS

TSVIAK A. V.<sup>1</sup>, PINAEV V. E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Orenburg federal research center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Peoples Friendship University of Russia

**Abstract.** The article raises the problem of hazardous geodynamic processes occurring in the Orenburg region. The results of monitoring over 15 years of seismic activity in the region using a network of seismic stations are presented. The analysis of the seismic activity of the sUral Branchsurface of the Orenburg region has been carried out. It was found that the production of hydrocarbons in the western part of the Orenburg region increases seismic activity. The concentration of seismic events in the first approximation is consistent with technogenically disturbed blocks of rock massifs (oil and gas fields). The density of the released seismic energy within the fields is three or more times higher than in areas not sUral Branchject to anthropogenic impact. In the eastern part of the region there are no hydrocarbon deposits, however, ore minerals are mined by open-pit and mine methods, which also leads to geodynamic risks. In this part of the Orenburg region, anomalous seismic activity is observed, which is of a technogenic nature.

**Keywords:** geodynamics, seismic events, natural and technological disasters, monitoring, analysis of seismic activity, network of seismic stations, hazardous geodynamic processes.

### Введение

В России развита горнодобывающая отрасль – добыча полезных ископаемых носит масштабный характер. Однако, масштабность таких разработок может нести в себе не только

положительные стороны, но и определенные риски – пустоты, образующиеся на месте добытых полезных ископаемых, остаются не заполненными и создают напряженно-деформированное состояние недр, что может привести к оседанию горных пород и в дальнейшем к деформации земной поверхности вместе с расположенными на ней строениями, например, как это уже было в городах Соликамск и Березники (рис. 1).



**Рисунок 1. Провалы, образовавшийся в г. Соликамск 18 ноября 2014 года и 25 ноября 2010 года на железнодорожной станции г. Березники**

Следует отметить, что последствия катастрофических и чрезвычайных событий – зона ответственности МЧС, но очень важно не допустить и по возможности предупредить эти события.

#### **Кто занимается наблюдением за геодинамической активностью в РФ.**

Наблюдения за геодинамической активностью недр при добыче полезных ископаемых, как правило, ведут региональные подразделения РАН или горнодобывающие предприятия в рамках производственного контроля. Причем наблюдения носят разрозненный и не системный характер, а результаты не получают должного развития.

Рассмотрим, как осуществляется наблюдение за сейсмической активностью на примере Оренбуржья. Отдел геоэкологии Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН по договорам с нефтяными компаниями ведет мониторинг сейсмической и геодинамической активности в западной части Оренбургской области с 2005 года.

В настоящее время работают девять сейсмических станций, объединенных в единую сеть. Мониторинг сейсмической активности в западном Оренбуржье позволил получить большой объем фактического материала о его геодинамике. Анализ результатов показал значимость техногенного влияния на сейсмическую активность недр региона. В районах эксплуатируемых месторождений углеводородов плотность выделившейся сейсмической энергии в три и более раз выше, чем в районах не подверженных техногенному воздействию.

Аналогичные подразделения имеются и в других регионах РФ, например, лаборатория природной и техногенной сейсмичности Горного института УрО РАН в г. Пермь.

#### **Некоторые причины сейсмической активности**

Помимо природных причин антропогенное воздействие на горный массив также может вызывать сейсмическую активность. В настоящее время вызывает беспокойство ситуация сложившаяся на руднике Гайского ГОКа в связи с регистрацией оседаний земной поверхности, достигающих 50 см в год [1] и множества сейсмических событий в районе разрабатываемого месторождения с магнитудами ML 1.5-2.9 [2]. Особую озабоченность вызывает тот факт, что методом радарной интерферометрии было установлено наличие нескольких оседающих и, возможно, деформирующихся сооружений (в том числе отдельные пролеты жилых многоквартирных домов) в городе Гай.

Подобные события происходили и происходят на горнодобывающих предприятиях России. Например, серия землетрясений и катастрофических провалов в Пермском крае в упомянутых выше городах Соликамск и Березники, на шахтных выработках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей, в Свердловской области в районах разработки Кизельского угольного бассейна, на меднорудном карьере в г. Учалы (Башкортостан) [3, 4]. В 2013 году на Кузбассе в районе Багатского разреза зафиксировано сильное землетрясение магнитудой  $M1$  6.1, в результате чего было повреждено около 5 тысяч домов, а общий ущерб составил 1,7 млрд. руб. [5]

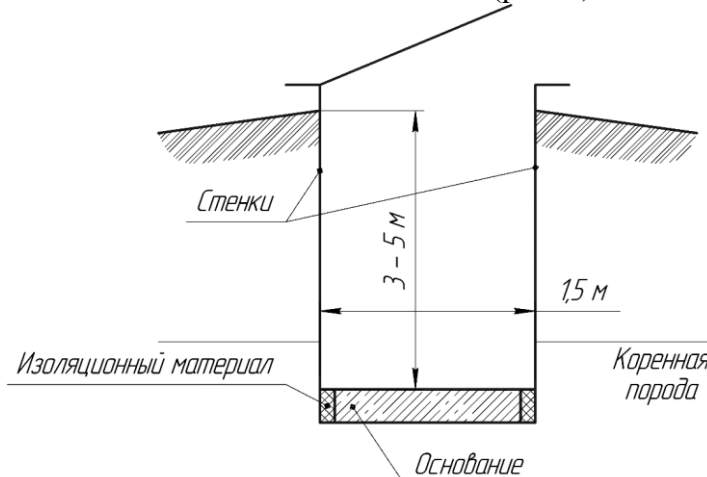
Горнодобывающие работы могут в значительной степени влиять на состояние горного массива. Практическая значимость решения обозначенной проблемы чрезвычайно высока. Исследования, направленные на оценку последствий сейсмических воздействий от массовых взрывов, проводимых в существующих рудниках на верхнюю оболочку земной коры также весьма актуальны.

Все предприятия соседствуют с населенными пунктами, что, естественно, сказывается на экологической ситуации в регионе и безопасности жизни населения.

Для более детального изучения всех происходящих геодинамических процессов и оценки уровня природной и техногенной сейсмической активности необходимо создание полноценной сети сейсмических станций.

### **Описание оборудования и технологий**

Рассмотрим, как выглядит сейсмическая станция (рис. 2).



**Рисунок 2. Обустройство сейсмостанции**

Традиционно это бункер с сейсмодатчиками, расположенными в его основании, фиксирующими сейсмическую активность и передающими сигнал на регистратор сейсмических сигналов. Регистратор предназначен для автоматической регистрации сейсмических сигналов, записи ее на съемном диске и передачи данных по сети Интернет на персональный компьютер для последующего анализа сейсмических событий.

На местности сейсмическая станция выглядит следующим образом (рис. 3).



**Рисунок 3. Сейсмическая станция на местности и ее оборудование**

Также бывают мобильные сейсмостанции (рис. 4).



**Рисунок 4. Комплект мобильной сейсмостанции**

Мобильные сейсмостанции в основном применяют для обследования территорий на предмет зашумленности перед строительством постоянно действующей стационарной сейсмической станции.

**Какие министерства и ведомства заинтересованы в получении информации**

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН проводит научно-исследовательские работы по изучению геодинамической активности верхней части земной коры при разработке пятидесяти крупнейших месторождений углеводородов на территории Оренбургской области. Ежемесячные отчеты о геодинамической активности и деформации земной поверхности на территории месторождений регулярно передаются в МЧС Оренбургской области и предприятиям-недропользователям. Исследования носят теоретический – исследовательский характер.

**Требования федерального законодательства РФ и субъектов в части мониторинга сейсмической активности**

В настоящее время складывается впечатление, что отсутствует общая сеть наблюдений за техногенной сейсмической и геодинамической активностью в РФ, хотя имеется Постановление Правительства РФ от 8 ноября 2013 г. N 1007 "О силах и средствах

единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций", в котором также среди прочих видов мониторинга:

- государственный мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды;
- государственный мониторинг атмосферного воздуха;
- государственный мониторинг водных объектов;
- государственный мониторинг радиационной обстановки;
- государственный лесопатологический мониторинг;
- государственный мониторинг состояния недр;
- упоминается сейсмический мониторинг.

Также имеется Распоряжение Правительства РФ от 3 декабря 2014 г. N 2446-р «О Концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса "Безопасный город" в котором упомянут мониторинг сейсмической активности и обеспечение сейсмической безопасности;

Кроме того, существуют региональные документы, регламентирующие проведение сейсмического мониторинга.

В таблице приведены примеры региональных документов, регламентирующих эти требования.

**Таблица. Региональные документы, регламентирующие требование проведения сейсмического мониторинга**

Наименование документа	Краткое содержание требований
Постановление Правительства Карачаево-Черкесской Республики от 26 августа 2014 г. N 239 "О стратегии социально-экономического развития Карачаево-Черкесской Республики до 2035 года"	Указано, что для мониторинга сейсмической активности, а также прогнозирования чрезвычайных ситуаций необходимо увеличить сеть наблюдения на территории республики путем строительства новых сейсмостанций.
Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 29 декабря 2018 г. N 1318 "Об утверждении Концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса "Безопасный город" в Республике Татарстан на 2018-2022 годы"	Учитывает в том числе мониторинг сейсмической активности и обеспечение сейсмической безопасности;
Закон Кемеровской области от 18 ноября 2004 г. N 78-ОЗ "Об утверждении среднесрочной региональной целевой программы "Сейсмобезопасность территории Кемеровской области на 2005-2007 годы"	Создание геодинамических полигонов позволит организовать ведение комплексного мониторинга геодинамической и сейсмической активности недр в районах размещения крупных промышленных объектов Кемеровской области и отслеживание первичных причин образования глубинных землетрясений на основе маркшейдерско-геодезического, геофизического, гидрогеологического и газодинамического мониторинга геологической среды.

В регионах существуют собственные требования и даже планы расширения сети сейсмических станций, однако нет данных доступных, например, онлайн заинтересованному

пользователю. Отсутствует единая система мониторинга сейсмической активности для добывающих регионов.

#### **Заключение**

В настоящее время отсутствует курирующее ведомство, отвечающее за все сейсмологические и геодинамические исследования в РФ территорий, недра которых подвергаются активному техногенному воздействию, что затрудняет создание единой системы и финансирование расширения сети. Кроме этого, сейсмологический мониторинг должен быть одним из основных методов наблюдений при построении геодинамических полигонов на месторождениях полезных ископаемых, что должно быть закреплено в нормативной и законодательной документации, как на региональном, так и на федеральном уровнях.

Согласно 63 статье Федерального закона "Об охране окружающей среды" предлагаем в состав Государственного экологического мониторинга включить сейсмологический мониторинг территорий, недра которых подвергаются активному техногенному воздействию, а территории в связи с этим подвергаются геоэкологическим рискам. Также принять меры для создания и обеспечения функционирования наблюдательных сетей сейсмических станций мониторинга геоэкологического состояния в рамках подсистем единой системы государственного экологического мониторинга.

В настоящее время вопрос прорабатывается на Общественном совете при Минприроды России и готовятся проекты региональных нормативно-правовых актов, для их дальнейшего утверждения, например в Оренбургской области.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Горбунов В.А., Кантемиров Ю.И. Результаты космического радарного мониторинга деформаций бортов и уступов карьеров ОАО «Гайский ГОК» и смещений земной поверхности и сооружений на промышленной площадке предприятия // Геоматика. 2013. №2. С. 70-76.
2. Maksim Nesterenko, Aleksey Tsviak, Vladimir Belov Natural and technogenic geodynamic processes in the South Ural // First Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories» (IFT2020). 2020. Vol. 208. 01018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020801018>
3. Дягилев Р.А. Макросейсмика техногенных землетрясений Урала // ГИАБ. 2017. №3. С 292-304.
4. Дягилев Р. А. Техногенная сейсмичность горнодобывающих регионов и ее влияние на сейсмическую опасность // БОНЦ УрО РАН. 2011. №2.
5. Ущерб от землетрясения в Кузбассе вырос до 1,7 млрд рублей. [URL: https://ria.ru/20130701/946863025.html](https://ria.ru/20130701/946863025.html)

УДК 622.83

### **ОЦЕНКА ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ СЕРПЕНТИНИТОВ НА СЖАТИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА**

ХАРИСОВ Т. Ф.

Институт горного дела УрО РАН

**Аннотация.** В настоящее время все более актуальным и востребованным становится применение экспресс-метода оценки предела прочности пород на сжатие с применением молотка Шмидта. В отличие от лабораторных методов результатом измерений с применением данного неразрушающего экспресс-метода является величина отскока бойка. Для последующего перехода от величины отскока  $H_g$  к пределу прочности на сжатие в

образце UCS исследуемого типа породы, необходимо выполнять калибровку применяемого прибора.

Методы исследований. В работе производился отбор штуфового материала на бортах Киембаевского карьера хризотил-асбеста для лабораторных испытаний и измерение величины отскока молотка Шмидта Proceq RockShmidt Type N по методике ASTM на локальных участках обнаженного массива. Испытания образцов пород на предел прочности на сжатие выполнялись в лабораторных условиях выполнялись с применением сервогидравлической испытательной системы Wille Geotechnik.

Результаты исследований. На основании полученных данных установлена эмпирическая формула, описывающая зависимость предела прочности серпентинитов на сжатие в образце UCS от величины отскока  $H_r$  молотка Шмидта Type N. Выполнен сравнительный анализ результатов автора с результатами предшественников, полученными с использованием молотка Шмидта Type L при исследовании физико-механических свойств серпентинитов иного месторождения. Расхождение полученных эмпирических формул обусловлено различием физико-механических свойств серпентинитов, слагающих исследуемые массивы месторождений, а также разностью энергии удара применяемых молотков Шмидта.

**Ключевые слова:** молоток Шмидта, предел прочности на сжатие в образце, величина отскока, скальные породы, эмпирическая формула, зависимость, массив.

## COMPRESSION STRENGTH ASSESSMENT OF SERPENTINITES USING REGRESSION ANALYSIS

KHARISOV T. F.

Institute of Mining of Ural Branch of RAS

**Abstract.** Today, the use of express method for assessment of rock compressive strength using Schmidt's hammer is becoming more and more relevant and demanded. In contrast to laboratory methods, the result of measurements using this non-destructive express method is the rebound value of the striker. For the sUral Branchsequent transition from the rebound value  $H_r$  to the compressive strength limit in the UCS sample of the rock type under study, it is necessary to calibrate the used device.

Methods of research. The work included selection of plumbing material on board the Kiembaev chrysotile-asbestos open pit for laboratory tests and measurement of Schmidt's Proceq RockShmidt Type N hammer rebound according to the ASTM method in local areas of exposed massif. Compressive strength testing of rock samples was performed in the laboratory using Wille Geotechnik's servohydraulic testing system.

Research results. On the basis of the obtained data, an empirical formula describing the dependence of the compression strength of serpentinite in the UCS sample on the rebound value  $H_r$  of Schmidt's hammer Type N was established. A comparative analysis of the results of the author with those of his predecessors obtained using a Schmidt Type L hammer in the study of the physical and mechanical properties of serpentinites of another field is made. The difference in the empirical formulas obtained is due to the difference in physical and mechanical properties of serpentinites composing the investigated arrays of deposits, as well as the difference in impact energy of the used Schmidt hammers.

**Keywords:** Schmidt hammer, compressive strength of the sample, rebound value, rock, empirical formula, dependence, rock mass.

### Введение

Предел прочности пород на одноосное сжатие UCS (Uniaxial Compressive Strength) является одной из основных физико-механических характеристик, используемых в горной промышленности и науках о Земле, которая применяется для анализа устойчивости массива

горных пород, установки граничных условий в процессе моделирования, а также при классификации в рейтинговых системах RMR (Rock mass rating), MRMR (Mining rock mass rating) и др. [1 – 5].

Однако процедура определения предела прочности горных пород в лабораторных условиях является трудоемкой, дорогостоящей, требует большого количества оборудования и квалифицированного персонала. Кроме того, для получения достоверных результатов требуется наличие качественно подготовленных образцов. На практике не всегда удается извлечь керны необходимого качества, особенно в сильно трещиноватых, слоистых и обветренных породах. Всё это сильно осложняет оценку прочностных характеристик массива.

В настоящее время все более актуальным и востребованным становится применение экспресс-метода оценки предела прочности пород на сжатие с применением молотка Шмидта, так как он имеет ряд преимуществ: не требуется подготовка образцов, испытания проводятся непосредственно на месте с быстрым получением результатов, не требуется высококвалифицированного персонала при использовании оборудования, низкая стоимость оборудования.

Молоток Шмидта был первоначально разработан для испытаний бетона в конце 1940-х годов. В последние годы он также стал применяться в полевых испытаниях на прочность скальных и полускальных пород. Наибольшее распространение получили Молотки типа L и N, которые обычно используются для определения прочностных свойств горных пород. Тип L имеет энергию удара 0,735 Нм, а тип N – энергию удара 2,207 Нм. Практика показала, что молоток Шмидта позволяет существенно снизить общие затраты, облегчить и ускорить контроль прочности пород, слагающих массив, и тем самым подтверждать или корректировать результаты инженерно-геологических изысканий и проектно-технических решений. Благодаря широкому применению молотка Шмидта в области механики горных пород, данный неразрушающий метод был принят Международным обществом по механике горных пород (ISRM - International Society for Rock Mechanics) и Американским обществом по испытаниям материалов (ASTM - American Society for Testing and Materials).

В отличие от лабораторных методов определения прочностных характеристик горных пород, результатом измерений с применением данного неразрушающего экспресс-метода является величина отскока бойка Молотка Шмидта. Для последующего перехода от величины отскока  $H_r$  к пределу прочности на сжатие в образце UCS исследуемого типа породы, необходимо выполнять калибровку применяемого прибора.

#### **Анализ результатов исследований предшественников**

В течение последних 50 лет исследованием данного вопроса занимались такие иностранные ученые, как Min Wang, Deer DU, Aufmuth ER, Dearman WR, Beverly BE, Kidybinski A, Singh R, Sheorey P, Kong K, Hebib R, Azimian A, Xu S. и др. Результатами их исследований являются эмпирические формулы, позволяющие производить расчет UCS на основании значений, полученных с помощью молотка Шмидта  $H_r$ . В таблице 1 представлена лишь часть их результатов испытаний наиболее распространенных типов пород [5 – 14].

Российские ученые, такие как Карташов С.А., Прокопов А.Ю. и др. выявили в своих исследованиях высокую сходимость значений, полученных при использовании молотка Шмидта, со значениями, полученными в лабораторных условиях при испытании образцов пород на прессе. Каких-либо зависимостей и эмпирических формул перехода не установлено [15 – 17].

Анализ результатов исследований, выполненных ранее, показал, что полученные зависимости, описанные эмпирическими формулами, различаются в широких пределах. Их различия связаны с вариациями типов пород и их характеристик, используемого оборудования, количеством учитываемых переменных параметров (плотность, величина отскока, энергия удара и др.).



**Таблица 1. Эмпирические зависимости предела прочности в образце UCS от величины отскока молотка Шмидта Hr**

Авторы (год)	Тип пород	Результаты исследований
Ху и др. (1990) [7]	Празиниты, Серпентиниты, Габбро	$UCS = 2.99 \cdot e^{(0.06 \cdot Hr)}$ $UCS = 2.98 \cdot e^{(0.063 \cdot Hr)}$ $UCS = 3.78 \cdot e^{(0.05 \cdot Hr)}$
Singh и др. (1983) [8]	Уголь	$UCS = 2 \cdot Hr$
Armaghan i и др. (2016) [9]	Граниты	$UCS = -153.6 \cdot n + 0.01 \cdot Vp + 7.1 \cdot Is(50) + 0.54 \cdot Hr + 63.66$
Liang и др. (2016) [10]	Песчаники	$UCS = 43.36 \cdot DD + 11.16 \cdot Is(50) + 1.04 \cdot Hr - 112.46$
Hebib и др. (2017) [11]	Карбонатные и осадочные породы	$UCS = 2.86 \cdot e^{(0.063 \cdot Hr)}$ $UCS = 2.64 \cdot Hr - 34.05$
Karaman и др. (2015) [12]	Осадочные и магматические породы	$UCS = 0.138 \cdot Hr^{1.74}$ $UCS = 0.097 \cdot Hr^{1.88}$
Yagiz (2009) [13]	Известняки, доломиты, сланцы	$UCS = 0.28 \cdot Hr^{2.58}$
Yasar and Erdogan (2004) [14]	Карбонатные породы, известняки, базальты	$UCS = 0.000004 \cdot Hr^{4.29}$

Примечание: DD – плотность сухого образца, Vp – ультразвуковая скорость Р-волн

### Цель и объект исследований

Целью данной работы является определение аналогичных зависимостей для горных пород Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста с целью обеспечения экспресс-оценки прочностных свойств пород и возможностью последующей корректировки значений рейтинга прибортового массива MRMR в процессе ведения горных работ.

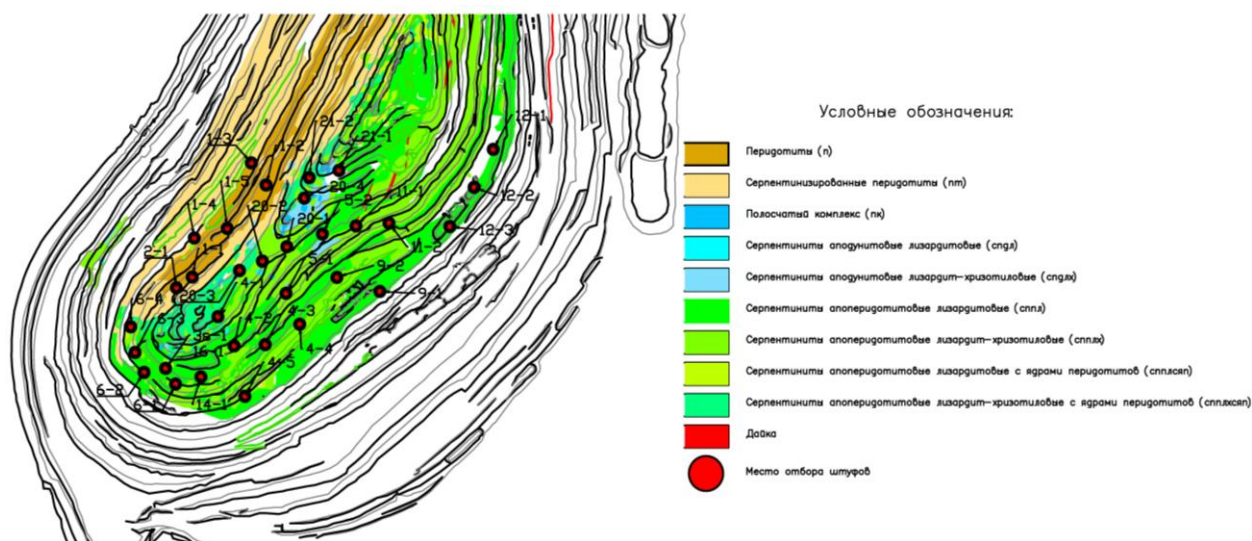
Исследуемый массив сложен в различной степени серпентинизированными ультраосновными породами, которые соответствуют габбро-перидотитовой формации, точнее ее дунит-гарцбургитовой ассоциации. В Джетыгаринском массиве ультрамафиты подверглись серпентинизации. Визуально выделяются ареалы развития лизардитовых, хризотил-лизардитовых, хризотиловых серпентинитов. Подавляющее большинство ареалов серпентинизации вокруг ультрамафитов лизардитовые, лизардит-хризотиловые. Хризотиловые серпентиниты чаще всего аподунитовые. В пределах массива изредка встречаются жильные дуниты, пироксениты, габбро, горнблендиты. Они залегают в виде даек и жил и имеют крупнозернистую структуру и рвущие контакты с вмещающими ультрамафитами и серпентинитами. Жильные породы не затронуты серпентинизацией, но частично подвержены кальциево-силикатным метасоматическим преобразованиям – родингитизации. Некоторые жильные породы полностью превращены в родингиты. Отмечено также два небольших массива габбро, рвущих вмещающие сланцы и серпентиниты по ультрамафитам. Иногда дуниты и гарцбургиты залегают в виде

чередующихся полос мощностью от первых сантиметров до первых метров. Это образование получило название полосчатый комплекс.

Для детального исследования физико-механических свойств пород исследуемого участка массива выполнен отбор штуфового материала на бортах Джетыгаринского карьера. Список пород, подлежащих испытаниям следующий: родингит, сланец, серпентинизированный передотит, серпентинит апопередотитовый, полосчатый комплекс, серпентинит аподунитовый хризотил лизардитовый, серпентинит апоперидотит лизардитовый, серпентинит аподунитовый лизардитовый асбестонотность, серпентинит лизардитовый асбестонотность, серпентинит лизардитовый, серпентинит лизардитовый оталькованный, серпентинит апоперидотитовый хризотил лизардитовый.

### Методы исследований

Участки, где производился отбор штуфового материала для лабораторных испытаний и измерение величины отскока молотка Шмидта Proceq RockShmidt Type N, представлены на рис. 1.



**Рисунок 1. Участки отбора штуфового материала на Кiemбаевском карьере хризотил-асбеста**

Измерения молотком Шмидта производились по методике ASTM на локальных участках обнаженного массива. Сущность методики заключается в серии замеров (не менее 10) на выбранном локальном участке массива площадью 2 – 3 м<sup>2</sup>, при этом точечные замеры производятся на расстоянии друг относительно друга не более ширины плунжера. Молоток упирается перпендикулярно поверхности в монолитный скальный участок массива, где отсутствуют какие-либо трещины, отшелушивания, нарушения и т. д.

Испытания образцов пород на предел прочности на сжатие выполнялись в лабораторных условиях с применением сервогидравлической испытательной системы Wille Geotechnik. Изготовление образцов из штуфового материала для испытаний выполнялось в соответствии с действующей нормативной документацией. Параметры образцов: длина L = 65 мм; диаметр D = 44 мм; соотношением высоты к диаметру 1,5:1; отклонение от плоскости не более 0,05 мм; отклонение от параллельности не более 0,1 мм; отклонение от перпендикулярности образующей по высоте не более 0,3 мм (рис. 2). В испытаниях использовались только образцы, на которых отсутствовали какие-либо видимые трещины и нарушения.



**Рисунок 2. Испытание образцов горных пород Джетыгаринского месторождения**

### Результаты исследований и их сравнительный анализ

Результаты комплексного испытания различных типов горных пород, слагающих массив Джетыгаринского месторождения, и их статистическая обработка представлены в табл. 1. Следует отметить, что измерения с использованием молотка Шмидта выполнялись на открытом участке скального массива в Кiemбаевском карьере там же где и производился отбор штучного материала, а не на подготовленных образцах. Выполнение измерений молотком Шмидта непосредственно на подготовленных образцах дали бы наиболее точные результаты UCS, но обеспечить их абсолютную неподвижность при выполнении измерений не представляется возможным.

**Таблица 1. Результаты исследования предела прочности на сжатие: Нг – величина отскока молотка Шмидта; UCS – предел прочности на сжатие в образце**

Тип пород Измерения	Родингит											Среднее значение	Коэффициент вариации, %
Нг	61,0	64,5	55,5	60,0	53,5	58,5	51,5	62,5	61,5	59,5		123,70	7,0
UCS, МПа	74,7	129,2	150,2	116,6	139,3	122,2	134,1	134,4	115,6	120,7		58,80	16,45
Сланец													
Нг	39,5	27,5	36,0	42,5	33,0	40,5	31,5	45,5	42,0	39,5		37,75	14,88
UCS, МПа	160,5	151,3	64,8	133,0	146,5	157,2	141,9	137,7	139,0	150,5		138,24	19,71
Передотит													
Нг	63,5	61,5	60,5	70,5	72,5	61,5	72,5	72,5	79,0	65,0		67,90	9,29
UCS, МПа	73,6	126,7	115,7	85,8	147,7	68,2	157,4	121,0	119,2	104,7		112,00	26,34
Серпентинизированный перидотит													
Нг	70,0	64,0	62,0	68,5	64,5	67,0	66,5	65,5	62,0	66,5		65,65	3,97
UCS, МПа	114,5	46,3	130,9	119,1	120,6	122,0	128,9	118,1	125,8	122,3		114,85	21,41
Полосчатый комплекс													
Нг	68,5	57,5	57,5	55,5	66,5	57,5	63,5	66,5	64,5	58,0		61,55	7,81
UCS, МПа	76,2	50,5	68,6	45,9	65,6	66,5	59,1	67,0	71,8	64,6		63,58	14,65
Серпентинит апопередотитовый													
Нг	67,0	62,0	70,0	71,5	68,0	66,5	59,0	67,0	69,0	64,5		66,45	5,65
UCS, МПа	27,8	53,0	48,4	33,2	38,2	40,9	39,6	30,8	33,0	40,9		38,58	20,32

Серпентинит аподунитовый хризотил лизардитовый												
Hr	68,0	56,5	70,5	58,0	63,0	62,0	66,5	59,0	55,5	61,5	62,05	8,1
UCS, МПа	20,2	30,7	29,5	22,0	29,9	22,8	24,5	29,1	27,6	28,7	26,50	14,27
Серпентинит апоперидотит лизардитовый												
Hr	67,0	69,5	70,5	64,0	67,5	72,0	66,0	65,5	69,0	66,5	67,75	3,64
UCS, МПа	45,70	44,10	59,40	46,10	64,50	52,30	50,00	54,80	61,90	47,80	52,66	13,74
Серпентинит аподунитовый лизардитовый												
Hr	49,0	52,5	53,0	62,5	51,0	39,0	42,0	42,0	58,5	55,0	50,45	15,03
UCS, МПа	20,6	5,9	24,0	21,0	21,7	15,9	20,9	22,7	18,1	20,0	19,08	27,01
Серпентинит лизардитовый асбестоносность												
Hr	50,0	53,0	62,5	56,0	63,0	61,5	56,0	54,0	58,5	59,0	57,35	7,52
UCS, МПа	18,5	24,4	14,7	29,9	23,6	24,0	27,1	18,9	24,5	26,2	23,18	19,6
Серпентинит лизардитовый												
Hr	56,00	63,00	63,50	71,50	65,00	70,50	65,00	61,00	73,50	73,50	66,25	8,78
UCS, МПа	52,30	45,80	48,70	74,60	52,80	48,00	55,60	45,90	39,10	39,30	50,21	20,17
Серпентинит лизардитовый оталькованный												
Hr	64,0	67,5	75,5	60,5	63,5	68,0	70,0	59,0	62,5	60,5	65,10	7,87
UCS, МПа	24,4	33,2	32,4	39,1	36,0	33,8	32,1	32,6	29,9	30,6	32,41	11,91
Серпентинит апоперидотитовый хризотил лизардитовый												
Hr	76,5	73,0	81,5	77,0	76,5	81,0	81,0	81,5	73,5	65,5	76,70	6,63
UCS, МПа	137,2	106,0	95,5	145,2	166,2	68,2	125,8	129,8	120,1	110,1	120,41	22,78

Для установления зависимостей были определены средние значения Hr и UCS по каждому типу пород, с последующим построением диаграммы отношения между пределом прочности на сжатие в образце UCS и величиной отскока молотка Шмидта Hr (рис. 3).

На представленной диаграмме отслеживается корреляция только у серпентинитов. На данном этапе исследования установление зависимостей для остальных типов пород, слагающих массив Джетыгаринского месторождения (родингиты, сланцы, серпентинизированные перидотиты, перидотиты и полосчатый комплекс), невозможно по причине недостаточного количества проб.

Создание математической модели зависимости предела прочности в образце UCS от величины отскока молотка Шмидта Hr выполнено с помощью компьютерной программы построения функционально-факторных уравнений нелинейной регрессии «Тренды ФСП-1», разработанная в Институте горного дела УрО РАН [18]. В результате получена формула:

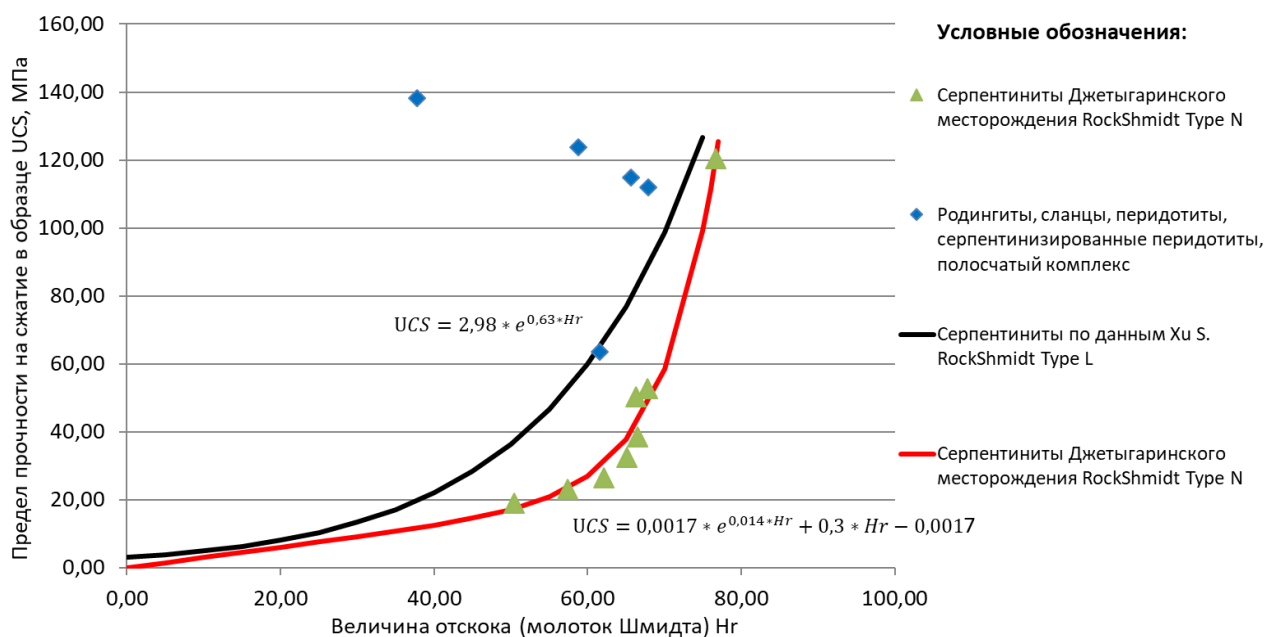
$$UCS = 0.0017 \cdot e^{0.14 \cdot Hr} + 0.3 \cdot Hr - 0.0017,$$

где Hr – величина отскока молотка Шмидта;

UCS – предел прочности на сжатие в образце, МПа.

Коэффициент детерминации составляет  $R^2 = 0,978$ .

Сравнительный анализ результатов исследований серпентинитов, полученных в 1990 году Ху S с использованием RockShmidt Type L, с результатами автора показал значительные расхождения, особенно на интервалах показаний величины отскока молотка от 27 до 80. Расхождения могут быть обусловлены различием физико-механических свойств серпентинитов, слагающих исследуемые массивы месторождений, а также разностью энергии удара применяемых молотков Шмидта.



**Рисунок 3. Отношение между пределом прочности в образце UCS и величиной отскока молотка Шмидта Hr**

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Использование молотка Шмидта для определения предела прочности на сжатие скальных пород возможно только после предварительных исследований и тарировки используемого молотка с целью установления зависимостей для каждого вида пород, слагающих конкретное месторождение.
2. Переход от величины отскока Hr, измеряемой молотком Шмидта Type N, к пределу прочности на одноосное сжатие в образце UCS для serpentinitов Джетыгаринского месторождения выполняется по эмпирической формуле  $UCS = 0.0017 \cdot e^{0.14 \cdot Hr} + 0.3 \cdot Hr - 0.0017$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. LaUral Branchscher D.H. Geomechanics classification of jointed rock masses – mining applications/D.H. LaUral Branchscher // Transactions of Institute of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Industry. – 1977. - vol. 86. - A1-A8.
2. Aksoy C.O. Review of rock mass rating classification: Historical developments, applications, and restrictions / C.O. Aksoy // Journal of Mining Science. – 2008. - vol. 44. - No 51. - p. 51 – 63.
3. LaUral Branchscher D.H. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses / D.H. LaUral Branchscher, J. JakUral Branchec // In Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies (eds. W. A. Hustrulid and R. L. Bullock), pp. 475 – 481, Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME, 2001.
4. Панжин А.А. Комплексное геомеханическое обоснование углов заоткоски бортов карьера/А.А. Панжин, Т.Ф. Харисов, О.Д. Харисова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 3. – С. 295-306.
5. Deer DU. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock / DU. Deer, R. Miller // Deformation Curve AFNL-TR. – 1966. p. 65–116.
6. Wang M. A new empirical formula for evaluating uniaxial compressive strength using the Schmidt hammer test / M. Wang, W. Wan // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 123. – 2019. p. 1-11.
7. Xu S. Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock / S. Xu, P. Grasso, A. Mahtab // 6 Th International IAEG Congress. Rotterdam: Balkema; – 1990. – p. 511–519.

8. Singh R. The application of strength and deformation index testing to the stability assessment of coal measures excavations / R. Singh, F. Hassani, P. Elkington // The 24 Th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS). American Rock Mechanics Association; 1983. p. 63–67.
9. Armaghani DJ. Prediction of the strength and elasticity modulus of granite through an expert artificial neural network / DJ. Armaghani, ET. Mohamad, E. Momeni, M. Monjezi, MS. Narayanasamy // Arab J Geosci. – 2016. – 9:48.
10. Liang M. Rock strength assessment based on regression tree technique / M. Liang, ET. Mohamad, RS. Faradonbeh, DJ. Armaghani, S. Ghoraba. // Eng Comput. – 2016. – 32. p. 343–354.
11. Hebib R. Estimation of uniaxial compressive strength of North Algeria sedimentary rocks using density, porosity, and Schmidt hardness / R. Hebib, D. Belhai, B. Alloul // Arab J Geosci. – 2017. – 10: p. 383.
12. Karaman K. A comparative study of Schmidt hammer test methods for estimating the uniaxial compressive strength of rocks / K. Karaman, A. Kesimal // Bull Eng Geol Environ. – 2015. – 74: p. 507–520.
13. Yagiz S. Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer / S. Yagiz // Bull Eng Geol Environ. – 2009. – 68(1): p. 55–63.
14. Yasar E. Estimation of rock physicommechanical properties using hardness methods / E. Yasar, Y. Erdogan // Eng Geol. – 2004. – 71(3): p. 281–288.
15. Харисов Т.Ф. О проблемах экспресс-метода определения прочности горных пород / Т.Ф. Харисов, А.А. Панжин, О.Д. Харисова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2019. – № 7. – С. 86-91.
16. Гергарт Ю.А. Обзор методов диагностики прочностных свойств горных пород при проходке транспортных тоннелей / Ю.А. Гергарт // Научное обозрение. – 2013. – № 11. – С. 65-68.
17. Прокопов А.Ю. Апробация и оценка точности неразрушающего экспресс-метода определения прочностных свойств породного массива в условиях реконструкции Рокского тоннеля / А.Ю. Прокопов, Ю.А. Гергарт // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 101-107.
18. Антонов В.А. О программе для ЭВМ "Тренды ФСП-1" и ее применении в информационных системах горных предприятий / В.А. Антонов, М.В. Яковлев // В сборнике: Информационные технологии в горном деле доклады Всероссийской научной конференции с международным участием. – 2012. – С. 26-34.

UDC 622.023

## GEOMECHANICAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE INTERNAL DUMP ON THE STATE OF THE UNDERGROUND MINING OF THE AKZHAL DEPOSIT

IMASHEV A. Zh., SUIMBAYEVA A. M.

N-PJSC Karaganda Technical University

**Abstract.** The article presents the results of studies evaluating the impact of the internal dump on the geomechanical condition of the under open pit rock mass of the Akzhal field, which is used for mining ore reserves by a combined method. A numerical analysis of the stress-strained state of rock mass made it possible to evaluate the main stresses in the under open pit rock mass with and without an internal dump. An analysis of the results of numerical modeling showed that the placement of gangue in the central part of the open pit will not have a significant impact on the stress-strain state of the under open pit rock mass.

**Keywords:** internal dump, under open pit rock mass, stress-strain state, stability of mine excavations, numerical simulation, the strength criterion Hoek-Brown, geological strength index.

УДК 622.023

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛА НА СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКЖАЛ

ИМАШЕВ А. Ж., СУИМБАЕВА А. М.

НАО Карагандинский технический университет

**Аннотация.** Приведены результаты исследований по оценке влияния внутреннего отвала на геомеханическое состояние подкарьерного массива месторождения Акжал, ведущего отработку рудных запасов комбинированным способом. Численный анализ напряженно-деформированного состояния массива горных пород позволил оценить главные напряжения в подкарьерном массиве горных пород при условии внутреннего отвала и без него. Анализ результатов численного моделирования показал, что размещение пустых пород в центральной части карьера не окажет значительного влияния на напряженно-деформированное состояние подкарьерного массива.

**Ключевые слова:** внутренний отвал, подкарьерный массив, напряженно-деформированное состояние, устойчивость горных выработок, численное моделирование, критерий прочности Hoek-Brown, геологический индекс прочности.

With the combined method of developing mineral deposits is formed a complex geomechanical system. When working out sUral Branch-quarry reserves there is a number of problems, one of which is the complication of maintaining a stable state of underground mine excavations due to the presence and constant increase in the volume of internal dump.

Internal dump formation is becoming more and more relevant and is used in fields that are working in a combined way. The scheme of overburden placement in a quarry excavation is justified by a number of advantages, including reducing the transportation distance and saving space for placing dumps [1]. So, at the Akzhal lead-zinc ore deposit, there was a need for the formation of an empty rock dump in the quarry excavation. Thus, it was set the task of assessing the impact of the internal dump on the geomechanical situation of deep horizons during further development of sUral Branch-quarry reserves.

The aim of the study is to assess the impact of the internal dump, filled out at the bottom of the quarry, on the stress-strain state of the rock mass around the mine excavations located in the sUral Branch-quarry part of the Akzhal mine.

For predictive assessment of the impact of the internal dump on the geomechanical situation of deep horizons, a comprehensive assessment of the stress-strain state of the sUral Branch-barrier massif is necessary, taking into account the features of the physical and mechanical properties of the host rocks on the basis of numerical modeling.

In accordance with the project [2], it is planned to organize the storage of overburden rocks in the developed space of the Central pit of the Akzhal field, which will reduce the operating costs for transporting the rock mass. Placing the dump at the bottom of the quarry will significantly reduce the distance of overburden transportation compared to the distance of transportation to existing dumps. Along with the effectiveness of technical solutions for storing overburden in the developed space, the environmental situation of the area is improved by reducing the dust content of the surface of external dumps.

In the case of placing an internal dump at the Akzhal field, it is supposed to be formed by loading overburden rocks into the developed space of the central part of the quarry with a sequential embankment. According to the project [2], the loading height will be 30 m. The base on which it is planned to fill the dump is composed of strong rocks.

To assess the degree of stability of the sUral Branch-barrier rock mass, was additionally performed a detailed study of the strength properties of rocks [3]. As a result of laboratory tests was determined the average value of the compressive strength, which is 76.24 MPa.

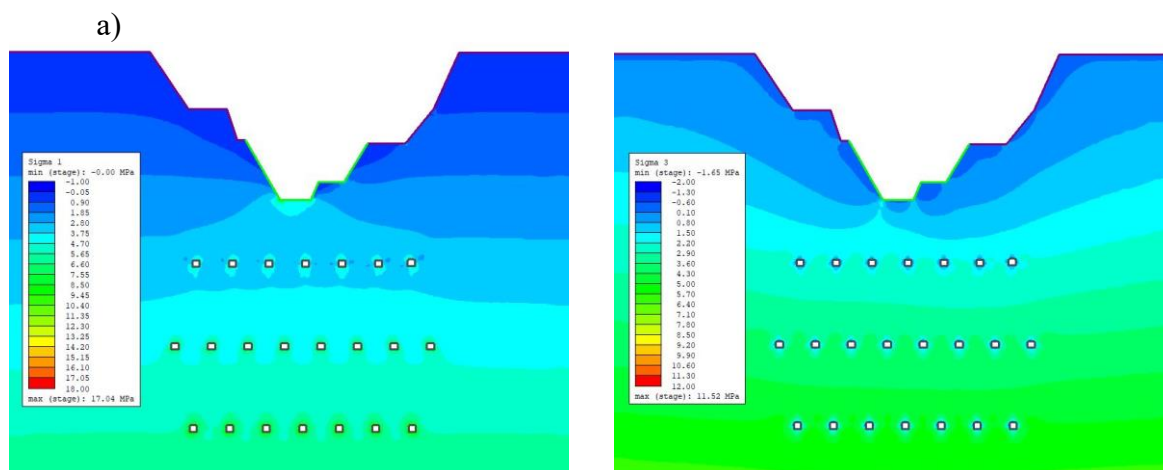
To assess the possible impact of the placement of empty rocks in the developed space on the geomechanical state of the sUral Branch-barrier rock mass of the Akzhal deposit, was performed numerical modeling of the stress-strain state of the mass before and after the formation of the internal dump. The Hoek-Brown criterion was chosen as a failure criterion for assessing the stability of mine excavations.

Previously conducted studies for determining the physical and mechanical properties of rocks of the Akzhal deposit [4], and additionally performed geotechnological studies in the framework of this work, allowed to determine the initial data for the numerical analysis of the stress-strain state of the rock mass (Table 1).

**Table 1. Strength indicators according to the Hoek-Brown criterion**

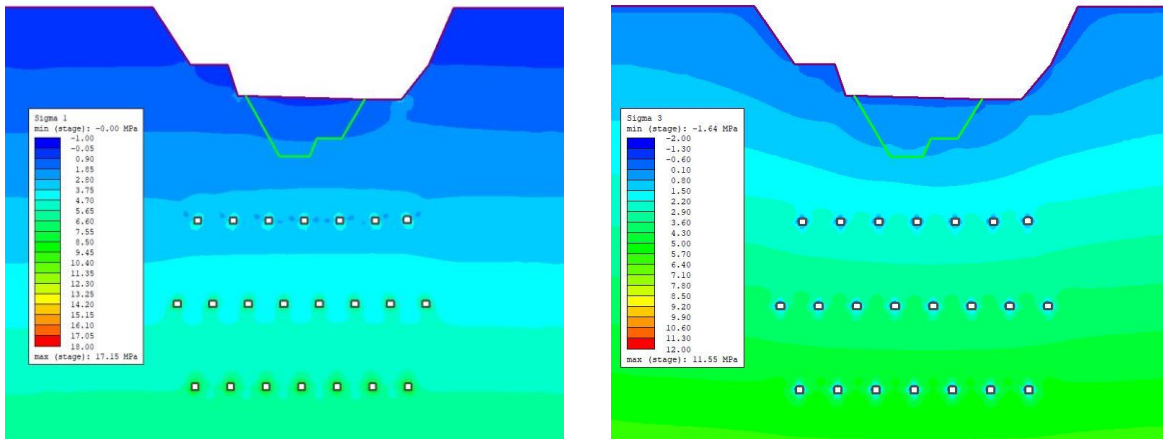
Type of breed	Volume weight, MH/M <sup>3</sup>	GS I	Ultimate strength in the sample sigci, MPa	Indicator of rock disturbance	Ultimate strength in the array sigcm, MPa	Hoek-Brown Criterion			Poisson's ratio	Strain modulus, MPa
						mb	s	a		
Massive limestones	0,027	64	76,24	D=0	18,32	2,764	0,018	0,502	0,25	32550,2
				D=0,8	11,47	1,173	0,004	0,502	0,27	11499,5

At the first stage of the study was studied the qualitative change in the stress-strain state of the sUral Branch-quarry massif containing the mine excavations in the immediate vicinity of the quarry bottom. Figure 1 shows the isolines of the distribution of vertical ( $\sigma_1$ ) and horizontal ( $\sigma_3$ ) stresses in the sUral Branch-barrier array with and without taking into account the internal blade.





б)



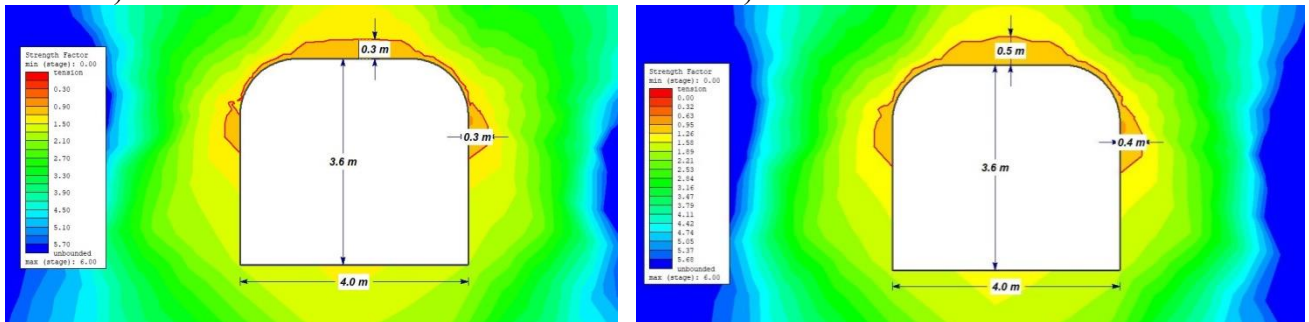
**Figure 1. Isolines of the distribution of vertical and horizontal stresses in the open pit rock mass around the excavations: a) without an internal dump; b) with an internal dump**

From the presented isolines of the distribution of vertical stresses, it can be seen that without loading the rock mass in the quarry recess directly under the bottom of the quarry, there is a slight increase in the main stresses. And in the case of an internal blade, the vertical stresses are distributed more evenly. The analysis of the horizontal stress distribution isoline shows that internal dump formation leads to a more uniform distribution of sigma 3. With increasing distance from the bottom of the quarry, the vertical and horizontal stresses in the sUral Branch-quarry array tend to the stress values corresponding to the option without an internal dump. From this, it can be assumed that the change in stresses in the sUral Branch-pit massif around the mine excavations is most dependent on the distance to the bottom of the quarry and the presence of an internal dump. It should also be noted that the sUral Branch-barrier array is characterized by the predominant values of the horizontal over the vertical components of stress. This feature is caused by the presence of significant unequal horizontal tectonic stresses in the massif.

Next were considered the quantitative values of stresses that occur on the contour of the excavations of the sUral Branch-barrier array. For this purpose, the stress-strain state around the mine excavations located along the central axis of the quarry at a distance of 35 meters from the immediate bottom of the quarry is considered in detail. Figure 2 highlights the isolines of the zone of possible rock collapses with a Strength Factor of less than 1.2. The rocks enclosed in this zone are characterized by the degree of stability as unstable.

a)

б)

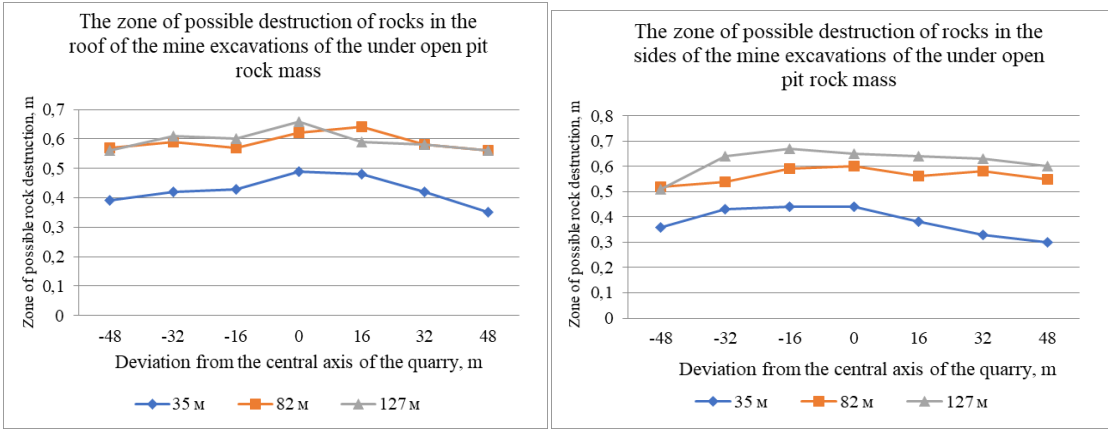


**Figure 2. Isolines of the distribution of the zone of possible destruction around the mine excavations located in the vicinity of the bottom of the quarry: a) without an internal dump; b) with an internal dump**

From the analysis of the distribution pattern of isolines by the Strength Factor is observed an uneven distribution of the safety factor along the contour of the excavations, namely, minor deformations on the roof and the redistribution of the load on the sides of the excavations. The quantitative values of the zones of inelastic deformations in the variant with internal dump

formation are almost equal to the case of the absence of a dump. It can also be noted that the qualitative nature of the distribution of the main stresses around the mine excavations located near the bottom of the quarry does not change.

Further is considered the influence of the dump in the quarry excavation on the stress changes on the contour of the excavations of the sUral Branch-quarry array at a horizontal distance from the central axis at the depths of the excavations 35 m, 82 m, 127 m from the pit bottom mark. Figure 3 shows the changes in the zones of possible destruction on the contour of the excavations, depending on their position from the bottom of the quarry in the horizontal plane.



**Figure 3. Changes of the zones of possible destruction in the roof and in the sides of the excavations of the under open pit rock mass, depending on their position from the bottom of the quarry in the horizontal plane**

According to the presented values of the zones of possible destruction, it can be concluded that internal dump formation affects not only directly under the bottom, but also at some distance in the horizontal direction. Also should be considered the influence of the quarry side on the stress-strain state of the sUral Branch-quarry array, due to the appearance of the gravitational component of stresses. There is also a slight asymmetry relative to the central axis of the quarry, due to the uneven contour of the earth's surface set in the model. The analysis of the simulation results showed that the greatest increase in the values of the zones of possible destruction on the contours of the excavations of the sUral Branch-quarry massif occurs directly under the bottom of the quarry and at a distance of 16 meters from the central axis of the quarry. For excavations located at a deviation from the central axis of more than 16 meters, there is a decrease in the stress values, therefore, this section can be characterized as an instrument section, since it is mutually influenced by the bottom and side of the quarry.

**Conclusions**

The assessment of the impact of the internal dump on the geomechanical state of the Akzhal deposit sUral Branch-barrier massif allowed to draw the following conclusions:

- the main stresses increase to a small extent in the sUral Branch-barrier array directly under the bottom of the quarry, and with increasing depth or deviation from the central axis of the mine excavations, the stress value tends to the case without taking into account the dump in the quarry excavation. From this, it can be assumed that the change in stresses in the sUral Branch-barrier array around the mine excavations is most dependent on the distance to the bottom of the quarry;

- the results of numerical modeling have shown that the placement of empty rocks in the central part of the quarry will not have a significant impact on the stress-strain state of the sUral Branch-barrier array;

- high values of the safety factor of the rocks of the near-contour part allow to minimize the cost of fixing and maintaining mine excavations.

## REFERENCES

1. Sakantsev G.G. Resource-saving technologies in the development of ore deposits using the developed space // Mining information and analytical bulletin. 2015. – № 2. – P. 29-37.
2. The project of industrial development of the reserves of the Akzhal field by underground method. Geological, hydrogeological, technological (mining and mining-mechanical) part. Explanatory note. – 2013. – Volume 2. – P. 183.
3. Imashev A.Zh. Laboratory studies of the rock strength of the Akzhal deposit / Imashev A.Zh., Suimbaeva A.M., Batyrshayeva Zh.M., Abdibaitov Sh.A. // Proceedings of the international scientific and practical conference «Integration of science, education and production – the basis for the implementation of the National Plan», Karaganda city, 2019. – P. 134-137.
4. Imashev A., Suimbayeva A., Zholmagambetov N., Takhanov D., Abdimutalip N. Research of possible zones of inelastic deformation of rock mass // News of national academy of sciences of the RepUral Branchlic of Kazakhstan. – 2018. – № 2. – P. 177-183.

УДК 622.834; 622.847

## ХАРАКТЕРИСТИКИ УПЛОТНЕНИЯ ПОРОД ЗОНЫ ОБРУШЕНИЯ СЕВЕРОПЕСЧАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

ЕФРЕМОВ Е.Ю.

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

**Аннотация.** В работе исследуется развитие процесса воронкообразования при подземной разработке месторождений в условиях скальных массивов горных пород. В качестве полигона исследований используется Северопесчанское железорудное месторождение.

Методика исследований базируется на анализе объемов горных выработок и провалов с возрастом от 5 до 50 лет и определении коэффициента разрыхления обрушенных пород, по изменению которого с течением времени можно судить о возможном завершении процесса воронкообразования в горном массиве. Для определения объемов провалов земной поверхности применяется фотограмметрическая съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Результаты наблюдений показывают взаимосвязь показателей уплотнения обрушенного массива и времени существования воронки. Установлено, что в течение нескольких десятилетий после появления воронки обрушения скорость деформирования массива горных пород существенно снижается. Значение коэффициента разрыхления на уровне 1.12-1.14 свидетельствует о достаточном уплотнении массива и стабилизации объемов провалов.

**Ключевые слова:** сдвигание горных пород, воронка обрушения, зона обрушения, подработанные территории, провал, коэффициент разрыхления обрушенного массива.

# BULK FACTOR OF THE COLLAPSE ZONE ROCKS OF SEVEROPESCHANSKOE ORE DEPOSIT

EFREMOV E. YU.

The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences

**Abstract.** In this article the development of the ground cavities formation of rock mass at mining is investigated. The Severopeschanskoye iron ore deposit is used as an experimental site for research.

The research methodology is based on the analysis of the volumes of mine workings and ground cavities that appeared in the range from 5 to 50 years and the determination of the swell factor of collapsed rocks. Its change over time indicates possible completion of the cavity formation process in the rock mass. Photogrammetric survey with unmanned aerial vehicles is used to determine the volumes of ground cavity.

The results of observations show the relationship between compaction indicators of the collapsed rock mass and the time of cavity existence. It has been established that within several decades after the appearance of the ground cavity the deformation rate of the rock mass decreases significantly. The swell factor at the level of 1.12–1.14 indicates sufficient compaction of the rock mass and stabilization of the surface collapse volumes.

**Keywords:** rock movement, ground cavity, rock caving zone, undermined territories, surface collapse, the swell factor of collapsed rocks.

## Введение

Использование подработанных территорий является актуальной проблемой для Урала как старого горнопромышленного региона. На таких территориях зачастую горные предприятия находятся в непосредственной близости от наземной производственной и гражданской инфраструктуры. На Урале большое количество населенных пунктов подработаны горными работами. К таковым относятся Березники, Краснотурьинск, Березовский, Верхняя Пышма, Нижний Тагил, Дегтярск и др. В этих городах старые выработки располагаются непосредственно под урбанизированными территориями, когда в зоны опасных деформаций попадает значительное число жилых домов и общественных пространств. Зафиксированы случаи образования внезапных провалов земной поверхности над старыми подземными выработками спустя несколько десятков лет после прекращения их функционирования. Этой проблеме посвящено достаточное количество публикаций как российских [1–4], так и зарубежных авторов [5–8].

Анализ причин и механизм возникновения внезапных обрушений земной поверхности освещен в публикациях многих исследователей. В работе [9] в ходе анализа многолетних инструментальных наблюдений за процессом сдвижения на Сарановском месторождении и сопоставлении их результатов с внезапным провалом земной поверхности отмечается, что в определенных горно-геологических условиях деформационные процессы могут развиваться крайне локализовано, не проявляя видимых признаков влияния на прилегающий массив горных пород. Авторы работы [10], анализируя провалы в г. Березовском, отмечают геологическую специфику золоторудного месторождения и фактор наличия современных геодинамических движений. На основании аналитических исследований факторов, влияющих на образование провалов, по мнению авторов публикации [11], главенствующую роль в этом процессе играет гидрогеологический фактор. Влияние систем разработки на образование провалов рассмотрено в работе [12]. Авторами публикации [13] на основании обзора и обобщения работ по сдвижению горных пород на угольных и рудных месторождениях выявлено влияние физико-механических свойств пород на характер процесса сдвижения, а также отмечается необходимость учета строения массива и трещиноватости пород при прогнозе условий образования провалов на земной поверхности.

Комплексные исследования механизма внезапных провалов на конкретных месторождениях обсуждаются в работах российских [14–16] и зарубежных [17–20] авторов.

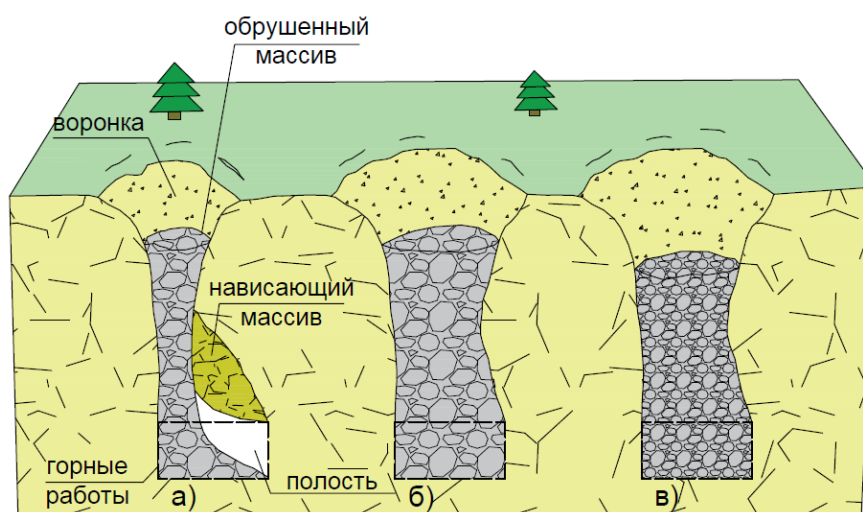
Наличие провалов вне городской застройки также приводит к значительным сложностям, связанным с безопасным нахождением людей вблизи опасных зон и ведением хозяйственной деятельности. Лучшим решением данной проблемы, как правило, является ликвидация или рекультивация подобных зон. Ресурсные возможности, приоритетные направления и технологии технической рекультивации зон обрушения и подземных пустот, а также варианты их использования как социального объекта обоснованы в работах [21–23]. С точки зрения действующих нормативных документов любые работы по восстановлению и использованию подработанных территорий могут проводиться при наличии специального проекта только после завершения процесса воронкообразования [24–25]. Однако, как показывают исследования, деформирование скальных массивов вследствие ведения горных работ и после их прекращения может продолжаться достаточно долго и, кроме того, сопровождаться внезапными провалами.

В предшествующих работах [26–27] был предложен коэффициент разрыхления обрушенного массива в качестве параметра, описывающего объем провалов на земной поверхности. Для его адекватного применения при оценке размеров провалов необходима значительная работа по установлению параметров связи между объемами горных работ и воронок обрушения для различных условий разработки.

Данная статья посвящена определению величины коэффициента разрыхления при горных разработках в скальных условиях. В качестве полигона исследований используется Северопесчанское месторождение, на земной поверхности которого на ограниченном пространстве и сходных условиях вмещающего массива имеются воронки обрушения различного возраста. Из анализа объемов данных воронок можно судить о скорости уплотнения массива обрушенных пород.

#### Методы исследования

Процесс воронкообразования отличается рядом особенностей. Активная стадия процесса, как правило, продолжается нескольких дней – месяцев. При этом образование воронки происходит достаточно быстро, в течение несколько минут – часов, за которыми следуют несколько дней – месяцев формирования относительно устойчивых контуров.



**Рисунок 1. Этапы развития провала на земной поверхности: а) появление провала, б) увеличение провала за счет компенсации полостей, в) уплотнение обрушенного массива и выполаживание бортов**

**Figure 1. Stages of ground cavity change: a) ground cavity occurrence, b) ground cavity increasing due to compensation of holes, c) compaction of collapsed rock mass and cavity walls flattening**

Однако внутри нарушенного массива могут находиться протяженные устойчивые участки массива пород, вследствие наличия которых в течение многих месяцев – десятков лет могут сохраняться пустоты, представляющие серьезную опасность (рисунок 1). В дальнейшем происходит уплотнение обрушенного материала, заполнение пространства между крупными обломками более мелким материалом. Особую опасность при этом представляют системы с самообрушением, так как без принудительного обрушения, в крепких скальных массивах могут длительное время сохраняться полости значительного объема, внезапное обрушение которых в дальнейшем может привести к серьезным авариям [9].

Наиболее подходящим параметром, который описывает состояние обрушенного массива является коэффициент разрыхления. *Коэффициент разрыхления обрушенного массива* связывает объемы горных работ с размерами провала на земной поверхности. Эта связь определяется следующим соотношением [26]:

$$V_{\text{вор}} = V_{\text{подз}} - V_{\text{м}}(K_{\text{р}} - 1), \quad (1)$$

где  $V_{\text{вор}}$  – объем воронки, полученный из наблюдений,  $V_{\text{подз}}$  – объем очистных горных выработок,  $V_{\text{м}}$  – объем массива над выработанным пространством, вовлеченного в процесс обрушения.  $K_{\text{р}}$  – *коэффициент разрыхления обрушенного массива*. Коэффициент разрыхления показывает, во сколько раз изменяется объем горной породы при ее разрушении, то есть является параметром, характеризующим состояние обрушенного массива. Коэффициент разрыхления зависит от физико-механических свойств пород, трещиноватости, параметров выработок и других характеристик массива и определяется конкретно для разных условий разработки.

Определение геометрических параметров воронок обрушения осуществляется дистанционными способами. В зависимости от технической обстановки и поставленных задач применяются следующие технологии: наземное лазерное сканирование, наземная и воздушная фотограмметрия, спутниковая интерферометрия.

В рамках данного исследования использовалась фотограмметрическая съемка с применением беспилотных летательных аппаратов. При выполнении работ использовалось устройство DJI Phantom 4 и программное обеспечение Agisoft Metashape. Современные фотограмметрические методы позволяют получить точность трехмерной модели на уровне первых сантиметров. Согласно исследованиям [27] относительная ошибка определения объема воронки в реальных условиях не превышает одного процента. Объем горных работ рассчитывается на основе производственной документации. Подробно методика анализа воронок обрушения приведена в работах [26, 27].

#### **Условия воронкообразования на Северопесчанском месторождении**

Шахта “Северопесчанская” расположена в Свердловской области, в 8 км южнее г. Краснотурьинска, введена в эксплуатацию в 1967 г. Шахта осуществляет разработку Песчанского скарново-магнетитового месторождения. Месторождение представлено несколькими участками и изолированными рудными залежами.

Основные запасы сосредоточены в Северопесчанской залежи, в лежачем боку которой пройдены главные стволы и построена центральная промышленная площадка шахты.

Отработанный горными работами участок представляет собой один горизонт на глубине около 500 м, высота камер до 80 м. Размеры около 1200 м по простиранию и до 200 м вкрест. Лежачий бок сложен известняками, порфиритами и туфами. Висячий – диоритами, пироксеновыми скарнами и порфиритами.

Ориентировка залежи близка к меридиональной. На поверхности образована зона обрушения, частично пересекающая открытые горные разработки середины XX века. Положение зоны обрушения соответствует положению очистных выработок.

Южная залежь располагается в полутора километрах южнее. Размеры участка отработки на данный составляют 300 м по простиранию и 150 м вкрест, участок ориентирован с северо-запада на юго-восток. Глубина выпускающего горизонта составляет около 600 м, высота очистных выработок - до 80 м. При отработке первых 10 % участка

работ на поверхность вышла воронка, образованная обрушением первой очистной камеры, с отклонением от вертикали около 8 градусов. В дальнейшем распространение провала прекратилось, остальной участок отработки вызвал лишь плавные деформации земной поверхности. Площадь обрушения составляет около 10 тыс. кв. м. В связи со значительным отклонением канала обрушения от вертикали, воронка лишь наполовину располагается над горными работами.

#### Результаты исследования

В процессе работы проанализированы три воронки обрушения, две из которых образованы при отработке центрального рудного тела и одна воронка Южной залежи. Воронки вышли на поверхность в различное время. Большой провал проявился около 50 лет назад, малый провал – в 2014 году, провал при отработке Южной залежи – в 2010 году.

Полученные в ходе фотограмметрической съемки объемы воронок, рассчитанные объемы очистных пространств и полученные обратными расчетами из формулы (1) значения *коэффициента разрыхления обрушенного массива* представлены в табл. 1. Результаты вычислений показывают, что значения коэффициента разрыхления для отдельных рудных тел различаются между собой. Так для воронок, относящихся к центральной залежи, коэффициент разрыхления  $K_p$  составляет для большого провала  $1.13 \pm 0.01$ , для малой воронки –  $1.21 \pm 0.02$ .

**Таблица 1. Анализ объемов воронок обрушения**

Параметр	Центральное тело, большой провал	Южное тело	Центральное тело, малый провал
Возраст, г	~50	10	5
Площадь воронки, тыс. м <sup>2</sup>	43,6	9,4	8,4
Измеренный объем, тыс. м <sup>3</sup>	3 217	52	186
Объем очистных работ, тыс. м <sup>3</sup>	4 099 843	272	642 026
Коэффициент разрыхления вышележащего массива	1.13	1.12	1.21

Значение *коэффициента разрыхления обрушенного массива* варьируется в пределах 1.12 – 1.21, что меньше значений коэффициента разрыхления скальных пород, используемого при технологических операциях: отбойке, транспортировке и др., когда его значения, как правило, составляют 1.3 – 1.6. Подобные значения коэффициента свидетельствуют об отсутствии полостей значительного размера.

Анализ объемов показывает, что *коэффициент разрыхления обрушенного массива* коррелирует со временем существования провалов. С увеличением его продолжительности происходит уплотнение разрыхленных пород в области провала, выражающееся в уменьшении *коэффициента разрыхления обрушенного массива*. Скорость уплотнения при этом значительно снижается со временем.

Сейчас в горных массивах под провалами развиваются процессы уплотнения и переноса мелкой фракции обрушенных пород на более глубокие горизонты. Эти процессы в перспективе нескольких десятилетий будут приводить к периодическим локальным обрушениям в провале.

По результатам визуального исследования прослеживаются отличия в процессе сдвижения между воронками, вышедшими в разных условиях. При мощности наносов, большей или равной глубине воронки (Южная залежь), заметно значительное

выполживание бортов воронки, в соответствии со значениями углов естественного откоса от 15 до 30 градусов. В условиях незначительной мощности наносов при равном коэффициенте разрыхления обрушенного массива воронки имеют значительно более крутые углы откоса бортов - от 35 до 90 градусов.

#### **Заключение**

Проведенные исследования дают представления о скорости протекания процессов обрушения в скальных массивах с незначительной мощностью наносов.

По результатам исследования состояния зон обрушений Северопесчанского месторождения установлено, что даже в пределах одного месторождения параметры процессов воронкообразования могут различаться.

Результаты показывают дифференциацию свойств обрушенного массива в зависимости от длительности процесса воронкообразования. При его увеличении до нескольких десятков лет происходит уплотнение разрыхленных пород, что соответствует изменению *коэффициента разрыхления обрушенного массива* на величину 0.1. При этом существенное изменение параметров уплотнения обрушенного массива происходит в первые 10 лет после образования воронки. Для провалов десятилетнего и пятидесятилетнего возраста разница в значениях *коэффициента разрыхления обрушенного массива* для условий Северопесчанского месторождения, а, возможно, и для всех скальных массивов (при отсутствии полостей вследствие зависания пород), исчисляется сотыми долями и находится на уровне точности определения. Значения коэффициента на уровне 1.12-1.14 свидетельствует о достаточном уплотнении массива и стабилизации объемов провалов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00581-19-00. Тема №0405-2019-007

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ведерников А. С., Зуев П. И. Районирование подработанных территорий города Берёзовский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №3-1. – С.37–45. DOI [10.25018/0236-1493-2020-31-0-37-45](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-37-45).
2. Усанов С. В. Подработанные подземными работами территории в г. Березовский и оценка возможности их использования // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. - № 10. - С. 349 - 352.
3. Чистяков Е. П., Федоренко А. И., Чистяков Д. Е., Мошинский В. И. Горнотехнические и геомеханические аспекты сдвижения пород на горнорудных предприятиях Кривбасса // [Горный вестник](#). - 2013. - Т. 1. - №1(96). - С. 109-112.
4. Феофанов А. Н. Проблема старых горных выработок и пути ее решения // [Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Проблеми екології](#). - 2007. - №1-2. - С. 104-115.
5. [Longoni L., Papini M., Brambilla D., Arosio D., Zanzi L.](#) The risk of collapse in abandoned mine sites: the issue of data uncertainty // [Open Geosciences](#), 2016, Vol. 8, Iss. 1, pp. 246-258. DOI [10.1515/geo-2016-0022](https://doi.org/10.1515/geo-2016-0022).
7. Al Heib, M., Duval, C., Theoleyre, F. et al. Analysis of the historical collapse of an abandoned underground chalk mine in 1961 in Clamart (Paris, France). // [Bulletin of Engineering Geology and the Environment](#), 2015, Vol.74, pp.1001–1018. DOI [10.1007/s10064-014-0677-6](https://doi.org/10.1007/s10064-014-0677-6).
8. [Strozik G., Jendrus R., Manowska A., Popczyk M.](#) Mine sUral Branchsidence as a post-mining effect in the Upper Silesia coal basin // [Polish Journal of Environmental Studies](#), 2016, Vol. 25, no 2, pp. 777-785. DOI [10.15244/pjoes/61117](https://doi.org/10.15244/pjoes/61117).
9. [Sainsbury D. P., Sainsbury B. L., Lorig L. J.](#) Investigation of caving induced sUral Branchsidence at the abandoned Grace Mine // [Mining Technology](#), 2010, Vol. 119, no 3, pp. 151-161. DOI [10.1179/174328610X12820409992336](https://doi.org/10.1179/174328610X12820409992336).
10. Харисова О. Д., Харисов Т. Ф. Анализ многолетних инструментальных наблюдений и прогноз развития аварийных событий на Сарановском месторождении // [Проблемы недропользования](#). - 2020. - №2(25). - С. 134-143. DOI [10.25635/2313-1586.2020.02.134](https://doi.org/10.25635/2313-1586.2020.02.134).



11. Далатказин Т. Ш., Коновалова Ю. П. Прогноз последствий затопления Березовского рудника // [Проблемы недропользования](#). - 2017. - №3(14). - С. 60-66.
1. 11.Белодедов А. А., Должиков П. Н., Легостаев С. О. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт // [Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле](#). - 2017. - № 1. - С. 160-169.
12. Кожоголов К. Ч., Тажибаев К. Т., Абдибаитов Ш. А. Анализ влияния систем разработок на сдвигение горных пород и образование провалов земной поверхности. // [Наука и новые технологии](#). - 2008. - №7-8. - С. 24-26.
13. Абдибаитов Ш. А., Исаев Б. А., Абдиев А. Р. Влияние физико-механических свойств и структурных нарушений пород на процесс образования провалов земной поверхности. // [Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета](#). - 2017. - Т. 17. - №8. - С. 140-143.
14. Зеленцов С. Н., Кутепов Ю. Ю., Боргер Е. Б. Изучение провалов и механизма их образования на подрабатываемой земной поверхности шахты им. А.Д. Рубана // [Горный информационно-аналитический бюллетень \(научно-технический журнал\)](#). - 2017. - №5. - С. 271-280.
15. Должиков П. Н., Прокопова М. В., Хамидуллина Н. В. Натурные исследования провалов над горными выработками закрытых шахт // [Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле](#). - 2018. - № 4. - С. 3-11.
16. Лобанова Т. В. Особенности обрушения земной поверхности над выработанным пространством слепых рудных тел юго-восточного участка Таштагольского месторождения // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. – 2019. –Т.6. - №1. – с.169-175. DOI [10.15372/FPVGN2019060129](#).
17. Hui, X., Ma, F., Zhao, H. et al. Monitoring and statistical analysis of mine sUral Branchsidence at three metal mines in China. // [Bulletin of Engineering Geology and the Environment](#), 2019, Vol.78,pp.3983–4001. DOI 10.1007/s10064-018-1367-6.
18. Xia, K., Chen, C., Yang, K. et al. A case study on the characteristics of footwall ground deformation and movement and their mechanisms. // *Natural Hazards*, 2020, Vol.104, pp.1039–1077. DOI 10.1007/s11069-020-04204-4.
19. Cui, X., Gao, Y. & Yuan, D. Sudden surface collapse disasters caused by shallow partial mining in Datong coalfield, China. // *Natural Hazards*, 2014, Vol.74, pp.911–929. DOI 10.1007/s11069-014-1221-5.
20. Szwedzicki T. Geotechnical precursors to large-scale ground collapse in mines // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2001. – V.38. – № 7. – P. 957–965.
21. Славиковский О. В., Славиковская Ю. О. Экологические и социальные аспекты технической рекультивации техногенных пустот недр // [Известия высших учебных заведений. Горный журнал](#). - 2008. - №8. - С. 71-76.
22. Колчина М. Е., Коновалов В. Е., Колчина Н. В. Вопросы безопасности и организации рационального использования земель промышленных городов в зонах влияния подземных горных выработок // *Известия Уральского государственного горного университета*. – 2017. - №1(45). – С. 37-43. DOI [10.21440/2307-2091-2017-1-37-43](#).
23. Marschalko, M., Yilmaz, I., KUral Branchečka, K. et al. Utilization of an underground mining evaluation map incorporating the effect of landslides and surface flooding for land-use purpose. // [Bulletin of Engineering Geology and the Environment](#) , 2014, Vol. 73, pp.1117–1126. DOI 10.1007/s10064-014-0634-4.
24. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на месторождениях рудных металлов Урала и Казахстана: утверждены Минметом СССР 02.08.1990 г.; согласованы Госпроматомнадзором СССР от 21.06.1990 г. № 4. – Свердловск, 1990.
25. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых”:

утверждены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ 11 декабря 2013 г. № 599. – 186 с.

26. Ефремов Е. Ю. Обоснование критерия завершения процесса воронкообразования // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2018. – №4. – С.12–22.
27. Ефремов Е. Ю. Дорохов Д. В. Оценка состояния и мониторинг процесса воронкообразования при подземной разработке системами с обрушением кровли // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 4. – С.170 – 178. DOI 10.18799/24131830/2020/4/2604.

УДК 622.2:004

### РЕШЕНИЕ КОМПЛЕКСА ГОРНЫХ ЗАДАЧ НА БАЗЕ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАННЫХ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

БИЛЬДЮК Е.В., АСТАПЕНКО Т.С.

Белорусский национальный технический университет

*Аннотация.* В данной статье озвучены вопросы построения пространственных моделей рельефа в геоинформационной системе Surfer. Данная программа позволяет создавать высококачественные карты и выбрать наиболее подходящий алгоритм для повышения точности модели. Достоинством системы Surfer является возможность проводить оценку качества исходных данных и получаемых результатов.

*Ключевые слова:* геоинформационные системы, ГИС, компьютерные технологии, Surfer, метод Kriging.

### SOLUTION OF A COMPLEX OF MINING PROBLEMS BASED ON THE ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTED DATA BY GEOSTATISTICAL METHODS

BILDZIUK YA. V., ASTAPENKA T. S.

Belarusian National Technical University, Belarus, Minsk

*Abstract.* This article describes the issues of building spatial relief models in the Surfer. This geographic information system allows to create high-quality maps and choose the most appropriate algorithm to improve the accuracy of the model. The advantage of Surfer is the possibility of evaluating the quality of input data and the results obtained.

*Keywords:* geo-information systems, GIS, computer spatial interpolation, Surfer, Kriging method.

Основным направлением повышения экономической эффективности работы горнодобывающих предприятий является внедрение в производство современных компьютерных технологий и геоинформационных систем.

Одним из существенных элементов разработки оптимальных технологических схем ведения горных работ является достоверная информация о геологическом строении и состоянии массива.

Использование современных компьютерных методов решения задач горных предприятий позволяет не только повысить производительность труда специалистов, но и добиться максимально полного извлечения полезного ископаемого из недр и необходимого уровня автоматизации технологических процессов.

В настоящее время существует множество программных продуктов, обеспечивающих информационные технологии обработки различного рода информации. К ним относятся текстовые процессоры, табличные процессоры, системы управления базами данных, системы автоматического проектирования.

Информационные технологии предназначены для решения различного вида задач, возникающих на каком-либо этапе горного производства, прежде всего, для информационного обслуживания всех работников предприятий, связанных с принятием управленческих решений. Здесь информация обычно представляется в виде регулярных или

специальных управленческих отчетов и содержит сведения о прошлом, настоящем и возможном будущем предприятия. Автоматизация предполагает организацию и поддержку коммуникационных процессов как внутри производства, так и с внешней средой на базе компьютерных сетей и других современных средств передачи и работы с информацией [1].

Переход предприятий на автоматизированные технологии инженерного обеспечения горных работ создает предпосылки для повышения эффективности работы геологической, маркшейдерской и технологической служб за счет следующих показателей:

- перехода на качественно иной цифровой способ хранения и обработки информации;
- использования при принятии решений значительно большего объема информации, чем при традиционном, бумажном варианте работы;
- уменьшения потерь времени на выполнение рутинных операций, связанных с подготовкой исходных данных и их переносом из одной службы в другую;
- снижения затрат времени на выпуск технологической документации при использовании специализированных программных средств.

Главной особенностью компьютерных технологий является графическое отображение объектов. Графическое отображение предполагает трехмерное изображение с заданной информацией на основе исходных данных.

Реалистичное графическое отображение объектов возможно получить с помощью таких геоинформационных систем как MapInfo, Surfer и других. Основной задачей программы Surfer является расчет значений параметра в узлах регулярной сетки (grid) по исходным данным в произвольных точках области и построение карт распределения свойств по площади или в объеме.

Для выбора наилучшего способа представления данных предлагается рассмотреть карьер гранитного камня «Микашевичи» (рис. 1).



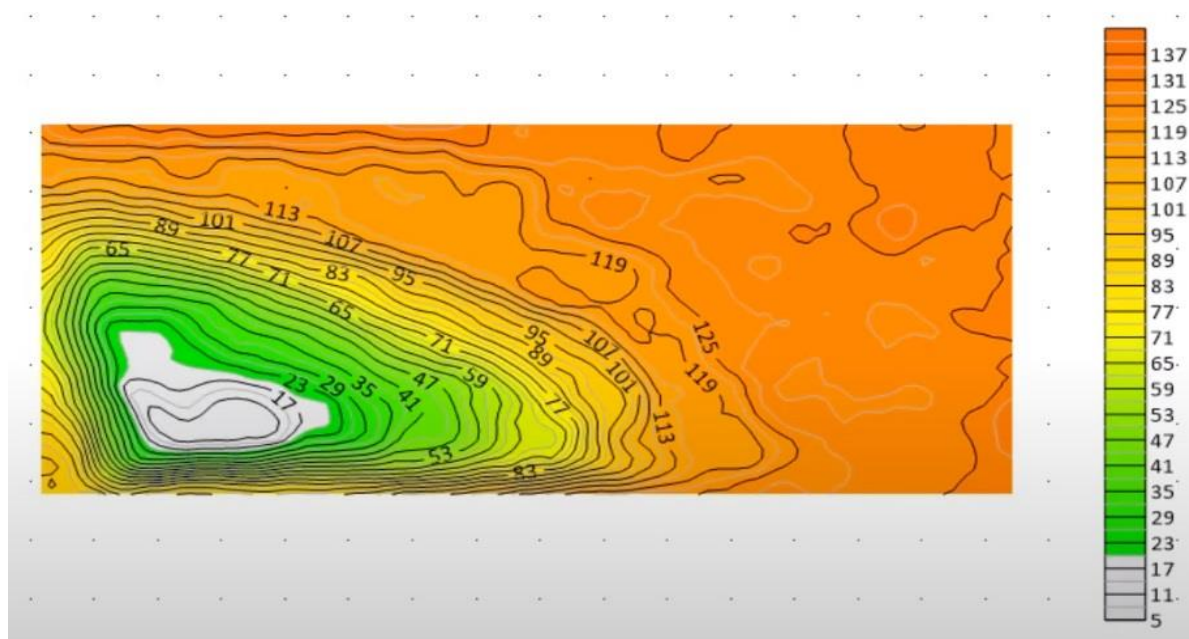
**Рисунок 1. Базовая карта карьера гранитного камня «Микашевичи»**

Целью работы являлось использование пространственной интерполяции для построения пространственной модели карьера.

Для описания пространственно-распределенных явлений используется понятие как числовая переменная  $Z = Z(X, Y)$ , которая принимает значение в произвольной точке области исследования;  $X, Y$  - координаты точки в пространстве (на плоскости).

Основной целью пространственной интерполяции является нахождение значений изучаемой пространственной переменной  $Z$  с минимальной погрешностью в произвольных точках области исследования на основе обработки и анализа ее значений [2].

Для представления результатов пространственной интерполяции используется прямоугольная регулярная сетка, в узлах которой вычисляется интерполяционная оценка изучаемой переменной. То есть в качестве точки  $(X, Y)$  поэтапно рассматриваются узлы данной сетки. Такое представление называют моделью пространственной переменной (пространственной моделью, моделью поверхности, интерполяционной поверхностью, растровой моделью) (рис. 2).



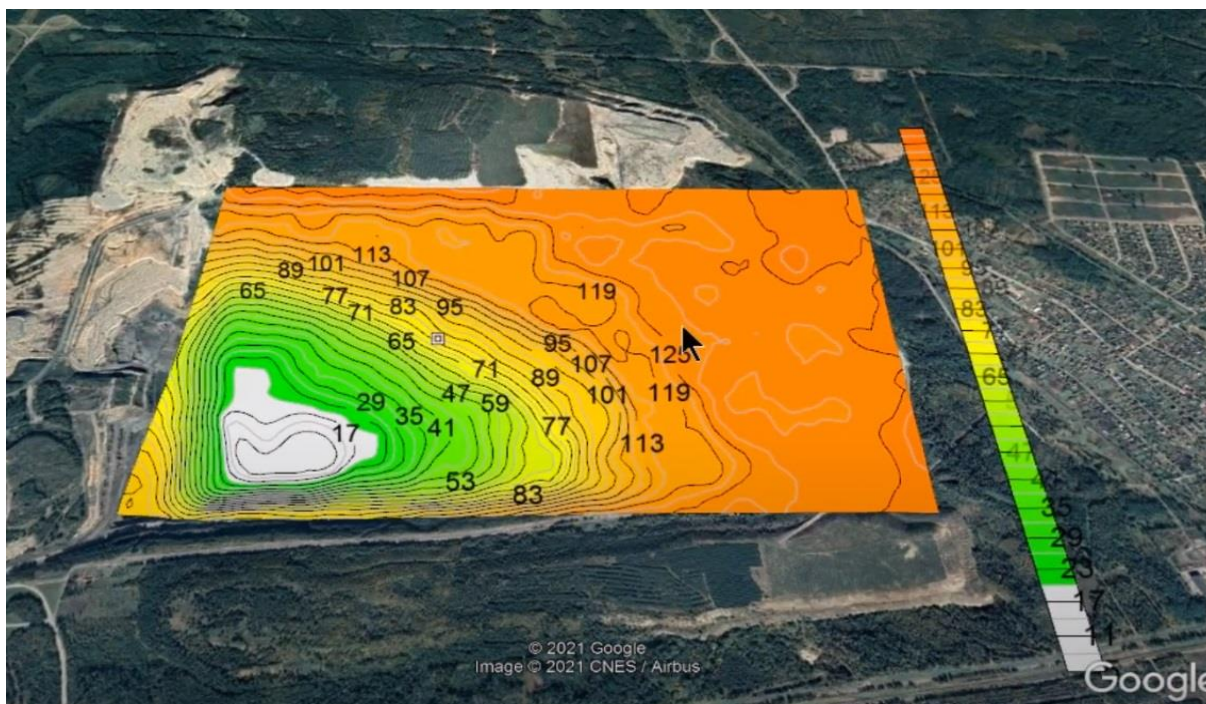
**Рисунок 2. Пространственная модель карьера гранитного камня**

В геоинформационной системе Surfer для построения пространственной модели карьера гранитного камня необходимо выбрать пункт меню «Grid», подпункт «Data», после чего появляется диалоговое окно, предлагающее выбрать файл с исходными данными.

Исходными данными для построения модели являются измеренные значения переменной  $Z$  на источнике GPS Visualizer. Эти данные должны быть записаны в табличной форме и храниться в текстовом файле.

Оценка значений пространственной переменной  $Z$  в узлах регулярной сетки, проведенная методами интерполяции, дает растровый слой. Для его визуализации используются различные методы построения, а именно: метод изолиний, метод цветовых шкал, метод аналитической отмывки. Создание карт реализовано на вкладке меню «Map», где необходимо выбрать подпункт «New», если создается новый картографический набор, или «Add», если нужно добавить слой к уже существующему набору. Построение карты реализовалось методом изолиний в подпункте «Contour Map» (при выборе «New») или «Contour Layer» (при выборе «Add»). Вначале появляется диалоговое окно, предлагающее выбрать файл формата GRD с растровой моделью, после чего в окне типа Plot выводится карта изолиний (рис. 2).

Построение пространственной модели выполнялось с помощью метода Kriging. Метод Kriging позволяет учесть вес каждой точки экспериментальных данных в процессе вычисления значений интерполяционной функции в точках регулярной сетки. Это один из наиболее гибких и часто используемых методов (рис. 3).



**Рисунок 3. Метод Kriging выбранной области карьера.**

Программное обеспечение для моделирования и проектирования в горной промышленности на данный момент представляет собой системы, которые отличаются интерактивной графикой, высокого качества визуализацией поверхностей и моделей объектов, а также многофункциональным интерфейсом.

Компьютеризация работ в горной промышленности является одним из главных направлений научно-технического прогресса и активно используется предприятиями. Это, в свою очередь, позволяет значительно увеличить оперативность и полноту использования всей имеющейся (геологической, экономической, экологической) на предприятии информации, а также обеспечить качественно новый уровень принятия оптимальных и гибких управленческих, проектных и плановых решений.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Астапенко, Т.С. Моделирование горных объектов для последующего планирования горных работ / Т.С. Астапенко // Опыт прошлого – взгляд в будущее: сборник материалов 10-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Тула, 19 – 20 ноября 2020 г. / редкол.: Р.А. Ковалева. – Тула, ТулГУ, 2020. – С. 31-34.
2. Мальцев К.А., Мухарамова С.С. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): Учебное пособие / К.А. Мальцев, С.С. Мухарамова // Казанский университет – Казань: Казанский университет, 2014. – 103 с.

## О ЦЕЛЯХ И МЕТОДАХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

БАБИЧ В.Н. СИРАЗУТДИНОВА Н.Б. ШАНГИНА Е.И.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** Решение задач инженерной практики характеризуется высоким уровнем применения геометрического моделирования (составной части математического моделирования) физических, химических, экологических, технологических и иных объектов/процессов, объемной и качественной информационной поддержкой на основе внедрения вычислительной техники.

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, цель, объект, модель, средства, методы, анализ, преобразование, абстракция, визуализация, подобие.

## ABOUT GEOMETRIC MODELING GOALS AND METHODS

BABICH V. N., SIRAZUTDINOVA N. B., SHANGINA E. I.

Ural State Mining University

**Abstract.** The problem of engineering practice is characterized by a high level of application of geometric modeling (part of mathematical modeling) of physical, chemical, environmental, technological and other objects/processes, volume and high-quality information support based on the introduction of computing.

**Keywords:** geometric modeling, purpose, object, model, tools, methods, analysis, transformation, abstraction, visualization, likeness.

Современная практика решения инженерных задач характеризуется высоким уровнем применения методов геометрического моделирования физических, химических, экологических, технологических и других задач/процессов и объектов, объемной и качественной информационной поддержкой. Информационная поддержка обеспечивается на основе широкого и многоуровневого внедрения вычислительной техники, телекоммуникационных средств и цифровых линий связи в сочетании с использованием высокочастотных измерительных технологий и средств их обеспечения.

Геометрическое моделирование, как и любое другое моделирование определяется рядом идентифицирующих признаков: цель, объект, средства, теоретическая значимость и практическое применение. Моделирование как «...исследование объектов познания на моделях» [1] реализуется в результате построения условного образа, воспринимаемого по определенным свойствам/характеристикам как аналог этих объектов, т.е. модель рассматривается как гомоморфное отображение моделируемого объекта/оригинала. При этом сходство модели с оригиналом всегда неполное: модель лишь приближенно отражает некоторые свойства оригинала. Причем реальный объект может иметь различные гомоморфные ей модели. Природа моделей также может различаться: материальные/физические, модели (в виде образцов, конструкций, макетов), знаковые модели (геометро-графические изображения, схемы, графики), математические, в виде формул, буквенных обозначений, информационные модели в виде текстового описания, базы данных.

Объектом геометрического моделирования являются любые процессы/объекты, имеющие визуальное представление в форме изображения на каком-либо носителе или с помощью каких-либо технических средств.

Геометрическое моделирование выполняется в целях получения геометрического описания/отображения реального или проектируемого объекта/оригинала, причем это описание может быть представлено в виде бинарного файла (содержащего массивы информационных данных) с помощью средств компьютерной графики, видеоизображений (на экране дисплея), голографических изображений, объемно-пространственных световых композиций и другими способами. Причем итоговый результат процесса геометрического моделирования предполагает визуализацию модели [2]. Это позволяет выполнить анализ модели (с позиции моделируемого объекта): осознать объемно-пространственные характеристики объекта, выявить геометрические особенности его формы, оценить количественные отношения элементов модели, установить функциональные зависимости между параметрами модели и их аналитические обобщения, определить конструктивную схему объекта, определяющую ее структуру [3].

Процесс геометрического моделирования на основе использования компьютерных средств визуализации 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).

Достаточная степень адекватности модели достигается при использовании информации, системно описывающей исследуемый или проектируемый объект/процесс. Именно системный подход позволяет выявить существенные характеристики объекта, которые будут отражаться в модели, что дает основание считать модель гомоморфной (по этим характеристикам).

Применение системного анализа к задачам геометрического моделирования заключается в формировании геометрического описания объекта на основе системно обоснованного информационного массива, отражающего пространственные, морфологические, структурные, функциональные, коммуникационные, процессуальные аспекты организации объекта [4].

Геометрическое моделирование используется в процессе решения задач инженерной практики. Геометрическая модель – это представление/изображение рассматриваемого объекта исследования с помощью геометрических понятий. В геометрической модели могут отображаться элементы различной размерности (в каких-либо сочетаниях и отношениях между собой), имеющие внутреннюю структуру. Геометрические модели включают в себя и количественные отношения элементов модели. Это количественные характеристики геометрических фигур, полученные в результате измерений. Это функциональные зависимости между параметрами модели и их аналитические обобщения, связанные с производными, интегралами и т.д. Это алгебраические выражения, определяющие направленные на численную реализацию количественных/качественных закономерностей/свойств модели, а, следовательно, и реального моделируемого объекта.

Таким образом, геометрическое моделирование позволяет с помощью геометрических преобразований исследовать пространственные (пространственно-подобные) формы, отношения (количественные и качественные), закономерности, свойства присущие объектам реального мира.

В то же время геометрическим (и в целом математическим) понятием и теориям присуща высокая степень абстрактности. К важнейшим видам абстракции, имеющим важное значение и характерных для математики, относятся:

– Абстракция идеализации – отождествление между собой предметов определенного класса и наделение их идеальными, воображаемыми свойствами, которыми реальные предметы не обладают или обладают лишь с определенной степенью приближения (понятие геометрической точки, линии, фигуры и др.).



– Абстракция потенциальной бесконечности (понятие бесконечного множества, неограниченность продолжения отрезка прямой в обе стороны, число точек на отрезке, прямой, плоскости и др.).

– Абстракция над абстракциями (многоступенчатая абстракция) – образование новых обобщенных понятий при отождествлении объектов уже являющихся некоторыми абстракциями, такими как понятие вектора, группы, поля, многомерных пространств, в том числе бесконечномерных и др.

Необходимость информатизации инженерного проектирования связана с множественностью вопросов, рассматриваемых при проектировании объекта и решаемых в процессе проектирования. К ним относятся возникающие сложности в проектировании инженерных форм, взаимодействие нового объекта и окружающей их инфраструктуры инженерными коммуникациями и оборудованием, что потребовало участия специалистов-смежников, а это повлекло за собой осуществление координации и синхронизации их работы. Добавлением к этому являются возросшие требования экологичности, энергоэффективности, безопасности, экономичности и др. Как следствие – возрастание количества/объема рабочей документации, необходимость для инженера-проектировщика всеобъемлющего понимания содержания проекта, внимания к любым внесением изменений и дополнений. Увеличение объема проектной документации приводит к осложнению с оперативностью внесения принятых изменений в ходе проектирования, затрудняет поиск необходимой информации в процессе решения проектных задач. Также существенны ограниченные сроки проектирования объекта.

Информационные технологии позволили обеспечить комплексное решение задач инженерного проектирования в автоматизированном режиме при значительном сокращении времени принятия проектных решений и их последующей разработки с учетом всех сопутствующих требований, ограничений/факторов; управление информационными потоками на протяжении всего периода создания объекта/изделия, включая процессы проектирования и реализации; комплектование технической документации, возможность извлечения разнообразной информации о спроектированном объекте, применение 3D-моделирования.

Общая концептуальная характеристика информационного моделирования включает его описание как интеграционного процесса взаимодействия базовых составляющих, характеризующих различные 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 моделирования – это сложноорганизованный процесс построения формализованного образа объекта на основе обработки и анализа системно обоснованного информационного массива, отображающего различные 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 проектант организует сбор информации о проектной ситуации – исходных данных для начала работы, достаточных для понимания сущности этого задания, инициации творческого процесса создания нового объекта, инициации творческого процесса создания проектанта. Продуктивность этого процесса определяется интеллектуальными усилиями и воображением инженера. Только живая

творческая мысль, живое искание способны сообщить тому или иному объекту/процессу полноту и законченность, объединяя все подробности воедино.

Любой инженерный объект/процесс начинается с проекта, а проект с идеи – замысла. Отправной точкой замысла является функциональное назначение проектируемого объекта. Возникновение замысла – ключевое звено в творческом процессе, определяет дальнейшую динамику в проектной работе. Выработка концепции проекта как осмысленное опредмечивание замысла характеризует создание предметного образа и является основанием для перехода к непосредственному проектированию инженерного объекта.

В процессе проектирования целевая проблема сводится к совокупной системе задач, оптимизации (оптимизации многокритериальной): необходимо выбрать такое решение, 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, расчетного, оптимизации характеристик объекта, визуализации, принятия решения при выборе вариантов. В процессе проектирования необходимо решить проблемы, связанные с корректностью описания итогового результата, представляющего последовательное описание детализируемого объекта по составу, по размерностям, по способам соединения частей и элементов, сопряжения поверхностей, точная организация одних элементов и узлов относительно других, 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 обеспечить его технологическое производство.

Геометрическое моделирование позволяет преодолеть многие упомянутые проблемы, связанные с важными этапами процесса проектирования, к которым относятся:

- Подготовка проектного решения авторского замысла.
- Создание эскизного проекта разрабатываемого проекта.
- Выполнение анализа эскизного проекта, включающего аналитическое обоснование, численные расчеты, геометрические операции.
- Формирование рабочего проекта, уточняющего конструкцию объекта его структуру, геометрические формы и размеры, допустимые расстояния между инженерными системами и их элементами, последовательность сборки/компоновки и др.

Существенным является выбор информационной модели объекта, а также способа создания этой модели с точки зрения организации процесса проектно-конструкторских работ, поскольку это затрагивает 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. 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.

Разработка новых методов геометрического моделирования, с применением современных математических понятий и теорий, направленных на

совершенствование/модернизацию существующих технологий и средств промышленной геометризации, предполагает создание на их основе вычислительных алгоритмов/процедур и последующее внедрение в практическую сферу в виде программных продуктов [5].

Современное программное обеспечение для моделирования и проектирования объемных объектов инженерной практики отличается интерактивной трехмерной графикой, высокого качества визуализацией поверхностей и моделей объектов, а также дружественным интерфейсом пользователя.

Система автоматизированного проектирования (САПР) позволяет выполнить проектную графику/чертежи, оперативно редактировать и автоматически рассчитывать необходимые параметры (показатели), использовать средства технической и морфологической комбинаторики.

Современное программное обеспечение для решения информационно-аналитических задач, связанных с эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, все более интенсивно используется геологами, маркшейдерами и горными инженерами в виде интегрированных горно-геологических информационных систем (ГГИС), изначально ориентированных на решение 3D-задач в связи с естественной трехмерностью размещения геопозитивов и атрибутов в недрах месторождения; применение широкого комплекса методов математического моделирования для описания строения залежей; необходимость автоматизированного создания многослойных детальных карт, планов и разрезов масштабного ряда от 1:500 до 1:5000; наличие модулей или подсистем решение специальных технологических задач (от подсчета объемов и запасов до календарного планирования и оптимизации добычи); возможность визуализации динамических, изменяющихся во времени моделей для наглядного графического представления результатов работы.

Современные потребности повышения качества высшего технического образования ставят перед педагогической наукой задачу определить источники и направления реформирования высшего профессионального образования. Ускоренно развиваются процессы информатизации и интеграции различных сфер деятельности, рост информационных потоков инноваций в области производства (оборудования) обуславливают необходимость постоянного получения новых знаний выпускников университетов и повышения качества их подготовки. Динамика развития общества предполагает, что профессиональная деятельность человека не предопределена на весь период его профессиональной подготовки и предусматривает необходимость процесса постоянного повышения своей профессиональной компетенции. Формирование профессиональной компетенции становится одной из основных функций подготовки будущих инженеров/специалистов. Это требует необходимости дальнейшего совершенствования образования и повышения качества образовательного процесса в области геометрической подготовки в высшей профессиональной технической школе на основе интеграции образования, науки и производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. М.: Русские словари: АСТ: Астрель, 2007. 957с.
2. Бешенков С.А., Ракитина Е.А. Моделирование и формализация. М.: Лаборатория массовых знаний, 2002 336с.
3. Бабич В.Н., Кремлев А.Г. Об информационно-математических технологиях в горногеометрических задачах//известия вузов. Горный журнал. Екатеринбург: УГГУ, 2010. №7. С.72-77.
4. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода М.: Наука, 1973. 270с.
5. Карманов В.Г. Математическое моделирование М.: Наука 1986 – 256с.
6. Андреев А.А. Педагогика высшей школы М.: Московский международный институт экономики, информатики, финансов и права 2002. 264с.

7. Русинов Ф., Журавлев А., Кулаков М. Эволюция образовательных систем в цивилизованном аспекте //Высшее образование в России 1997 №1. С.24-31.

УДК 338.4

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ  
УНИВЕРСИТЕТЕ В ЭПОХУ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

ШАНГИНА Е.И.

Уральский государственный горный университет

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос трансформации системы высшего инженерного образования в условиях стремительного реформирования преподавания в условиях цифровизации. Привычная модель высшей школы преобразуется в сложную, востребованную, инновационную цифровую систему. Компонентом этой цифровой системы является дистанционное образование и обучение. Применение цифрового дистанционного обучения вытесняет привычные модели классического преподавания. Современные тенденции и потребности повышения качества инженерного образования ставят задачу определения источников и направлений реформирования инженерного образования. Показана роль моделирования в познавательной деятельности будущего специалиста. Автор статьи дает понятие об реализации принципов процесса образования в условиях цифрового дистанционного обучения и предлагает использование средств передачи учебной информации в виде когнитивно-модельных средств.

**Ключевые слова:** цифровизация, высшее образование, цифровое дистанционное образование, дистанционное обучение, модель, моделирование, когнитивно-модельные средства.

**MANAGING THE QUALITY OF EDUCATION AT A TECHNICAL UNIVERSITY  
IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION**

SHANGINA E. I.

Ural State Mining University

**Abstract.** The article deals with the transformation of the system of higher engineering education in the context of rapid reform of teaching in the context of digitalization. The familiar model of higher education is transformed into a complex, popular, innovative digital system. A component of this digital system is distance education and training. The use of digital distance learning replaces the usual models of classical teaching. Modern trends and needs to improve the quality of engineering education pose the task of determining the sources and directions of reforming engineering education. The role of modeling in the cognitive activity of the future specialist is shown. The author of the article gives an idea of the implementation of the principles of the educational process in the conditions of digital distance learning and suggests the use of means of transmitting educational information in the form of cognitive-model means.

**Keywords:** digitalization, higher education, digital distance education, distance learning, model, modeling, cognitive modeling tools.

**Введение**

В настоящее время в нашей стране и мире наблюдаются следующие отличительные черты: интеграция производственных процессов, науки, образования и др., необходимость ускорения темпов развития и появления новых технологий, автоматизация всех сфер деятельности, повышение мобильности и адаптации населения, появление новых профессий,

экологические и экономические кризисы и др. Представленные особенности влияют на многие сферы жизни и определяют необходимость трансформации инженерного образования, основанного на более гибких и мобильных формах. Этому способствует постоянное совершенствование информационно-коммуникационных технологий. За последнее десятилетие все большее развитие получает такая форма образования, как дистанционное образование. Формирующиеся новые тенденции в современной жизни влияют на образование и, на наш взгляд, актуализируют проблему когнитивно-модельных средств передачи учебной информации, определяющих требования к образовательным средствам. Когнитивно-модельные средства передачи учебной информации должны выполнять функцию интерактивного взаимодействия преподавателя и учащихся. Причем эффективность когнитивно-модельных средств передачи информации подтверждается психическими процессами человека восприятия и хранения информации.

### **Цифровизация дистанционного образования**

Дистанционное образование в России еще не так развито, как на Западе, поскольку оно стало развиваться там гораздо раньше. Дистанционное образование все больше претендует на особую форму обучения наряду с очной, заочной, вечерней, экстернатом и др. Это связано с тем, что дистанционное образование имеет ряд преимуществ и доступность, обусловленную наличием Интернета. Особую роль дистанционное обучение сыграло во время пандемии 2020 года, когда все образовательные учреждения работали дистанционно. Дистанционное обучение исторически означало заочное обучение. Дистанционное образование базировалось на информатизации образования. Информатизация – организованный социально-экономический и научно-технический процесс создания условий для удовлетворения информационных потребностей граждан, органов государственной власти, органов местного самоуправления организаций, общественных объединений на основе формирования и использования информационных ресурсов. Однако 7 мая 2018 был принят паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», в котором обозначено шесть федеральных проектов, среди них: нормативное регулирование цифровой среды; цифровые технологии; цифровое государственное управление; кадры для цифровой экономики и др. Цифровизация – повсеместное внедрение цифровых технологий в разные сферы жизни: промышленность, экономику, образование, культуру, обслуживание и др. Информатизация включается в более широкое и сложное понятие «цифровизация».

Обусловленный текущей эпидемиологической обстановкой стремительный переход к полному или частичному онлайн формату обучения во всех ступенях образования, активизировал создание, модификацию, актуализацию средств обучения и контроля, самоподготовки, организации индивидуальных образовательных траекторий с использованием новейших цифровых технологий. Цифровизация образования обусловлена трансформацией в цифровой формат всех учебно-методических материалов и создание на их основе информационных баз знаний, перенос учебного процесса в сеть Интернет и использование мобильных и облачных технологий. Управление цифровым образованием предполагает использование инновационных интеллектуальных систем.

В настоящее время дистанционное образование — это комплекс цифровых образовательных услуг, предоставляемых широким слоям специалистов и населения с помощью, специализированной цифровой образовательной среды, использующей мультимедиа технологии, глобальную сеть, спутниковые каналы связи, мобильно-облачные технологии и др.

Цифровая образовательная среда понимается нами как единая педагогическая система (системно-организованная совокупность), базирующаяся на интеграции цифровых образовательных ресурсов и технологий, средств передачи данных и управления образовательным процессом, организационно-методического и аппаратно-программного обеспечения, включая педагогические приемы, методы и технологии. Цифровая образовательная среда направлена на удовлетворение потребностей специалистов в

инновационных информационных услугах и ресурсах образовательного характера, обладающих цифровой грамотностью [1].

Внедрение цифровых технологий в систему высшего инженерного образования потребует пересмотра содержания/контента подготовки современных специалистов и научно-педагогических работников, а также трансформацию модели образования. Компетентные специалисты, освоившие цифровые технологий, должны будут обладать опытом работы с сетевыми – Web, облачными и мобильными технологиями, различными цифровыми платформами, способностью применения онлайн-коммуникации и овладения большими базами данных. Кроме этого, участники образовательного процесса должны обладать инновационными навыками аналитического, гибкого мышления, отсутствие ригидности, конформизма в мышлении, способностью к междисциплинарному интеграционному взаимодействию с партнерами в условиях многозадачности, креативности и комплексной работы.

В основу цифрового дистанционного образования положена определенная модель образования, базирующаяся на передаче, восприятии и хранении знаний. Источниками знаний являются цифровые ресурсы сети, как специальным образом подготовленные, так и уже существующие в базовой телекоммуникационной среде, например, базы данных, информационные системы и т.п. Готовность инженерных университетов к подготовке специалистов цифрового общества потребует модернизацию и актуализацию содержания/контента образовательного процесса, с одной стороны. А с другой стороны, необходима переподготовка профессорско-преподавательского состава. В реализации цифровой образовательной среды профессорско-преподавательский состав должен иметь следующие компетенции: цифровую грамотность, умение разрабатывать электронные учебники с элементами интерактивных онлайн технологий, способностью оцифровывать учебно-методический материал и размещать его на облаке или сервере, предоставлять студентам возможность самостоятельной работы с цифровыми источниками сети, возможность работать в группе, обеспечивать интерактивное взаимодействие всех участников образовательного процесса, включая навыки эффективного взаимодействия. Эффективное взаимодействие обеспечивается. По нашему мнению, когнитивно-модельными способами и средствами передачи информации.

Телекоммуникации также обеспечивают доставку участникам процесса изучаемого материала или их работу с учебным материалом, размещенном на сервере. Интерактивное взаимодействие преподавателя и студента в процессе обучения, предоставлять студентам возможность самостоятельной работы с цифровыми источниками сети, возможность работать в группе, а также оценку знаний и умений, полученных в ходе обучения. Внедрение цифрового дистанционного образования обеспечивает, эффективную оперативную связь партнеров образовательного процесса, а также требует прогнозирования возможных рисков и недостатков цифрового образования.

Характерными чертами цифрового дистанционного образования являются [2]:

1. Экономичность, базирующаяся не переход электронному документообороту. Цифровизация избавляет от бумажных версий, обеспечивает использование более концентрированного представления и унификации содержания образования, направленность цифровых технологий такого образования на большее количество студентов, более эффективное использование аудиторного фонда и технических средств и др.
2. Развитие искусственного интеллекта, автоматизация и роботизация поможет студентам лучше ориентироваться в информационном мире в будущем.
3. Увеличение скорости коммуникаций, новые способы и средства общения и новый уровень комфорта, мобильность в цифровой системе образования подразумевает лишь помощь преподавателя, координирование познавательного процесса и развитие у студентов самостоятельности принятия решений в больших базах цифровых ресурсов. Каждый студент получает необходимые формы контроля по выбранным курсам

(модулям), а каждый отдельный курс создает целостное представление об определенной сфере знаний.

4. Использование инновационных IT-сервисов. Технология дистанционного цифрового образования – это совокупность методов, форм и средств цифровой коммуникации партнеров образовательного функционирования в процессе самостоятельного, но контролируемого освоения им определенного массива знаний.
5. Унификация содержания образования. Цифровая технология базируется на определенном содержании/контенте образования и должна соответствовать формам его представления.

Несмотря на все преимущества цифрового дистанционного образования существует масса недостатков и проблем в области его применения. К таким проблемам относятся:

1. Электронная авторизация личности (электронный двойник студента) может привести к утечке персональных данных. Кроме этого, отсутствие идентификации студента в процессе контроля повышает риск конфликтов и приводит к снижению числа контактов студентов с преподавателем.
2. Снижение когнитивных компетенций (речь, логика, чтение, расчеты, письмо и др.) студентов. Использование цифровых технологий студентами способствует снижению активности в процессе размышления над полученной задачей, поскольку она может быть решена с использованием Интернет-ресурсов.
3. Отсутствие социализации. Цифровая среда значительно снижает уровень социализации человека. Это повлияет на дальнейшее развитие личности. Искусственно созданная цифровая среда многими обучающимися воспринимается как естественная среда социального общения. При этом ухудшается зрение, изменяется моторика действий и др., что приводит в дальнейшем к проблемам с физическим развитием.
4. Отсутствие творчества при обучении, что связано с минимизацией контактной работы с преподавателем при личном общении, уход от фундаментальности образования, навязывание зарубежных технологий и, следовательно, контроль за любыми процессами.
5. Внедрение цифровых методов обучения не всегда ведут к получению положительного результата. Функция профессорско-преподавательского состава измениться после цифровизации. Профессионалов заменят роботы и боты. Внедрение таких технологий обучения имеет риск получения отрицательного результата.

Представляя недостатки цифрового дистанционного образования, их можно объединить в одну проблему. Это проблема качества цифрового образования. Потеря качества дистанционного цифрового образования связана, в первую очередь, с утратой непосредственного взаимодействия преподавателя и студента, что приводит к ослаблению когнитивных и компетентностных функций образования, социализация будущих инженеров не формируется, отсутствие творческих процессов и др. Бесспорно, внедрение дистанционного цифрового образования в России является актуальным. Однако дистанционное образование не может полностью заменить традиционного процесса обучения в особенности будущих инженеров. Поэтому на данном этапе цифровое образование лишь частично компенсирует запросы общества в образовании.

Чтобы избежать снижения качества инженерного образования необходимо изучить: процессы эффективного взаимодействия преподавателя и студента, несмотря на то, что они физически разделены расстоянием; изучить модель профессорско-преподавательского состава в цифровом образовании; технологии разработки цифрового контента для конкретного процесса обучения и методики оценки его качества; эффективные методы, средства, формы обучения в открытом цифровом пространстве, эффективность технологий обратной связи контроля и др.

К использованию цифровых дистанционных технологий необходимо подходить взвешенно, применяя их там, где это возможно, заменяя традиционные образовательные технологии на цифровые при значительном улучшении цифровой ресурсной базы.



## **Роль моделирования в системе цифрового дистанционного образования при разработке цифрового контента**

В условиях развития цифрового дистанционного образования необходимо использовать все ресурсы человеческой деятельности. Деятельность обусловлена моделями объектов, процессов или явлений, которые непосредственно связаны и очень тесно связаны с познавательными процессами. Попытки зафиксировать информацию в чертеже, чертеже, графике или других геометро-графических (визуально-образных) моделях приводят к более глубокому пониманию и обобщению этой информации [3, 4]. В то же время психолого-педагогические аспекты когнитивно-модельных средств передачи содержания образования в контексте дистанционного образования до сих пор не рассмотрены. Под когнитивно-модельными средствами передачи учебной информации в дистанционном образовании мы понимаем все средства обучения, представленные в наглядно-образной (плоскостной, графической и трехмерной, макетной) форме, характер которых обусловлен удаленностью друг от друга субъектов образовательного процесса. В данной статье изучение средств когнитивного моделирования рассматривается с точки зрения введения моделирования в процесс обучения как средства и основного метода познания действительности и как междисциплинарного понятия, с одной стороны. С другой стороны, информационно-когнитивный подход позволяет выявить формы и методы рационального представления учебной информации [5].

Для психологии и педагогики проблема исследования познавательной деятельности на основе моделирования является популярным объектом научного исследования. Это связано с тем, что понятийно-категориальный аппарат, основанный на понятиях "модель" и "моделирование", в обучении играет огромную роль, так как относится к решению следующих двух задач.

Первая проблема связана с тем, что моделирование является одной из наиболее распространенных проблем в педагогике и психологии и включает в себя два аспекта.

Во-первых, моделирование является не только одним из основных видов учебной деятельности, но и неотъемлемой частью учебной деятельности. Поэтому в учебной деятельности моделирование должно использоваться как особая форма наглядно-образного мышления при изучении процессов и явлений как в учебной деятельности, так и в профессиональной. Моделирование позволяет выявить и зафиксировать в виде зрительных образов существенные признаки и взаимосвязи изучаемых явлений. Моделирование развивает у студентов навыки, которыми они овладевают в процессе изучения сложных абстрактных понятий. Приобретая такие компетенции, будущие инженеры смогут использовать этот метод для построения и записи общих схем действий и операций. Более того, эти схемы могут быть применены в различных областях научной деятельности. Следовательно, такая моделирующая деятельность способствует междисциплинарному освоению информации, в частности учебной информации.

Во-вторых, моделирование выступает как междисциплинарное содержание инженерного образования с систематизирующим ядром "модели", которое студенты должны усвоить в процессе обучения. А моделирование-это еще и метод научного познания, которым должны овладеть будущие компетентные специалисты. Поэтому теоретико-методологическое обоснование понятий "модель" и "моделирование" означает их включение в систему инженерного образования. Необходимость введения основных понятий инженерного образования предусматривает развитие у студентов научно-теоретического типа мышления. Научно-теоретический тип мышления позволяет воспринимать действительность через особые специфические объекты (модели явлений и процессов), которые реализуются в историческом процессе эволюции науки. В настоящее время доказано, что построение и исследование моделей реальных объектов является основным методом научного познания. Поэтому задача развития научно-теоретического мышления у студентов может быть успешно решена тогда, когда научные модели изучаемых явлений найдут для них достойное место в системе образования. Система инженерного образования

будет базироваться на изучении реальных объектов с использованием соответствующего понятийно-категориального аппарата, объяснении учащимся сущности понятий "модель" и "моделирование", с целью понимания и овладения ими как методом моделирования знаний.

Вторая проблема связана с психологическим действием, которое направлено на отработку операций, как правило, в научно - технической области. Эта психологическая проблема включает в себя два основных аспекта.

Во-первых, каждый будущий специалист должен овладеть моделированием как способом обучения. Это связано с тем, что быстро меняющиеся процессы, технологии, реалии жизни и т. д. требуют постоянного обучения на протяжении всей жизни. Междисциплинарный характер моделирования как метода научного познания и как системообразующего фактора ("моста") позволяет упростить процесс обучения. Поэтому необходимость введения в учебный процесс понятий "модель" и "моделирование" способствует развитию у студентов научно-теоретического мышления и осознания реальных процессов и явлений в виде моделей. Осознание реальных процессов, решение профессиональных задач, освоение новых методов и т. д. ведет к целям образования.

Во-вторых, моделирование является одним из элементов учебной деятельности. Учебная деятельность должна быть направлена на изучение места и методов использования моделирования как высшей формы наглядного представления изучаемого процесса. Студенты должны уметь применять моделирование в построении общих схем действий и, как следствие, при изучении сложных понятий.

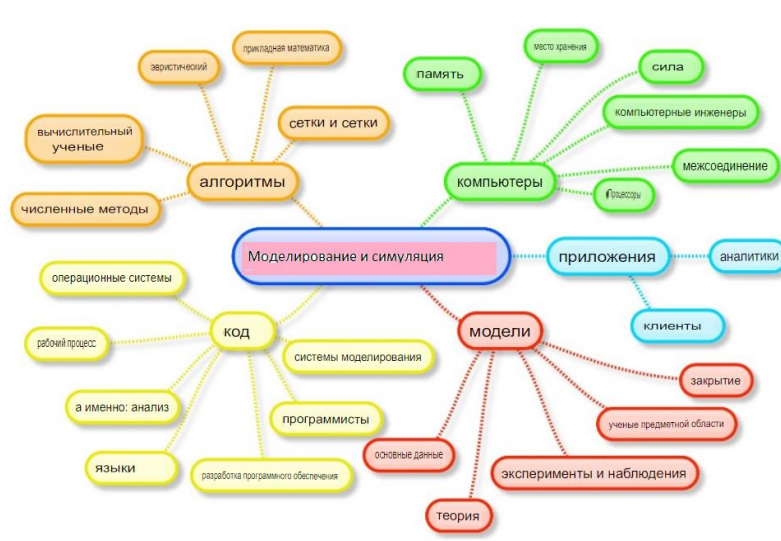
#### **Информационно-когнитивный подход к разработке цифрового контента**

Процесс информатизации всех сфер человеческой деятельности привел к развитию нового этапа общества, называемого информационным или постиндустриальным. Оказалось, что традиционные установки индустриальной парадигмы образования не пригодны в сложившейся новой формации. Постиндустриальное общество, характеризующееся возрастающей ролью информации и знаний во всех сферах жизни, требует от своих членов наличия навыков и умений работы с информацией. Проведение научно-педагогических исследований по изучению конкретных аспектов педагогического процесса предполагает применение научно-теоретических оснований, с точки зрения которых они рассматриваются. В качестве такого фундамента выступают методологические подходы. Новая информационная система образования, ее особенности хранения, передачи, восприятия информации может изучаться, по нашему мнению, в аспекте информационного и когнитивного подходов.

Информационный подход представляет собой «способ абстрактно-обобщенного описания и изучения информационного аспекта функционирования и структурообразования сложных систем, информационных связей и отношений на языке теории информации» [6]. Информационный подход позволяет с единых позиций изучить те аспекты явлений, для которых существенным является процесс информационного обмена. Например, разные по своему содержанию явления можно декомпозировать одинаковым образом (рис. 1) и определить компоненты для совместного функционирования и информационного обмена (рис. 2).

Информационный подход требует абстрагирования от конкретной сущности системы (биологической, социальной, физической и др.) и подразумевает исследование системы, способной воспринимать, хранить, перерабатывать информацию. Кроме того, это дает возможность изучать те или иные системы, одинаковым образом. А именно, все системы перерабатывают информацию и являются эквивалентными в информационном смысле. Такой подход является междисциплинарным, поскольку позволяет переносить результаты исследования на все информационно-эквивалентные системы (рис. 2). Реализация информационного подхода предполагает оценку целого ряда характеристик циркулирующей в рамках исследуемого процесса информации. Нами рассматривается педагогическая информация. Базовой характеристикой какого-либо контента выступает ценность предоставляемой информации. Ценность информации определяется в аспекте ее качества и

количества. Одной из главных причин неэффективности информационного контента на современном этапе развития цифровых технологий является низкое качество информации. Поэтому реальная оценка предоставляемой учебной информации является актуальным вопросом в педагогических исследованиях.

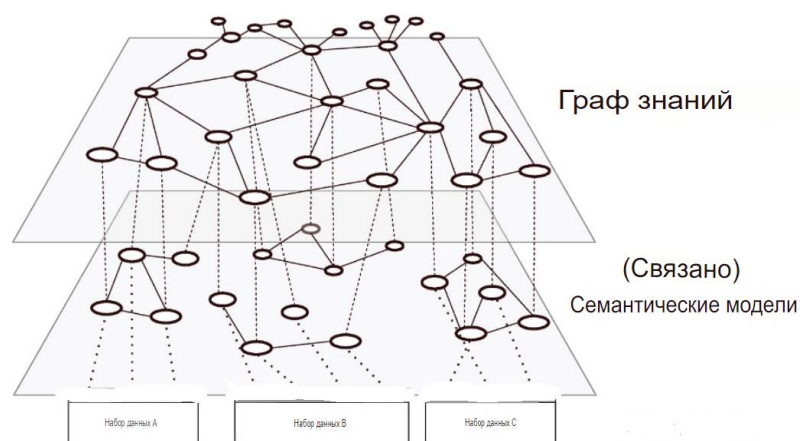


**Рисунок 1. Информационная система «Моделирование и симуляция».**

Многие исследователи, например один из них А.Д. Урсул, предлагает определять качество информации через ее семантическую (смысловую) и прагматическую (ценностную) характеристики [7]. Семантическая характеристика качества информации представляет собой отношение информации и объекта (передатчика информации). В качестве объекта может выступать учебно-методический контент, созданный преподавателем. Другими словами, смысловой параметр качества информации будет зависеть от его презентации и структуры. Прагматическая характеристика качества информации представляет собой отношение информации и субъекта (в общем случае информации и воспринимающей ее системы). Иными словами, качество с точки зрения прагматической характеристики будет зависеть от того, как предоставляемый контент учебно-методических материалов воспринимается и перерабатывается студентами и оценивается в аспекте достижения поставленной цели. Данная характеристика имеет прямо пропорциональную зависимость, т.е. чем ближе к цели, тем выше ценностная характеристика информации.

При исследовании информационной модели содержания инженерного образования в аспекте разработки контента учебной информации здесь используется также когнитивный подход. С одной стороны, когнитивный подход дополняет информационный подход и является также теоретико-методологическим основанием формирования структуры и содержания учебного контента. Когнитивный подход позволяет понять и исследовать процесс восприятия, расшифровки, переработки, хранение поступающей информации, в частности, учебной. А также, особенности ее организации для последующего применения.

Кроме этого, в когнитивной науке разработаны когнитивно-информационные модели, которые представляются как системные семантические сети. Вся поступающая информация имеет определенную структуру, обусловленная узлами и логическими связями (каналами), соединяющие эти узлы. Функционирование (смысловое движение) информации обусловлено посредством движения поступающей информации по каналам от узла к узлу. Информационный узел концентрирует базовые понятия поступающей информации в зависимости от учебно-информационного контента, а канал связи указывает направление потоков поступающей информации (рис. 2).



**Рисунок 2. Когнитивно-информационная модель**

В основе когнитивного подхода лежало направление в психолого-педагогических исследованиях, основательно разработанное общее представление о человеке как механизме получения, хранения, преобразования и применения информации, поступающей из внешнего мира. Исследование проводилось на основе психологии когнитивных процессов: ощущения, восприятия, внимания, памяти, мышления [3]. Когнитивный подход в различных предметных областях фокусируется на процессах представления, хранения, обработки, интерпретации и выработку новых знаний. Необходимость применения когнитивного подхода связано с реализацией эффективного создания цифрового контента, поскольку в новых условиях дистанционного цифрового образования это вопрос является очень актуальным. Более того, когнитивные методы представления учебной информации позволяют повысить эффективность приема, переработки и хранения этой информации. В зависимости от сложности информации и видов предметной области в качестве когнитивных методов могут выступать различные когнитивные модели. Такие модели весьма разнообразны, среди этих моделей имеются кластерные модели, групповые модели, модели сравнительных семантических признаков, сетевые модели, пропозициональные сети и др. [8].

Анализируя строение и структуру когнитивных моделей, выяснилась некоторая закономерность. Исходя из этой закономерности при создании учебного контента любой предметной области следует исходить из понятия, строения и структуры семантической памяти человека [9]. Дело в том, что в семантической памяти любое понятие выступает как «узел», который связан с другими «узлами» какими-то отношениями, образуя семантическую сеть, называемую моделью семантической организации информации. Семантические модели организации информации представляют собой модели хранения понятий (слов, высказываний) в семантической памяти человека. Организация и структурирование этих понятий основаны на смысловом описании этих понятий и слов. Эти понятия хранятся в семантической памяти человека и составляют ее содержание. Одна из таких моделей представлена на Рисунок3. В простейшем случае узлы семантической сети отображают отдельные понятия, связи между узлами – отношения между понятиями. При таком подходе каждое понятие (узел) обладает набором свойств (характеристик, атрибутов, параметров). Функция части атрибутов заключается в установлении различных типов связей с другими узлами семантической сети (понятиями). Кроме того, структура сети дает возможность приписывания каждой связи некоторых значений частоты ее использования, причем частоты могут быть разными в зависимости от ситуации (контекста) использования данной связи.

Особое значение моделей семантических сетей заключается в том, что они представляют собой не только среду хранения информации, но и структуру, на основе которой строятся модели процессов мышления. В ходе визуального формально-логического моделирования процессов мышления выделяется ряд «фигур» логического мышления. Эти

«фигуры» представляют семейство семантических сетей, разных по типу предметной области. Однако, что удивительно, в таких моделях раскрываются механизмы проведения рассуждений, построения понятий, доказательств. К таким моделям можно отнести правила простых и сложных высказываний, правила логического вывода, правила решения задач. В итоге становится возможным при построении сети упрощать решения задач [4].

Структуре семантической сети внутренне присуще свойство постоянной реорганизации. Действительно, в зависимости от ситуации список атрибутов каждого узла памяти должен меняться, кроме того, должны меняться иерархия атрибутов. В этом заключается главная сущность построения семантических сетей. Получив при определенных условиях образец (модель, эталон, алгоритм) решения задач в одной предметной области, поменяв атрибуты (параметры, свойства) в других условиях, получаем решение задач в другой сфере деятельности. На этом эффекте основано разнообразие мыслительной деятельности человека.

Заключение.

Внедрение цифрового дистанционного образования в традиционные учебные процессы стало неотъемлемой чертой современной системы образования в нашей стране. Основными факторами, определяющими качество цифрового дистанционного образования, на наш взгляд, являются: качество цифрового образовательного контента и технологий цифрового обучения; способность студента самостоятельно работать в новых цифровых сервисах и глобальных сетях; профессионализм профессорско-преподавательского состава и его компетентность в разработке технологий цифрового образовательного контента; уровень организации образовательного процесса.; уровень подготовки студентов к обучению в дистанционном цифровом режиме; качество материально-технического обеспечения учебного процесса, в том числе качество компьютеров, телекоммуникационных сетей и др.



Рисунок 3. Пример семантической сети, отображающей информацию по арифметике.

Анализ научных источников и собственных исследований позволяет сделать вывод о том, что успешное усвоение содержания инженерного образования как совокупности знаний обеспечивается совокупностью познавательных процессов, что делает когнитивный подход в формировании содержания образования и методики преподавания дисциплин безусловно актуальным. Использование информационно-когнитивного подхода позволяет рассматривать формирование содержания инженерного образования с позиций эффективного представления учебной информации, и ее компонентов во всем многообразии их связей и отношений, представленных в виде информационно-когнитивной модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шангина Е.И., Шангин Г.А. Международная научно-практическая конференция Уральская горная школа регионам г. Екатеринбург, 8-9 апреля 2015 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург 8-9 апреля 2015 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н.Г Валиев (отв. за выпуск)[и др.]; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. – 700 с. – С. 15-16.
2. Шангина Е.И., Шангин Г.А. Международная научно-практическая конференция Уральская горная школа регионам г. Екатеринбург, 8-9 апреля 2014 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург 8-9 апреля 2014 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н.Г Валиев (отв. за выпуск)[и др.]; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 758 с. – С. 18-20.
3. Солсо Р.Л. Когнитивная психология. Москва: Тривола, 1996. с. 600.
4. Шангина Е.И. Методологические основы формирования структуры и содержания геометро-графического образования в техническом вузе в условиях интеграции с общеинженерными и специальными дисциплинами. [Текст]: дисс. ... док. пед. наук: 13.00.08 / Елена Игоревна, Шангина – М, 2010. – 365 с.
5. Шангина Е.И., Шангин Г.А. Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам», г. Екатеринбург, 8-9 апреля 2013 г.(Уральская горнопромышленная декада, г.Екатеринбург, 8-9 апреля): сборник докладов / Оргкомитет: Н.Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013 – С. 9-11.
6. Штанько В.И. Информация. Мышление. Целостность. Харьков. 1992. с. 144.
7. Урсул А.Д. 1971. Информация: Методологические аспекты.Москва: Наука – С. 296.
8. Большой психологический словарь. Санкт-Петербург: Прайм-еврознак. 2006 – С. 672.
9. Шангина Е.И. Семантическая модель решения геометрических задач. Известия высших учебных заведений. - «Горный журнал» №2. Екатеринбург: УГГУ, 2007. – С.151-160.

УДК 630.86

**ПРИМЕНЕНИЕ СЫПУЧИХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ СБОРА НЕФТИ И  
НЕФТЕПРОДУКТОВ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

САВИНА Т. Е.<sup>1</sup>, ЯКУПОВ И. Ш.<sup>2</sup>, ПАНОВА Т. М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет, <sup>2</sup>ООО «БЕТОН - СЕРВИС»,

<sup>3</sup>Уральский государственный лесотехнический университет

*Аннотация.* В настоящее время техногенные катастрофы, связанные с разливом нефтесодержащих продуктов, являются серьезной экологической проблемой. В статье рассматривается комплексный подход в решении экологических проблем Урало – Сибирского региона, связанных с загрязнениями нефти и нефтепродуктов с одной стороны и залежами отходов лесной отрасли с другой.

*Ключевые слова:* нефтесорбент, гидрофобность, олеофильность, экологическая безопасность.

**APPLICATION OF BULK SORBENTS FOR COLLECTING OIL AND  
PETROLEUM PRODUCTS FROM A WATER SURFACE**

SAVINA T. E.<sup>1</sup>, YAKUPOV I. SH.<sup>2</sup>, PANOVA T. M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ural state mining University, <sup>2</sup>LLC "CONCRETE - SERVICE"

<sup>3</sup>Ural Forest Engineering University

*Abstract.* Currently, man-made disasters related to the bottling of oil-containing products are a serious environmental problem. This article overviews environmental problems of Ural-Siberian region, related with timber and oil industries. It draws attention on expediency of using natural organic sorbents – local wood industry waste products as oil sorbents.

*Keywords:* oilsorbent, hydrophobicity, oleophilicity, recycling, torrefikat.

**Средства по борьбе с нефтеразливами**

Увеличение объемов нефтедобычи, переработки нефти приводит к такому побочному эффекту как увеличение техногенных катастроф с нанесением значительного ущерба экосфере. Работы по минимизации ущерба от деятельности человека ведутся с тех пор, как человечество осознало, что мир, в котором мы живем весьма хрупок и требует нашего соучастия в излечении его от нашего усердия жить лучше. Значительные средства тратятся для поддержания баланса жизни на земле: по мере изобретения новых средств технического прогресса сопряженных с угрозой для всего живого, сразу же предлагаются методы для минимизации ущерба от первого. И в том и другом случае основой является экономическая целесообразность, желание получить экономическую выгоду. На рынке предлагаются различные виды средств с замысловатыми названиями, с предложением осчастливить всех и вся, сию секунду, на самых выгодных условиях. Остается только заплатить. Зачастую сравнить одно с другим нет никакой возможности. Нет единого стандарта, нет единой методики оценки.

Представим, что случилась беда, нефть потекла по реке, попала в водоем. Оперативный штаб принимает решение о локализации аварии, оценивает масштаб и определяет средства борьбы. Задача облегчается, если известны начальные цифры о

возможном ущербе. Случай в Норильске 29 мая 2020 года, когда с местного ТЭЦ произошла утечка 20 тыс. тонн дизельного топлива, показал, что пока система оповещения, система локализации не отлажена, последующие героические усилия зачастую малопродуктивны. 12 июля 2020 года на Таймыре, в районе п. Тухард, 44 тонны топлива вылились из трубопровода. 3 августа 2020 года в Усинском районе р. Коми произошел разлив нефти, 7 тонн. Но самая большая авария в России произошла в том же, Усинском, районе в августе 1994 года, когда с трубопровода Харьяга-Возей-Головные сооружения вытекло, по некоторым оценкам, до 300 тыс. тонн нефти. В течении двух месяцев нефть вытекала из поврежденного нефтепровода. Все знали, принимали меры без остановки работы трубопровода, так как остановка нефтепровода технически влекла за собой остановку нефтяных скважин, что в условиях высокого содержания парафинов в нефти привело бы к повторному разбуиванию скважин. Ущерб составил 100 млн \$. Авария на нефтяной платформе в Мексиканском заливе с 20 апреля по 19 сентября 2010 года стала самой масштабной в мире, когда в море попало около 5млн. баррелей нефти. 152 дня нефть вытекала в море. Масштабы ущерба до сих пор не выяснены окончательно.

Очевидно, при любой катастрофе первым делом необходимо локализовать проблему. Ущерб от аварии напрямую связан с площадью загрязнений. Средства по борьбе с нефтеразливами следует разделить на две категории, для локализации и для ликвидации. Ударом первой волны, не зависимо от оценок, согласований, должна выступить локализация. Средств локализации, в принципе, не так много: боны, и сорбенты в виде мешков, подушек, тканного материала и насыпные сорбенты. К средствам ликвидации относятся те же сорбенты в различном виде и средства сбора нефти, такие как, скиммеры насосы, ковши, скребки, а также вещества биологического и химического разложения нефтепродуктов.

Боны – плавучие ограждения бывают плоские и надувные, всплывающие и постоянной плавучести, приливные. Оперативное применение заградительных бонов во многом минимизирует ущерб природе и стоимость ликвидации аварии. Более удобными для транспортировки, играющей немаловажную роль, являются надувные боны из ПВХ, имеющие с одного края надувную камеру, с другого трос. На место аварии доставляется намотанным на барабан и имеет незначительный транспортный объем. Растягиваясь в акватории камеры надуваются, а стальной трос является и силовым элементом и пригрузом бона. Образуется сплошной плавучий забор. Недосток таких бонов в уязвимости к механическим повреждениям надувного элемента. Есть боны впитывающие нефтепродукты, со вставными плавающими элементами. К недостаткам можно отнести сложность доставки на место аварии и установку, ввиду значительных транспортных размеров. После, очистка или утилизация впитывающих бонов требует отдельной технологии. Общим недостатком всех бонов является ограниченный объем удерживаемой нефти. Гидростатическое давление нефти по мере заполнения акватории бона возрастает по его передней стенке и со временем нефть либо перетекает поверх бона или прорывается снизу, под пригрузом. Положение усугубляется при волнениях водоема и при установке в замерзшие водные поверхности, при подледной утечке нефти. Установка бона должна производиться с учетом дебета источника разлива и особенностей местности. Многофакторность задачи по локализации нефтеразливов требует простого универсального решения. Таким решением может считаться применение сыпучих нефтесорбентов совместно с установкой бонов на водной поверхности и самостоятельное применение на суши. Совместное применение сыпучих гидрофобных нефтесорбентов с бонами может применяться для увеличения фронтальной высоты ограждающего бона. Другими словами, предлагается устройство перед бонем дамбы из нефтесорбента и по мере заполнения огражденной акватории, возможность увеличивать высоту дамбы. Роль бона в этом случае будет в удержании дамбы в целостности. Удаление нефти и использованного нефтесорбента производится механическим путем.

Другим немаловажным применением сыпучих гидрофобных нефтесорбентов предлагается использованию их при подледных утечках в реках. Нефтесорбент запускается под лед выше по течению места разлива, а ниже прорубается лед поперек реки или в



шахматном порядке, куда будет выталкиваться водой с нефтью и механически удаляться в контейнеры. Использование сыпучих нефтесорбентов особенно удобно в закоряженных водоемах со сложным донным рельефом, где другие виды нефтесорбентов могут зацепиться или повредиться.

Универсальные сорбенты, применяемые на суше и на воде, сорбенты для нефтеразливов должны иметь достаточную олеофильность, гидрофобность и экологическую безопасность, удобство хранения, перевозки и применения, [1].

Распишем каждое требование к сорбенту:

*Олеофильность* сорбента определяется способностью материала сорбента притягивать нефть на уровне межмолекулярного воздействия. Строение сорбента с длинными молекулярными цепочками, с родственными молекулами нефти имеет наибольшую олеофильность по отношению к нефти.

*Гидрофобность* сорбента связана с плавучестью и необходим для того, чтобы применяемый сорбент не впитывал воду и оставался на плаву. Если сорбент утонет вместе с нефтью, то он будет способствовать загрязнению акватории.

*Экологическая безопасность* является основным качеством сорбента. Нефтеразливы, как правило, происходят в труднодоступных местах. В условиях со сложным рельефом береговой линии, с густой растительностью или в штормовых условиях, потери средств локализации и ликвидации аварии будут неизбежны. Применение синтетических сорбентов налагает дополнительную ответственность на их использование, так как потерявшиеся сорбенты в состоянии нанести не меньший урон экосистеме, оставаясь в придонных отложениях десятки-сотни лет. Попадая во внутрь обитателей водоемов могут вызвать нарушения в работе жизненно важных функций. Это требование особенно актуально для средств биологической и химической очистки.

*Удобство хранения и перевозки* имеет немаловажное значение при выборе сорбента. Понятно, что аварии случаются редко и не по расписанию. Если она случилась, нужно встретить во все оружия, имея средства локализации, максимально быстро применить и в достаточном количестве. Склады хранения должны находиться в максимальном приближении от мест возможных аварий. Они должны быть вписаны в логистическую цепь нефтяных предприятий, для своевременного восполнения и быстрого применения. Условия хранения должны быть простыми и не дорогими, ввиду значительного объема. Естественно, гигроскопичность и пожароопасность не лучшие качества сорбентов, особенно органических, склонных к гниению. Химическая обработка антипиренами, антисептиками и другими препаратами отрицательно влияют на биологическую безопасность.

*Удобство применения* сорбентов можно охарактеризовать как возможность механизировать нанесение сорбентов, что безусловно увеличит производительность ликвидации и уменьшит последствия бедствия. Зачастую, малопроизводительный ручной труд является причиной быстрого распространения размеров катастрофы. Значительные расстояния, отсутствие дорог, подъездных путей, заросшие берега, сложный береговой рельеф, погодные условия могут затянуть мероприятия по локализации нефтеразливов и как следствие увеличить площади подверженных техногенному воздействию. По вышеназванным причинам, наилучшим решением для локализации движения нефтяного пятна на суше и на воде, на наш взгляд, будут органические сорбенты, гидрофобные, плавучие, биологически безопасные и разлагаемые, возможностью применения при помощи летательных аппаратов, наземными и водными техническими средствами.

### **Органические сорбенты, отходы лесной промышленности**

Поиск универсального сорбента, удовлетворяющий большинству требований по применению и безопасности, заставил нас обратить внимание и на другую, немаловажную проблему экологического характера, а именно на скопление отходов переработки лесных ресурсов. Сорбционная способность целлюлозосодержащего сырья обусловлена строением волокон целлюлозы (фибрилл), [2-5] Главный недостаток опилок, щепы и др. древесных отходов низкая гидрофобность и соответственно плавучесть, необходимая характеристика

для результативного использования сорбента для сбора нефти на воде. Повышение гидрофобности органических сорбентов возможно путем термообработки [6].

Географически, обе проблемы, находятся непосредственно в одних районах, за исключением морских акваторий. Объектами хозяйствования в Северных регионах России являются нефтедобыча и лесопользование. Флора и фауна Севера, это последнее достояние человека, неизменное его деятельностью.

В настоящее время, по некоторым скромным оценкам в леспромхозах Урала и западной Сибири скопилось порядка 100 млн. тонн отходов лесопиления в виде коры, опила, щепы и др. В основном, учитывая объемы лесопереработки советского периода, отходам уже до 90 лет. В нижних слоях этих гор из опила и щепы находится снег и лед 60-90 летней давности. Большая плотность в нижних слоях не пропускает воздух предотвращая биологическое разложение. Вывоз данных отходов в виде сырья для дальнейшей переработки нецелесообразно экономически из-за разбалансированной транспортно-логистической схемы. Отсутствие необходимой промышленной инфраструктуры, урбанизация не решили эту проблемы на местах в ближайшее время.

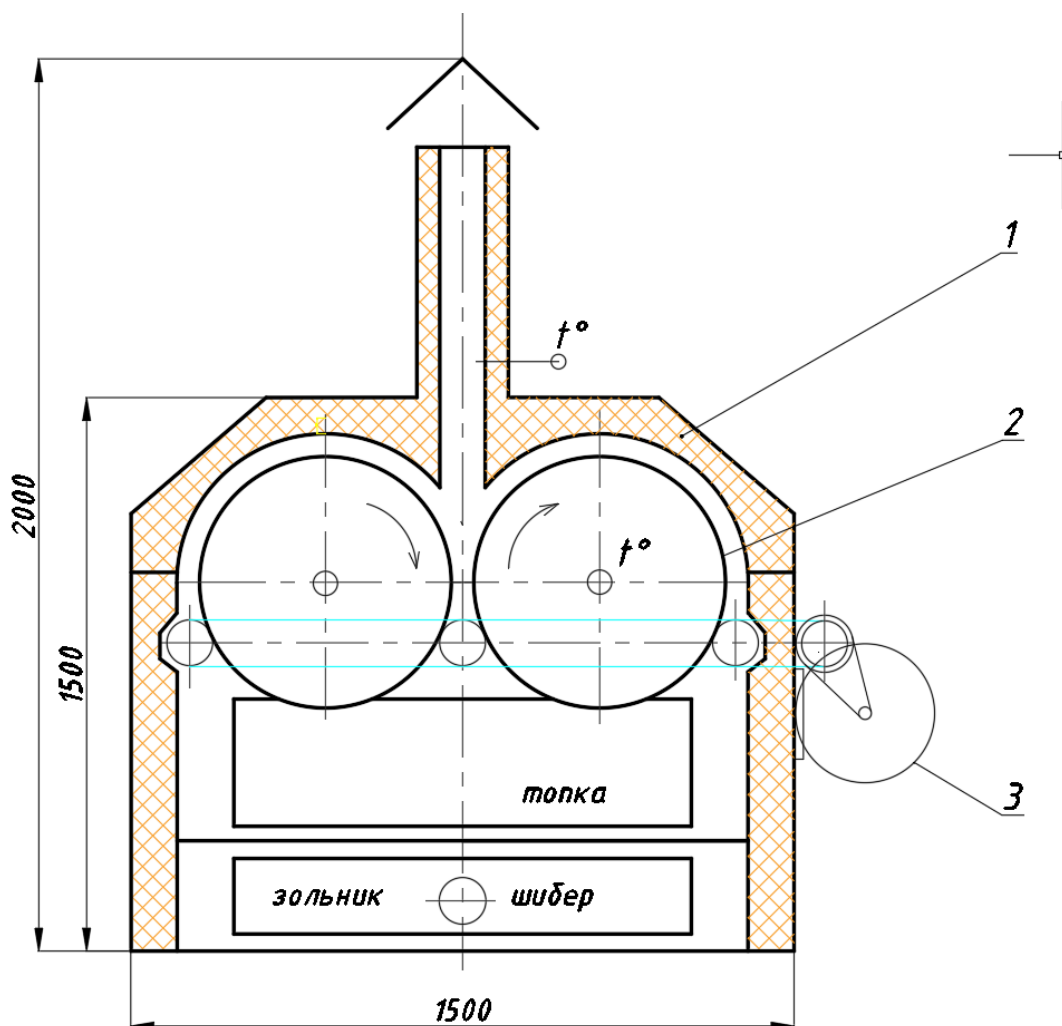
### **Новое время требует новых решений**

Ясно, что располагать в малонаселенных регионах с низкой инфраструктурой производство для переработки тоже экономически нецелесообразно. В то же время северные регионы остаются основной сырьевой базой. По аналогии с поставкой пиломатериалов, по сути, передельного сырья для мебельной промышленности или строительства, возможна и поставка переработанного отхода как продукта или сырья других отраслей. Ближайшей перспективой развития северных регионов, возможно, будет поддержка лесной отрасли нефтяниками. Одна территория, общие поселки, в значительной мере способствовали бы восстановлению инфраструктуры северных территорий. Общие людские ресурсы, общие экологические проблемы требуют взаимовыгодного решения проблем отдаленных районов.

Одной из точек взаимовыгодного сотрудничества могло бы быть производство нефтесорбентов из отходов лесной промышленности, накопленных за долгие годы освоения Севера.

Для получения гидрофобного нефтесорбента была спроектирована экспериментальная установка барабанного типа периодического действия, схема которой представлена на рис. 1. Новизна установки подтверждена патентом 27 33374 РФ [7].

Весь процесс: сушка, термомодификация и охлаждение проходит в одной камере. Перемешивание сырья осуществляется путем вращения камер-барабанов (рис.1).



**Рисунок 1. Схема установки:** поз. 1 – крышка; поз. 2 – камера; поз. 3 – электропривод

Местная сырьевая база, отсутствие транспортных расходов и неограниченная поставка, в случае необходимости, должны сказаться в пользу решения о создании аварийного резерва сорбентов. Нехитрая технология производства посылная большинству небольших предприятий лесной отрасли могли бы создать систему локализации и ликвидации нефтяных аварий с последующей переработкой отработанных сорбентов. Резервное содержание сорбентов, требующее обслуживания, обновления, восполнения запасов можно связать с непосредственно с производством. Производя продукцию для других регионов, отгружая через склад резерва, имеется возможность своевременно обновлять резерв, что положительно скажется на себестоимости обслуживания запасов, являясь дополнительным источником дохода для небольших предприятий. Необходимый резерв нефтесорбентов будет производиться, храниться в непосредственной близости от потенциального источника экологической катастрофы, что позволит быстрее реагировать в случае чрезвычайной ситуации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горожанкина Г.И., Пинчукова Л.И. Сорбенты для сбора нефти: сравнительные характеристики и особенности применения. Трубопроводный транспорт нефти. 2000. № 4. - С. 12-17.
2. Кудайбергенов К.К. [и др.]. Углеродные сорбенты для ликвидации аварийных разливов нефти // Физика и химия углеродных материалов. Наноинженерия: материалы VI Междунар. симпоз. – Алматы, 2010. - С. 119 - 122. 47.

3. Якубовский С.Ф. Ощепкова Н. В., Булавка Ю.А., Писарева С.С., Попкова Л.А. Особенности микроструктуры отходов сухой окорки сосны как сырья для получения нефтяных сорбентов // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. - 2011. - N 11. - С. 154-157
4. Смирнова Л.Г., Грунин Ю.Б., Красильникова С.В., Заверкина М.А., Бакиева Д.Р., Смирнов Е.В. Изучение структуры и сорбционных свойств некоторых видов целлюлозы // Коллоидный журнал. - 2003. - Т. 65, № 6. - С. 11-14.
5. Филина Н.А. Исследование сорбционных свойств древесных отходов для сбора нефтепродуктов с последующей утилизацией их в виде топливных брикетов/ Н.А. Филина, С.Я. Алибеков// Экология и промышленность России. - 2012. - №4. - С.56-58.
6. Пат. 94 021 676. Российская Федерация, МПК В01J 20/20 Способ получения сорбента для очистки воды от нефтепродуктов / Дунин-Барковский Р.Л., Добижа Е.В.; заявители и патентообладатели Институт вулканической геологии и геохимии Дальневосточного отделения РАН, Акционерное общество "Информационные, транспортные, энергетические технологии". - № 94021676/26; заявл. 08.06.1994, опубл. 10.06.1996
7. Пат. 27 33374. Российская Федерация, МПК С02F 1/28, С10В 47/30, С10В 53/02. Способ получения сорбента для сбора нефти и нефтепродуктов / Кралин В.С., Минулин Р. Ф., Якупов И. Ш.; заявители и патентообладатели Кралин В.С., Минулин Р.Ф., Якупов И.Ш. - №2020110034; заявл. 10.03.2020, опубл. 01.10.2020, Бюл. №22. – 32с.
8. Каменщиков Ф.А. Нефтяные сорбенты / Ф.А. Каменщиков, Е.И. Богомольный. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 268 с.

УДК 622.242

## ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЗАБАЙКАЛЬЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ И ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

КОСТРОМИН М. В.<sup>1</sup> ПАНИНА Т. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Забайкальский государственный университет»

<sup>2</sup>Забайкальский аграрный институт-филиал Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

**Аннотация.** В Забайкальском крае интенсивно ведутся подземные горные работы, открытая разработка угольных и рудных месторождений, дражная и гидромеханизированная добыча полезных ископаемых из россыпей. Всё это в совокупности оказывает определённое негативное влияние на окружающую геологическую среду. После производства подземных работах происходит изменение химического состава водных источников и подземных вод; деградация мерзлоты под хвостохранилищами обогатительных фабрик; расслаивание, обрушения горных пород в выработках, вывалы образования заколов; сдвижение горных пород, образование мульд, трещин провалов, оседание земной поверхности. Это показано на примерах подземной разработки Балейского и Тасеевского месторождений. Открытая разработка рудных, угольных и россыпных месторождений приводит к уничтожению лесов, растительного покрова, растительного слоя; изменение рельефа местности, русла рек; образования геотехногенных месторождений в отвалах, хвостохранилищах; деградации мерзлоты под отвалами, хвостохранилищами; обвалам, оползням бортов карьеров и разрезов, откосов отвалов; нарушению естественного процесса оттаивания-промерзания пород; заболачивание местности. Требуется проведение дальнейших исследований для изучения возможности сокращения или устранения негативного влияния горных работ на окружающую и геологическую среду.

**Ключевые слова:** подземная разработка, открытая разработка, разработка россыпей, сдвижение горных пород, провалы, оползни, загрязнение рек.

# THE IMPACT OF THE DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS TRANSBAIKALIA ON THE ENVIRONMENT AND GEOLOGICAL ENVIRONMENT

KOSTROMIN M. V<sup>1</sup>. PANINA T. YU.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zabaikalsky State University

<sup>2</sup>Zabaikalsky Agrarian Institute - branch of Irkutsk State Agrarian University  
named after A.A. Yezhevsky

**Abstract.** Underground mining operations, open-pit mining of coal and ore deposits, drained and hydro-mechanized mining of minerals from placers are intensively carried out in the Trans-Baikal Territory. All this together has a certain negative impact on the surrounding geological environment. After the production of underground works, there is a change in the chemical composition of water sources and groundwater; degradation of permafrost under the tailings dumps of processing plants; delamination, rock collapses in workings, dislocations of the formation of chips; displacement of rocks, formation of mulds, cracks, sinkholes, sUral Branchsidence of the earth's surface. This is shown by the examples of underground development of the Baleysky and Taseyevsky deposits. Open-pit mining of ore, coal and placer deposits leads to the destruction of forests, vegetation cover, vegetation layer; changes in terrain, river beds; formation of geotechnogenic deposits in dumps, tailings dumps; degradation of permafrost under dumps, tailings dumps; landslides, landslides of quarry sides and sections, slopes of dumps; violation of the natural process of thawing-freezing of rocks; waterlogging of the area. Further research is required to explore the possibility of reducing or eliminating the negative impact of mining operations on the environment and geological environment.

**Keywords:** underground mining, open-pit mining, placer mining, rock movement, sinkholes, landslides, river pollution.

Подземные горные работы в Забайкалье имеют достаточно широкое развитие. Здесь была сфера деятельности объединения «Забайкалзолото», в который входили комбинаты «Балейзолото», «Амазарский», рудник «Дарасун», прииск «Ципикан», шахта «Любовь», комбинатов: Нерчинского полиметаллического Калангуйского плавикошпатового, Шахтоминского рудоуправления, угольных шахт «Букачача», «Восточная». Все эти предприятия находятся в различных горно-геологических и гидрогеологических условиях, вели горные работы на не одинаковой глубине от поверхности земли, различными системами разработки, поэтому вопросы инженерно-хозяйственной деятельности предприятий целесообразно рассматривать отдельно.

Балейское рудное тела площадью 40 км<sup>2</sup> объединяет Тасеевское и Балейское золоторудные месторождения. В пределах Балейского рудного тела и в непосредственной близости к нему в долине реки Унды имеются россыпные месторождения золота.

Руды Тасеевского месторождения перерабатываются на Тасеевской фабрике. Тасеевское месторождение представляет собой крупный рудный участок золото-кварцевой минерализации, расположенный в центральной части центрального блока Балейского грабена, сложенного в верхах юрскими и меловыми туфогенными и песчано-конгломератовыми отложениями, внизу породы складчатого протерозоя.

Месторождения имеют вид мощный вытянутой залежи, протянувшейся полосы оруденения, расположенной в северо-восточном направлении, имеющей ширину 300 метров и протяженностью до 2 километров.

В ее пределах вскрыто около 50 жильных тел, сгруппированных в семь рудных зон, имеющих крутые падения на северо-западе. Тасеевское месторождение большей своей частью расположено в пределах надпойменных террас, а только часть его находится в пойменной части долины реки Унды.

Месторождения в основном обводняются за счёт трещин и в не значительной степени за счёт аллювиальных вод. Трещинные воды являются одним из источников обводнения

рудника. При подсечении рудных зон обычно прорываются минеральные углекислые воды с содержанием углекислоты до 2,1 грамм на метр. Часто встречаются «сухие воды» - газ без воды.

С расширением фронта горных работ ожидать существенного увеличения притока вод в выработки нет оснований, так как приток главным образом зависит от количества вскрываемых выработками тектонических нарушений или рудных тел. С глубиной степень обводненности снижается, но вместе с тем увеличивается количество выходов углекислого газа и его концентрация.

Тасеевское месторождения представлено несколькими почти параллельными рудными зонами на которых в настоящее время находится в эксплуатации первая вторая третья четвёртое и промежуточные рудные зоны нижней границы балансовых запасов категорий А+В+С является горизонт 516 м.

Потери при всех системах разработки доходит до 20-25% разубоживание руды до 46,3%.

Наблюдение за движением поверхности и горных пород на месторождении началось в 1956-57 гг., и проводилось маркшейдерами рудника Тасеево: 1959-62 г. г. эти работы выполнял Союзмарктрест, с 1969 по 1971 г. г. экспедиции 306 Союзмарктреста проводила на месторождении научно-исследовательские работы по изучению сдвижения горных пород и определению величин основных параметров этого процесса. С июля 1974 года наблюдения проводил Читинский политехнический институт (ныне ЗабГУ). Внутреннее строение Тасеевского месторождения определяется наличием системы продольных и особенно поперечных нарушений, разбивающих Балейскую депрессию на серию крупных блоков. Каждый из них, в свою очередь, разбит более или менее густой сетью нарушений, что обуславливает общую высокую степень тектонической раздробленности участка. Таким образом трещинная тектоника на рассматриваемом участке месторождения проявляется многообразно, начиная с обычного карста и кончая крупными дизъюнктивными нарушениями типа сбросов, сдвигов, простирающихся в различных направлениях.

В результате исследований установлено, что.

1. Характер и параметры процесса сдвижения горных пород определяются формой и размерами рудных тел, применяемыми системами разработками, соотношением размеров выработанного пространства.

2. Полное развитие процессов сдвижения земной поверхности и минимальные углы сдвижения получаются, когда размеры выработанного пространства по простиранию и падению рудных тел равны или более глубины разработки.

3. Зоны опасных сдвижений и трещин ограничиваются углами 50 – 70°.

4. Наиболее опасным участком мульды сдвижения является зона воронок и провалов. Воронки образуются в результате перепуска обрушенных пород или закладочного материалы с верхних горизонтов на нижние и при отработке весьма мощных рудных тел.

5. Обрушения, в результате которых образуются воронки распространяются куполообразно перпендикулярно слоистости пород. Угол обрушения, в зависимости от мощности налегающей толще пород и фронта горных работ, колеблется от 75 до 85°.

По влиянию разработки отдельных рудных тел на характер и параметры процесса движения выделяются четыре основные группы.

1. Рудные тела, разработка которых вызывает на земной поверхности образование провалов, воронок и зон мощных вертикальных смещений пород.

2. Рудные тела, разработка которых вызывает периодическое развитие опасных зон с движений земной поверхности и образование воронок над выработками верхних горизонтов.

3. Рудные тела, разработка которых сопровождается плавным оседанием поверхности с критическими величинами деформаций и без образования провала и крупных трещин.

4. Рудные тела, разработка которых не вызывает опасных сдвижение земной поверхности.

К первой группе относятся рудные тела большой и весьма большой мощности (до 20 м и более), обрабатываемые без закладки.

Ко второй группе относятся рудные тела большой мощности, обрабатываемые с применением закладочного материала и рудный тела средней мощности (до 5 м) с глубиной залегания верхней границы менее 100 м, обрабатываем и без закладки.

Третью группу составляют рудные тела средней мощности с глубиной залегания верхней границы более 100 м от поверхности, обрабатываемые без закладки выработанного пространства.

К четвёртой группе относятся тела рудные с залеганием верхней границы более 200 м от поверхности, небольшой (2 м) и средней мощности, обрабатываем с закладкой выработанного пространства.

В настоящее время на первой рудной зоне, вследствие подработки массива подземными горными работами, идёт активный процесс земных подвижек, о чем свидетельствует оседание поверхности и образования провалов. При разработке верхнюю горизонтов (до 166 м) выход провалов в плане был приурочен к верхней части живы. С включением в отработку нижних горизонтов наблюдается смещение вновь образующихся провалов в сторону висячего бока вслед за продвижением горных работ. Тасеевское месторождение представлено породами средней устойчивости, в которых, наряду с явлением самообрушения, могут сохранять под сводами обрушения опасные пустоты.

Единственным надёжным способом определения местоположения пустот в настоящее является бурение разведочных скважин.

Исследования проведённые ЗаБГУ показали, что земная поверхность первой рудной зоны не имеет участков с установившимся процессом сдвижения. Развитие процесса оседания по направлению и скорости возрастает в сторону продвижения очистной выемки, то есть в северо-западном направлении.

По данным маркшейдерского учёта по первой рудной зоне числится около 300 тыс.м<sup>3</sup> подземных пустот.

Одной из главных особенностей повторной открытой разработки первой рудной зоны Тасеевского месторождения является то, что горные работы постоянно будут происходить в опасной по провалам зоне. В результате применения при подземной разработке систем с обрушением происходит перемещение части запасов полезного ископаемого на нижележащие горизонты.

Такие же явления характерны и при разработке других месторождений подземным способом.

В Забайкальском крае открытая разработка ведется на рудных, угольных и россыпных месторождениях. Разработка рудных месторождений открытым способом имеет свои особенности, отличные от угольной добычи, связанные с условиями залегания рудного тела, крепостью пород и т.д [1,2].

Основными отличиями технологии разработки рудных месторождений является широкое применение буровзрывных работ на вскрыше и добычи, большая глубина карьеров, внешнее отвалообразование, переработка руд на обогатительных фабриках.

Особенностью рудных карьеров Забайкальского края являются небольшие размеры, производительность 200-500 тыс.м<sup>3</sup>, малая обводненность пород. Это оловянный карьер Шерловогорского ГОКа, Балейский, Каменские конгломераты, карьер рудника Ключи, два вольфрамо-молибденового карьера Орловского ГОКа, исключение составляет карьер Быстринского ГОКа.

Глубина карьеров достигает 150 м, площади по верхней бровке составляют от 100 до 600 га, высота уступов 10-15 м, объем откачиваемой воды до 10 м<sup>3</sup>/ч. Отвалы высотой до 30 м занимают площади в среднем 200+ 250 га.

Случаи оползневых явлений связаны в основном с тектоническими нарушениями массива или с несоблюдением устойчивых углов бортов рудных карьеров. Например, на Шерловогорском карьере в феврале 1982 года была зарегистрирована подвижка пород

объемом 12 млн м началось разрушение западного борта, для предотвращения которого были выполнены работы по разгрузке призмы высокого давления объемы этих работ составили в 1985 г -1030 т м<sup>3</sup>, в 1984 г-1446 т м<sup>3</sup> . В результате этих работ в июле- августе 1986 г. скорость подвижки составляла вертикальная 0,8 мм/сутки, горизонтальная 1,6 мм/сутки. В октябре эти скорости уравнились и составили 1,2мм/сутки.

В 1978 году произошел оползень северо-восточного борта Балейского карьера. Площадь оползня составила 25600 м<sup>2</sup>.

В 1986 году в этом же карьере в районе водосборника произошел оползень, имеющий площадь 2750 т.м<sup>2</sup>.

Дополнительным источником воздействия на окружающую среду являются обогатительные фабрики [5]. Во-первых, для обогащения руд требуется значительное количество воды. Во-вторых, хвостохранилища фабрик занимают значительные площади и могут влиять на загрязнения естественных водоемов. Кроме того, приемные разгрузочные пункты являются источниками пылеобразования.

Хвостохранилища Щерловогорского ГОКа занимает площадь 70 га, мощность хвостов составляет 43 м, объем–14,2 млн. т.

В связи с тем, что на отдельных предприятиях несовершенна технология обогащения, в хвостохранилищах накоплено значительное количество полезных компонентов.

Например, на Щерловогорской обогатительной фабрике извлечение основного компонента составляет всего 42% а некоторые сопутствующие минералы вообще не извлекаются.

В настоящее время ведутся работы по совершенствованию технологии обогащения многокомпонентных и труднообогатимых руд, что позволит вовлечь в разработку отходы обогатительных фабрик и отвалы забалансовых руд.

Основными разрабатываемыми угольными месторождениями Забайкальского края являются Харанорское, Татауровское Уртуйское.

Разработка Харанорского месторождения осложняется значительной обводненностью и наличием многолетней мерзлоты. Подземные воды приурочены в основном к угольным пластам и вмещающими их песчаникам. В результате повышенного водонасыщения пород происходит их интенсивное разуплотнение и набухание. Это приводит к оползневым явлениям на вскрышных уступах и отвалах породы.

Интенсивное осушение карьерного поля посредством водопонижающих скважин позволило уровень подземных вод опустить на 10–20м ниже почвы угольного пласта. Однако эти мероприятия не позволили избежать оползневых явлений. Водонасыщение пород продолжает происходить за счет насыщения атмосферными осадками. Водонасыщение пород способствует недостаточно организованный водосбор и плоская планировка берм уступов. Для предотвращения деформации уступов должны систематически проводиться работы по сбору и отводу атмосферных осадков с берм уступов. Для предотвращения фильтрационных деформаций откосов уступов, сложенных песчано-глинистыми отложениями производится отсыпка фильтрующей пригрузки на локальных участках интенсивного выкачивания вод.

Для предотвращения оползней при оттаивании мерзлых пород борта на участках с многолетней мерзлотой четвертичных отложений подсыпаются слоем скальных пород мощностью 2,0 м.

С целью избежания пожаров при самовозгорании угля производится присыпка инертными породами угольные уступы нерабочего борта и рабочие площадки, оставленные на консервацию. Несмотря на это, в результате разрушения предохранительной присыпки оползнями или по другим причинам, происходит самовозгорание угля.

В среднем ежегодно разрезом нарушается 43 га плодородных земель.

На разработке россыпных месторождений Забайкальского края задействовано около 40 предприятий. Наиболее ощутимыми изменениями окружающей и геологической среды



при разработке россыпных месторождений дражным и гидромеханизированным способом являются нарушения земной поверхности и загрязнение водных источников [3].

В результате проведенных исследований установлено, что:

1. Наиболее отрицательное воздействие на геологическую среду оказывает горнодобывающая промышленность [4, 6], в частности, открытые горные работы, для которых характерны максимальные отрицательные последствия их ведения. Особенно велики эти последствия, при разработке россыпных месторождений, которые, правило, имеют сравнительно небольшую глубину залегания и большую протяженность по площади. Изменение геологической среды под влиянием открытой разработки россыпей проявляется в следующем:

а) Уничтожаются леса и происходит осушение болотистых участков как в районе горных работ, так и на прилегающей к ним местности;

б) Полностью уничтожаются растительный слой, там, где он существовал;

в) Изменяется микрорельеф района горных работ, особенно серьезным изменением подвергаются пойменные участки, многократно меняются положения русел рек и ручьев;

г) В значительной мере нарушается гидрогеологический режим и меняются условия стока;

д) В зоне распространения вечно-мерзлых пород изменяется их температурный режим, возникают многочисленные термокарстовые явления, образуются таликовые зоны.

е) В результате сброса драгами и промприборами неочищенных промышленных стоков, содержащих взвешенные минеральные частицы, загрязняются реки и естественные водоемы, что требует огромных дополнительных затрат по их очистке.

2. Для открытой разработки угольных месторождений характерно:

а) Большие нарушения площадей земной поверхности вследствие их пластового замечания. В связи с вовлечением разработку месторождений, представленных пластами малой мощности (1-2 м), показатели нарушения земной поверхности еще больше увеличатся;

б) Сложные геологические условия залеганий многих угольных месторождений, в частности, высокая обводненность требует большого объема осушительных работ, которые приводят к значительному понижению уровня грунтовых вод.

После завершения горных работ, выработанное пространство, как правило, заполняется грунтовыми водами, образуются водоемы.

в) Для угольных месторождений характерны оползневые явления, связанные с разупрочнением пород при водонасыщении в результате атмосферных осадков и при таянии мерзлых пород. Эти же явления способствуют пучению грунта, что приводит к разрушению автомобильных дорог и железнодорожных магистралей. Оползневым явлениям подвержены внутренние отвалы и откосы уступов и бортов карьеров;

г) При длительном контакте угля с воздухом происходит возгорание углей, склонных к самовозгоранию.

3. Для разработки рудных месторождений исследуемого района в связи с особенностями их геологического строения характерно:

а) Сравнительно небольшие площади нарушения земной поверхности (площади карьеров составляет от 100 до 600 га, глубина карьеров до 150 м); площади под отвалами в среднем 200-250 га).

б) Широкое применение буровзрывных работ, что является причиной повышения трещиноватости вмещающих пород.

в) Незначительная обводненность пород (объемы водооткачки составляют до 10 м<sup>3</sup>/ч).

г) Добываемая руда поступает на обогатительные фабрики, которые являются дополнительными источниками воздействия на геологическую среду.

4. Отвалы вскрышных пород, как угольных, так и рудных месторождений, разрабатываемые открытым способом, в большинстве случаев являются источниками сырья для производства строительных материалов (кирпич, клина, щебень, песок, гравий и т.д.).

Отвалы забалансовых руд и шламы хвостохранилища содержат значительные запасы ценных компонентов и являются дополнительными источниками минерального сырья.

5. При подземной разработке месторождений характерными воздействиями на геологическую среду являются:

а) Образование провалов и оседание земной поверхности над подземными горными выработками;

б) С увеличением глубины разработки подземных способом происходит значительные по своим объемам вывалы и обвалы кровли выработок, горные удары.

Требуется проведение дальнейших исследований для изучения возможности сокращения или устранения негативного влияния горных работ на окружающую и геологическую среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костромин М.В. Опыт инженерно-хозяйственного освоения территории по видам работ / М.В. Костромин, Ю.М. Овешников, С.Г. Позлутко // Инженерная геология СССР. — М: Недра, 1990. - С. 326-337.
2. Костромин М.В. Рациональное использование вскрышных пород месторождений Забайкалья / М.В. Костромин, В.А. Козлов, С.Г. Позлутко // Проблемы рационального освоения минеральных ресурсов: Мельниковские чтения: сб. докл. Всесоюз. совещ. — Хабаровск, 1991.
3. Костромин М.В. Повышение эффективности разработки техногенных и природно-техногенных россыпей / М.В. Костромин, С.Г. Позлутко // Горн. журн. — 1996.- №9-10. — С. 17-21.
4. Секисов Г.В. Основы минералопользования / Г.В. Секисов. — Владивосток: Дальнаука, 1998. 280 с.
5. Pearse G. Gredger for mineral recovery/ G. Pearse // Mining rec. – 1985. – Vol. 153, N 1. P. 36-45.
6. Stokes R.B. Placer mining fields gold and other treasures in the North / R.B. Stokes // Western Mines. 1981. - Vol. 54, N 12. – P. 31-32.

Научное издание

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

20 – 21 мая 2021 г.

Сборник докладов

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

Редактор изд-ва Л. В. Устьянцева  
Компьютерная верстка Н. В. Георгиева

Подписано в печать  
Печать на ризографе. Бумага писчая. Формат 60 × 84/8.  
Усл. печ. л. 21,1. Уч.-изд. л. 20,26. Тираж 120. Заказ.

Издательство УГГУ  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
Уральский государственный горный университет

Отпечатано с оригинал-макета  
в лаборатории множительной техники УГГУ