



Министерство науки и высшего образования Российской  
Федерации  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный  
университет»

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

*Труды VII Международной  
научно-практической конференции*

4 апреля 2025 г.

**Екатеринбург  
2025**

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

Труды VII Международной научно-практической конференции  
4 апреля 2025., г. Екатеринбург  
В рамках XXIII Уральской горно-промышленной декады

Ответственный редактор  
доктор геолого-минералогических наук, профессор В. А. Елохин

Екатеринбург  
2025

УДК 622 : 614.8  
ББК 68.9  
Б 40

Печатается по решению Учебно-методического совета  
Уральского государственного горного университета

**Безопасность технологических процессов и производств: Труды**  
Б 40 **VII Международной научно-практической конференции. 4 апреля 2025 г., г.**  
**Екатеринбург / отв. редактор В. А. Елохин; Урал. гос. горный ун-т. –**  
**Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2025. – 99 с.**

В сборнике трудов представлены результаты авторских исследований, охватывающие различные аспекты безопасности технологических процессов и производств, а также работы, касающиеся мониторинга состояния недр.

Публикуемые материалы могут представлять интерес для студентов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего образования по направлению «Техносферная безопасность», а также для специалистов науки и производства.

УДК 622 : 614.8  
ББК 68.9

© Уральский государственный  
горный университет, 2025  
© Авторы, постатейно, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Гредина Т. В., Елохин В. А.</i> Выбор мероприятий по улучшению условий труда при освоении Алексеевского месторождения мраморов . . . . .	5
<i>Демин В.Ф., Демина Т.В., Кочнева Л.В.</i> Применение технологии стабилизации горного массива с использованием полиуретановой двухкомпонентной смолы на угольной шахте	13
<i>Демин В.Ф., Демина Т.В., Кочнева Л.В., Тетерев Н.А.</i> Технологические схемы инъектирования полимерных смол в нарушенный горный массив для условий угольных шахт . . . . .	23
<i>Демин В.Ф., Демина Т.В., Тетерев Н.А., Батанин Ф.К.</i> Технологические схемы смолоупрочнения ослабленных горных массивов при ведении очистных и подготовительных работ . . . . .	32
<i>Кожарский С. Г., Булавка Ю. А.</i> Подбор и подготовка кадрового состава как элемент обеспечения безопасности при строительстве атомной электростанции в Египте . . . . .	41
<i>Кузнецов А.М., Пуриков Д.Е.</i> Цифровая трансформация охраны труда . . . . .	48
<i>Лонский О. В., Трясцин А. А.</i> Обеспечение безопасности при производстве работ вокруг карстовых воронок . . . . .	53
<i>Нурхожаев Е.С., Макаров В.Н., Макаров Н.В., Потапов В.Я., Потапов В.В.</i> Снижение экологической нагрузки тепломассо обменного оборудования с использованием встроенных сепараторов . . . . .	59
<i>Потапов В. Я., Потапов В.В. Архипов М.В., Кузнецов А.М., Тетерев Н.А.</i> Использование аппаратов в экологически безопасном технологическом процессе переработки асбестосодержащего сырья . . . . .	70
<i>Потапов В.Я., Потапов В.В., Архипов М.В., Кузнецов А.М., Парамонов К.А.</i> Экологические проблемы обогащения полезных ископаемых . . . . .	81
<i>Трусов Г.И, Кузнецова Ю.Н., Талдонова. Н.В.</i> Внедрение информационных технологий в управление безопасности горнодобывающих предприятий . . . . .	86
<i>Фуфалдина Д. Н, Елохин В. А.</i> Организация и технические решения при ведении работ в опасных зонах на Кривинском месторождении известняков. . . . .	90

УДК 331.4

## **ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ ОСВОЕНИИ АЛЕКСЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МРАМОРОВ**

ГРЕДИНА Т. В., ЕЛОХИН В. А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Участок недр «Алексеевское месторождение» расположен на территории Кировградского городского округа Свердловской области. Полезная толща участка недр представлена мелко- и среднезернистыми мраморами. Мраморы пригодны для получения строительного щебня. Запасы мраморов по категориям С1+С2 составляют 1567 тыс. м<sup>3</sup>. По классу декоративности мрамора участка относятся к III классу декоративности (малодекоративные мрамора).

С целью определения условий труда работников на предприятии выполнены работы по специальной оценке условий труда. В результате установлено, что наиболее тяжелые условия труда по шуму и тяжести трудового процесса свойственны машинисту камнерезной машины и горному мастеру.

Для снижения шумовой нагрузки на горного мастера и машиниста камнерезной машины и возникновения профессиональной патологии рекомендуется организовать рациональный режим труда и отдыха с введением дополнительных регламентированных перерывов на отдых и проведением их в оптимальных акустических условиях. При работе использовать индивидуальные средства защиты органа слуха с должной акустической эффективностью.

**Ключевые слова:** полезная толща, мраморы, запасы мраморов, специальная оценка условий труда, мероприятий по улучшению условий труда.

## **SELECTION OF MEASURES TO IMPROVE WORKING CONDITIONS DURING THE DEVELOPMENT OF THE ALEKSEEVSKY MARBLE DEPOSIT**

GREDNA T. V., ELOKHIN V. A.

FGBOU VO «Ural State Mining University»

**Abstract.** The Alekseevskoye field is located in the Kirovgradsky urban district of the Sverdlovsk region. The useful thickness of the field is represented by fine- and medium-grained marbles. The marbles are suitable for producing construction crushed stone. The reserves of marbles

in categories C1+C2 amount to 1,567 thousand m<sup>3</sup>. According to the class of decorative properties, the marbles of the field belong to the III class of decorative properties (low-decorative marbles). In order to determine the working conditions of employees, the company carried out a special assessment of working conditions. As a result, it was found that the most difficult working conditions in terms of noise and the severity of the work process are typical for the operator of a stone-cutting machine and the mining master. To reduce the noise load on the mining master and the operator of a stone-cutting machine and to prevent the development of occupational pathology, it is recommended to establish a rational work and rest regime with additional regulated breaks for rest and to provide them in optimal acoustic conditions.

**Keywords:** useful thickness, marbles, marble reserves, special assessment of working conditions, measures to improve working conditions.

Участок недр «Алексеевское месторождение» расположен на территории Кировградского городского округа Свердловской области, в 70 км северо-западнее г. Екатеринбург, в 1 км западнее пос. Нейво-Рудянка. Железная и автомобильная дороги находятся на расстоянии 1,0 км к северу от участка.

Недропользователем является ООО «СнабТранс», которому Министерством природных ресурсов и экологии Свердловской области была выдана лицензия на пользование недрами. Срок окончания пользования участком недр – 18.08.2047 г.

Полезная толща участка недр «Алексеевское месторождение» представлена мелко- и среднезернистыми мраморами, среди которых по цветовым и текстурным особенностям выделены две разновидности: мрамора серого до темно-серого цвета, брекчиевидные, массивные, реже-полосчатые и мрамора бледно-серого, белого цвета, массивные. Минеральный состав мраморов: карбонат 75-99 %, углеродистое вещество 5-20 %, кварц 5 %, хлорит, мусковит, рудный минерал (все менее 1 %). По результатам химического анализа мрамора участка недр «Алексеевское месторождение» характеризуются постоянством химического состава и не содержат вредных примесей.

По классу декоративности мрамора участка относятся к III классу декоративности (малодекоративные мрамора).

Мраморы участка недр «Алексеевское месторождение» характеризуются следующими физико-механическими показателями: средняя плотность 2,69 г/см<sup>3</sup>; водопоглощение 0,15 %, истинная плотность 2,71 г/см<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии в сухом состоянии 72,9 МПа (средне-прочные породы), в водонасыщенном состоянии 59,7 МПа; снижение прочности при насыщении водой 18,0 %; морозостойкость F25, кислотостойкость 0,92 %, истираемость 7,2

мм (умеренная), стойкость к ударным воздействиям более 50. По физико-механическим свойствам мраморы соответствуют требованиям ГОСТ 9479-2011.

Блочность мраморов участка оценивалась на соответствие ГОСТ 9479-2011 «Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий», согласно которому минимальный размер блока составляет 50 см.

Мраморы участка недр «Алексеевское месторождение» пригодны для получения строительного щебня по ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ». Марка щебня по морозостойкости F50, по дробимости 600-800, по истираемости И1. Щебень может быть использован в качестве заполнителей для тяжелого бетона, а также для дорожных и других видов строительных работ. Выход щебня по фракциям – 96 % согласно протоколу испытаний.

Песок из отсевов дробления мраморов участка относится к крупным пескам класса II, содержание зерен менее 0,16 мм в среднем составляет 26,1 % (при норме до 15 %), содержание пылевидных и глинистых частиц составляет в среднем 19,7% (при норме до 10 %); может быть использован в строительных работах только после обогащения.

Эффективная удельная активность радионуклидов в среднем составляет 22 Бк/кг, что соответствует требованиям к строительным материалам I класса и дает возможность использовать их для всех видов строительства без ограничений.

Вскрышные породы участка изучены в качестве грунтов. Основной объем составляют рыхлые грунты (суглинки и пылеватые пески) - дисперсные связные грунты элювиального типа и минеральные глинистые грунты дисперсных зон коры выветривания. Незначительную часть составляют скальные и полускальные грунты - выветрелые мрамора в верхней части разреза.

Запасы мраморов месторождения «Алексеевское» по категориям C1+C2 составляют 1567 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по категории C1 – 347 тыс. м<sup>3</sup>. Коэффициент вскрыши в целом по месторождению – 0,1 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (таблица 1).

В настоящее время на Алексеевском месторождении проводятся опытно-промышленные работы с целью определения выхода товарных блоков. Добычные работы будут проводиться на нескольких добычных горизонтах, что позволит определить выход блоков по каждому добычному горизонту. Объем добычи горной массы в размере 16 % от балансовых запасов при проведении опытно-промышленных работ обусловлен необходимостью соблюдения правил промышленной безопасности (создание необходимой ширины рабочих площадок на каждом добычном горизонте), технологическими особенностями добычи блочного камня, геологическими задачами при проведении опытно-

промышленных работ, необходимостью проведения добычных работ на нескольких добычных уступах карьера.

Таблица 1 - Данные о запасах полезных ископаемых Алексеевского месторождения

Номер блока и категория запасов	Средняя площадь блока, м <sup>2</sup>	Средняя мощность полезной толщи, м	Объём пород полезной толщи, тыс. м <sup>3</sup>	Объём внутреннего карста		Запасы, тыс. м <sup>3</sup>	Объём рыхлых вскрышных пород, тыс. м <sup>3</sup>	Объём скальных вскрышных пород, тыс. м <sup>3</sup>	Объём вскрыши, тыс. м <sup>3</sup>	Кэфф. вскрыши, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
					тыс. м <sup>3</sup>					
1С1	7990	42,6	340	1,4	5,6	335	42,2	15,2	57,4	0,2
2С1	597	20,9	12	0	0,0	12	0	0	0	0,0
Итого С1			353		5,6	347	42,2	15,2	57,4	0,1
3С2	3305	42,0	139	0	0,0	139	30,7	17,8	48,5	0,3
4С2	20765	48,0	984	1	20,2	964	41	1	42	0,0
5С2	2441	48,0	117	0	0,0	117	0	0	0	0,0
Итого С2			1240	0,01	20,2	1220	71,7	18,8	90,5	0,1
Всего С1 + С2		45,7	1593	0,02	25,8	1567	113,9	34	147,9	0,1

Таблица 2 - Сводная ведомость результатов проведения специальной оценки условий труда

Наименование	Количество рабочих мест и численность работников, занятых на этих местах		Количество рабочих мест и численность занятых на них работников по классам (подклассам) условий труда из числа рабочих мест, указанных в графе 3 (единиц)						
	всего	в том числе на которых проведена специальная оценка условий труда	класс 1	класс 2	класс 3				класс 4
					3.1	3.2	3.3	3.4	
Рабочие места (ед.)	19	19	0	11	8	0	0	0	0
Работники, занятые на рабочих местах (чел.)	25	25	0	11	14	0	0	0	0
из них женщин	3	3	0	3	0	0	0	0	0
из них лиц в возрасте до 18 лет	0	0	0	0	0	0	0	0	0
из них инвалидов	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3 - Результаты проведения специальной оценки условий труда

Индивидуальный номер рабочего места	Профессия/должность/специальность работника	Классы (подклассы) условий труда														Итоговый класс (подкласс) условий труда	Итоговый класс (подкласс) условий труда с учетом эффективного применения СИЗ	Повышенный размер оплаты труда (да/нет)	Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск (да/нет)	Сокращенная продолжительность рабочего времени (да/нет)	Молоко и другие равноценные пищевые продукты (да/нет)	Лечебно-профилактическое питание (да/нет)	Право на досрочное назначение страховой пенсии (да/нет)	
		Химический	Биологический	Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	Шум	Инфразвук	Ультразвук воздушный	Вибрация общая	Вибрация локальная	Неионизирующие излучения	Ионизирующие излучения	Параметры микроклимата	Параметры световой среды	Тяжесть трудового процесса	Напряженность трудового процесса									
01	Директор	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	
02	Бухгалтер	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	
<b>ОП «Рудянское»</b>																								
03	Технический директор	—	—	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
04	Помощник руководителя	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
05	Главный энергетик	—	—	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
06	Главный механик	—	—	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
07	Помощник бухгалтера	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
08	Горный мастер	—	—	2	3.1	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	2	3.1	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
09	Машинист камнерезной машины	—	—	2	3.1	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	3.1	—	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
09А	Машинист камнерезной машины	—	—	2	3.1	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	3.1	—	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
09-01А (09А)	Машинист камнерезной машины	—	—	2	3.1	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	3.1	—	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
09-02А (09А)	Машинист камнерезной машины	—	—	2	3.1	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	3.1	—	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да

09-03А (09А)	Машинист камнерезной машины	—	—	2	3.1	—	—	—	2	—	—	—	—	3.1	—	3.1	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
09-04А (09А)	Машинист камнерезной машины	—	—	2	3.1	—	—	—	2	—	—	—	—	3.1	—	3.1	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
09-05А (09А)	Машинист камнерезной машины	—	—	2	3.1	—	—	—	2	—	—	—	—	3.1	—	3.1	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
10	Машинист крана	2	—	—	2	—	—	2	2	—	—	—	—	2	2	2	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
11	Машинист экскаватора	2	—	—	2	—	—	3.1	2	—	—	—	—	3.1	2	3.1	—	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
12	Водитель автомобиля	2	—	—	2	—	—	2	2	—	—	—	—	2	2	2	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
13	Электромонтер	—	—	2	2	—	—	—	2	—	—	—	—	2	—	2	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
14	Специалист по снабжению	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	2	—	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет

С целью определения условий труда работников на предприятии выполнены работы по специальной оценке условий труда (таблица 2). В результате установлено, что наиболее тяжелые условия труда по шуму и тяжести трудового процесса свойственны машинисту камнерезной машины и горному мастеру (таблица 3).

Для снижения шумовой нагрузки на горного мастера и возникновения профессиональной патологии рекомендуется организовать рациональный режим труда и отдыха с введением дополнительных регламентированных перерывов на отдых и проведением их в оптимальных акустических условиях. При работе использовать индивидуальные средства защиты органа слуха с должной акустической эффективностью.

С целью снижения шумовой нагрузки на машиниста камнерезной машины и возникновения профессиональной патологии рекомендуется также организовать рациональный режим труда и отдыха с введением дополнительных регламентированных перерывов на отдых и проведением их в оптимальных акустических условиях. При работе использовать индивидуальные средства защиты органа слуха с должной акустической эффективностью.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГОРНОГО МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СМОЛЫ НА УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ

ДЕМИН В.Ф.<sup>1</sup>, ДЕМИНА Т.В.<sup>2</sup>, КОЧНЕВА Л.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Отдельные участки горных выработок пересекают зоны перемятых пород и угля, в которых необходимо применять комбинированную крепь совместно с рамной либо полностью переходить на крепление последней, для закрепления за сводом естественного равновесия пород и со сшивкой переслаивающихся пород кровли. Также при отработке лав на мощных пластах для укрепления обрушившихся пород в верхнем слое, при нарушенных кровлях угольных пластов и переходе выработок необходимо упрочнение околоконтурных пород.

**Ключевые слова:** сооружение искусственных полостей в земной коре, угольные шахты, деформации, дефектность, средства и способы упрочнения; смолы; горнотехнологические условия разработки, деформационные процессы, параметры крепления, геомеханика, проявления горного давления, технологические схемы.

## APPLICATION OF TECHNOLOGY FOR ROCKS STABILIZATION USING POLYURETHANE TWO-COMPONENT RESIN AT A COAL MINE

DEMIN V.F.<sup>1</sup>, DEMINA T.V.<sup>2</sup>, KOCHNEVA L.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NAO "Abylka Saginov Karaganda Technical University"

<sup>2</sup>FGBOU VO "Ural State Mining University"

**Abstract.** Separate sections of mine workings intersect zones of crumpled rocks and coal, in which it is necessary to use a combined support together with a frame support or completely switch to fastening the latter, to secure the natural balance of rocks behind the arch and with stitching of interbedded roof rocks. Also, when working longwalls on thick seams to strengthen the collapsed rocks in the upper layer, with broken roofs of coal seams and the transition of workings, it is necessary to strengthen the near-contour rocks.

**Keywords:** construction of artificial cavities in the earth's crust, coal mines, deformations, defectiveness, means and methods of strengthening; resins; mining technology development conditions.

При обрушении пород кровли, отжиме и высыпания угля нарушается ритмичная работа очистных забоев, снижается добыча, ухудшается качество угля. Вынужденное применение механических способов предотвращений вывалообразований пород и удержания крепления подводящих выработок путем установки штанговых крепей, выкладки клетей и применения других мер требует дополнительных расходов материалов и связано с трудоемкими, сопряженными с опасностью травматизма горнорабочих [1-3].

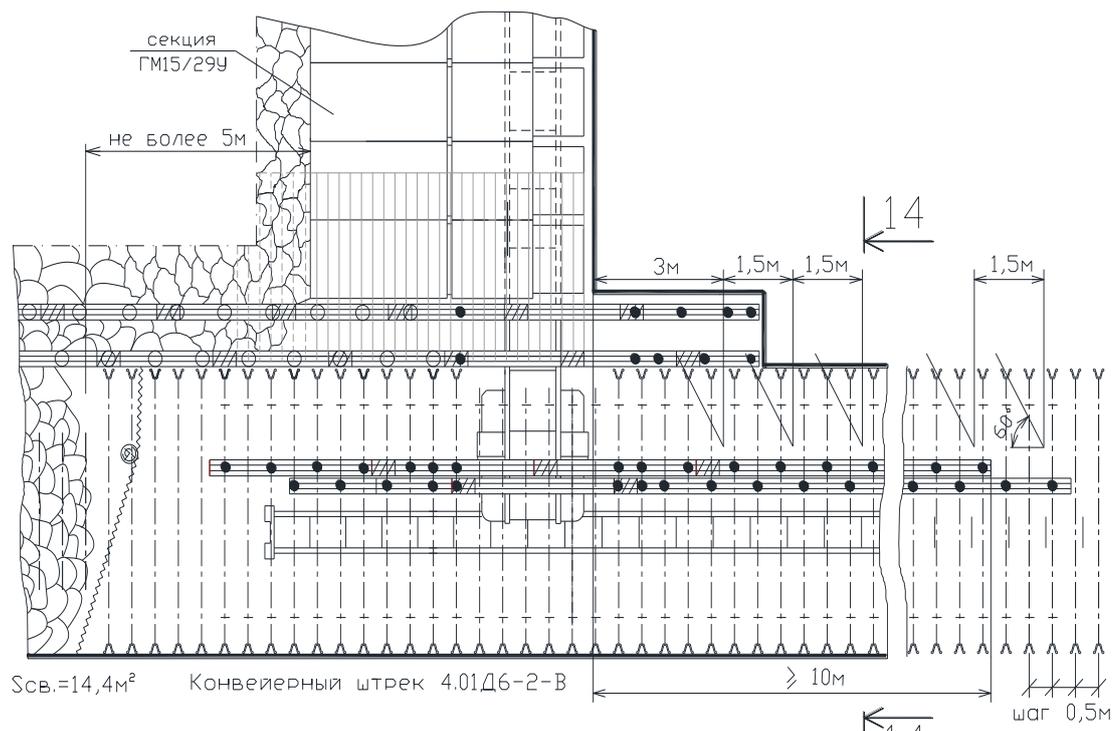
Решение этой задачи значительно облегчается с применением технологий укрепления трещиноватых пород и углей твердеющими химическими составами, на основе полиуретановых, фенольных и органоминеральных смол. Способ упрочнения пород химическими составами заключается в нагнетании компонентов в трещиноватый массив. В результате нагнетания образуется вспененная отвержденная масса, а возникающий при этом распорный эффект и высокая адгезия состава к породе и углю обеспечивает устойчивость массива. Пластичные свойства нагнетаемых смол препятствуют разрушению адгезионных связей при смещениях частей массива и приложенных к нему динамических нагрузок. По истечению 10 - 15 минут химический состав обретает рабочую прочность, при которой можно приступать к ведению подготовительных работ, а по истечению 1-3 часов (в зависимости от вида используемых смол) нагнетенный химический состав приобретает свои окончательные свойства и в зоне нагнетания можно производить выемку угля [4-6].

Технологии укрепления горных пород как направленного воздействия на горный массив, в результате которого улучшаются его прочностные и другие характеристики, уже многие годы известны и успешно используются как в горном деле во всем мире, так и на горных предприятиях [7-9].

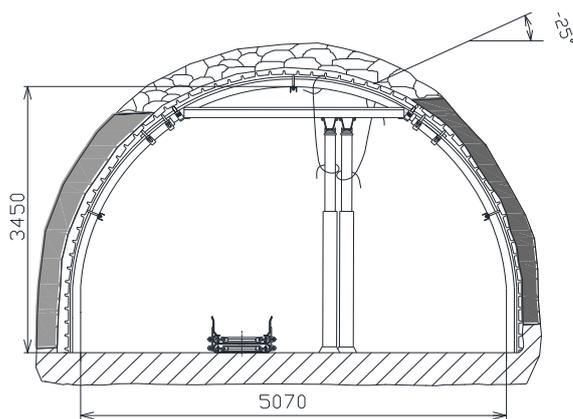
Наиболее распространённым способом укрепления горных пород обычно является закрепление массива анкерной крепью, так называемое «сшивание» слоев горного массива между собой металлическими, железобетонными, сталеполлимерными, полимербетонными и другими видами анкеров с одновременной цементацией, глинизацией, битумизацией горных пород и др. [10].

В последние годы особой популярностью пользуется наиболее перспективный и современный способ укрепления горных пород и повышения устойчивости массива трещиноватых горных пород - смолоинъекционное укрепление [11-12].

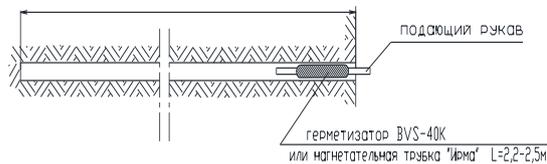
В лаве 231Ад<sub>6</sub>-2ю по нижнему слою мощного пласта д<sub>6</sub> производилось нагнетание смолы Беведол-Беведан в ослабленный горный массив на сопряжении лавы с вентиляционным штреком 231Ад<sub>6</sub>-2ю сечением 14,4 м<sup>2</sup> (рисунок 1) на шахте им. Ленина Карагандинского угольного бассейна.



а



б



в

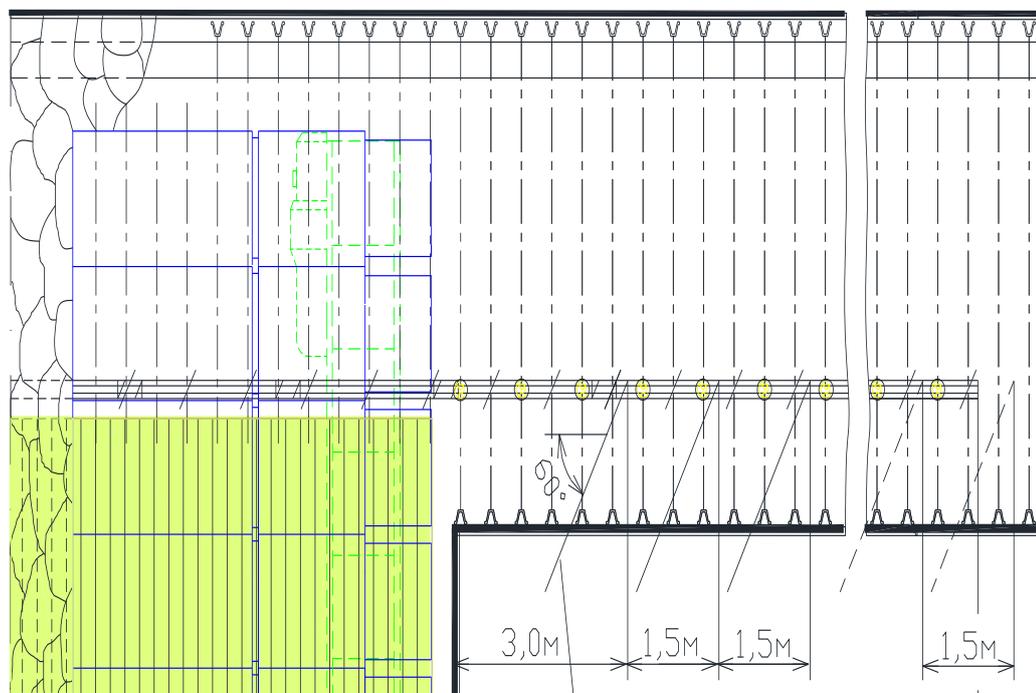
а–вид в плане; б–сечение конвейерного штрека; в–конструкция шпура под перфорированную трубку

Рисунок 1 – Технологический паспорт нижнего сопряжения лавы 4.01Д6-2в по нижнему слою мощного пласта д<sub>6</sub> для нагнетания смол в ослабленный горный массив на шахте им. Ленина

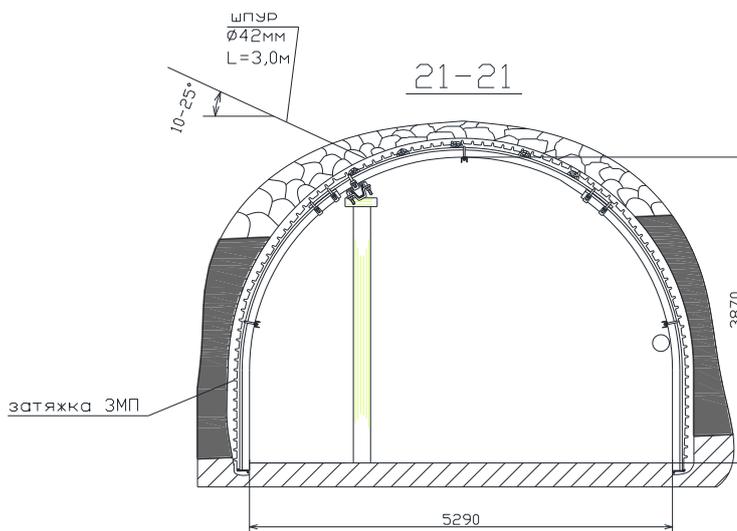
Все работы по химическому упрочнению неустойчивых пород осуществлялись из-под закрепленного пространства установленной металлоарочной крепи. Производилось заблаговременное бурение шпуров с расстоянием 1,5 м между ними. Для производства стабилизации и их химического упрочнения в ослабленную породу в разрыве между лавой и штреком в бока выработки с вентиляционного или конвейерного штрека 4.01Д6-2в в трещиноватые лежалые обрушенные породы верхнего слоя ранее отработанного мощного пласта д<sub>6</sub> электросверлом СЭР-19 или «Турмаг» бурился шпур диаметром 42 мм под углом 10

- 25° (в вертикальной плоскости) в борт выработки. По окончании бурения в шпур вводился герметизатор BSV-40К или инъекционная трубка «ИРМА» (длиной 2,2–2,5 м). К герметизатору крепился подающий рукав с принадлежностями (смеситель, запорная арматура).

Таким же образом производится закачка смолы на нижнем сопряжении с конвейерным штреком (рисунок 2).



а



б

а–вид в плане; б–сечение конвейерного штрека

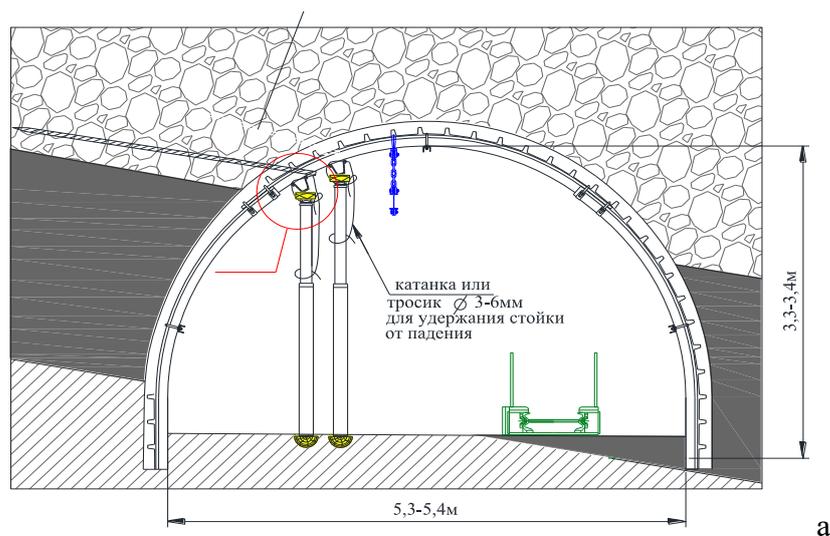
Рисунок 2 – Технологический паспорт нижнего сопряжения (с конвейерным штреком) лавы 4.01дб-2в по нижнему слою мощного пласта дб для нагнетания смол в ослабленный горный массив на шахте им. Ленина

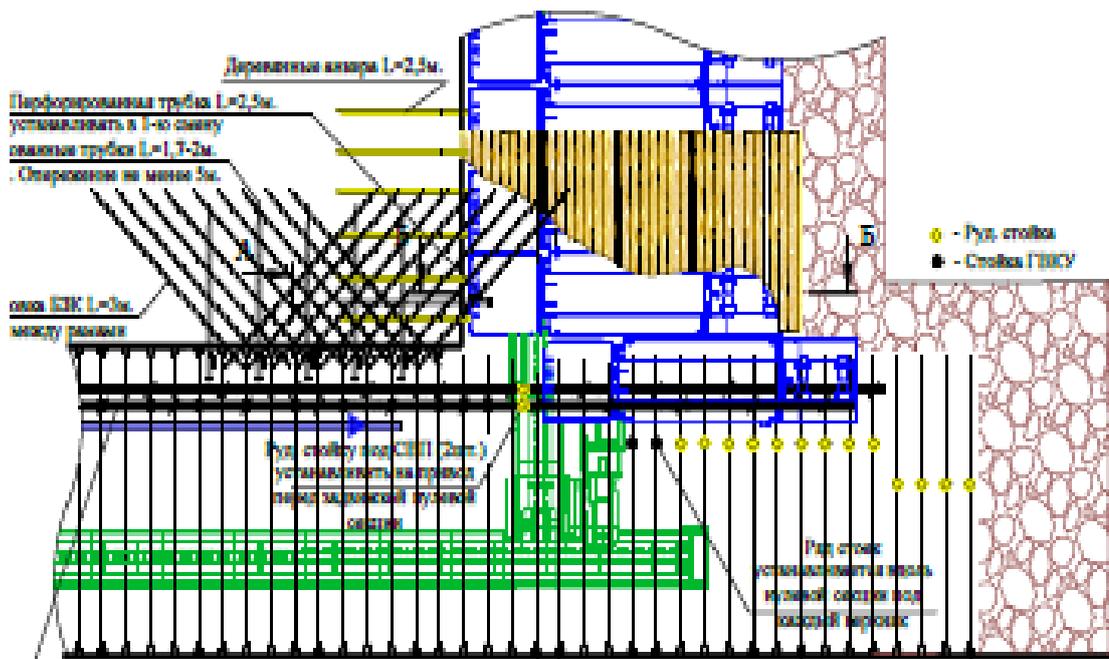
Для проверки и адаптации разработанных технологических решений в условиях лавы 312д<sub>6</sub>-2-3 на шахте «Казахстанская» применена двухкомпонентная полиуретановая смола.

Работы производились с целью обеспечения устойчивости горного массива (лежалых пород кровли) на сопряжении лавы с конвейерным штреком (рисунок 3: а–профиль сопряжения; б–план сопряжения; в–закачка в грудь забоя при его неустойчивом положении).

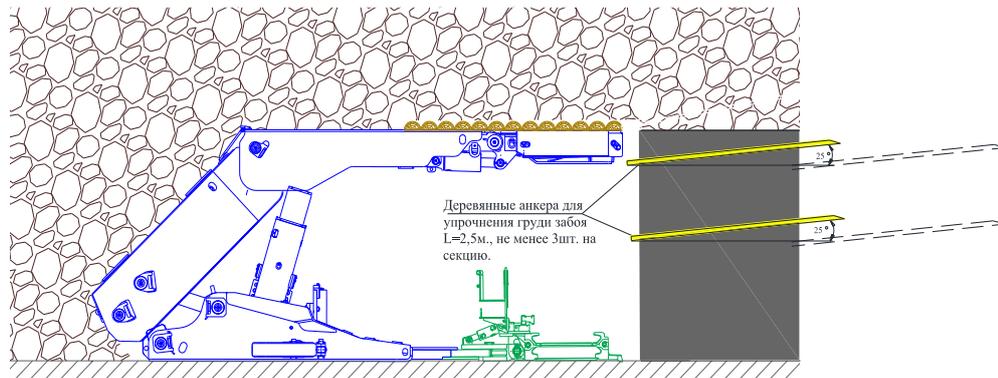
С конвейерного штрека 312д<sub>6</sub>-2-3 в сторону выемочного столба лавы через установленные перфорированные трубки длиной 1700 мм, забитые через один метр в разрушенный породный массив ранее отработанного верхнего слоя пласта д<sub>6</sub>, с помощью пневматического насоса СТДР-40 было произведено нагнетание двухкомпонентной полиуретановой смолы, по 48 кг в каждую трубку. Смола закачена в перфорированные трубки на пикетах ПК74+3,5м, +1,5м, ПК 73-ПК74. Всего было закачено 1840 кг полиуретановой смолы, в т.ч. 2 т–компонента В (вес каждого 25 кг) и 1,84 т–компонента А (вес каждого 20 кг); всего - 80 комплектов.

Установлены следующие эксплуатационные признаки смолы при закачке в разрушенный сухой породный массив (по результатам фотофиксации): закрепленная смолой масса горных пород неупругая (массивно-монолитная) и прочная; куски породы не отрываются от закрепленного массива; нагнетаемая смола в разрушенный массив за счет фактора вспенивания создает дополнительное напряжение в угольном массиве, повышая его прочность; хорошая адгезия к породной массе; после отрыва смола оставляет след на поверхности скрепляемой горной породы; образует устойчивый горный массив с нависанием прочных породных блоков; имеет место взаимодействие между смежными закаченными порциями смол через соседние перфорированные трубки.





б



в

а–профиль сопряжения; б–план сопряжения; в–закачка в грудь забоя при его неустойчивом положении

Рисунок 3 – Технология применения смолы на шахте «Казахстанская» в условиях лавы 312дб-2-з

Деревянные анкера сечением 27x27 мм, длиной 2,5 м со скошенными концами под 45° устанавливаются в грудь забоя для ее укрепления. Бурятся пневмосверлом (или электрическим) шпуром диаметром 42 мм и длиной 2,4 м, куда подаются три ПУР-патрона и перемешиваются 25 с (см. рисунок 3,в).

Ниже произведено сравнение смол в эксплуатации на шахте «Казахстанская» - таблица 1.

Таблица 1 - Сравнение смол в эксплуатации.

№	Признаки смол при эксплуатации (при закачке в разрушенный массив)	
	Беведол-Беведан	«БлокпурС»
1	Скрепленная смолой горная масса близка по свойствам к упруго-резиновому состоянию (тягучая, мягкая без прочности)	Закрепленная смолой масса горных пород неупругая (массивно-монолитная) и прочная; куски породы не отрываются от закрепленного массива; нагнетаемая смола в разрушенный массив за счет фактора вспенивания создает дополнительное напряжение в угольном массиве, повышая его прочность.
2	Менее активная адгезионная способность по отношению к горным породам в контакте	Хорошая адгезия к породной массе; после отрыва смола оставляет след на поверхности скрепляемой горной породы.
3	Не образует прочного монолита; породная скрепляемая масса горных пород достаточно рыхлая, тем более при влажных породах	Образует прочный породный скрепленный горный массив в разрыве между конвейерным штреком и 1-ой линейной секцией механизированной крепи длинного очистного забоя-лавы. Образует устойчивый горный массив с нависанием прочных блоков.
4	Расход смолы на один комплект, закачиваемый в одну перфорированную трубку со штрека составляет 65 кг.	Достигается снижение расхода на одну перфорированную трубку, т.к. закачиваемый комплект из 48 кг прочно скрепляет разрушенные породы.
5	Неудовлетворительное взаимодействие между смежными закаченными порциями смол через соседние перфорированные трубки	Имеет место взаимодействие между смежными закаченными порциями смол через соседние перфорированные трубки (предварительный вывод, необходимо уточнение).

Соответственно на рисунках 4 и 5 представлены: исходные компоненты А и В смолы, вспененная застывшая масса смолы, перемешанная (однородная - а) и не перемешанная (неоднородная - б), смоляная масса в шахтных условиях (рисунок 6).



а б

Рисунок 4 – Исходные компоненты А и В смолы



а

б

Рисунок 5 – Вспененная и застывшая масса смолы



а

б

Рисунок 6 – Перемешанная (а) и не перемешанная (б) загустевшая смолянная масса в шахтных условиях

Время начала и окончания вспенивания (при температуре 25°C) соответственно 93 – 107 и 125 – 160 с; фактор вспенивания 7,7 – 8,0. Для повышения качества перемешивания компонентов смолы рекомендуется применение смесителя.

Двухкомпонентная полиуретановая смола, обладает хорошей адгезией и высокими прочностными свойствами – рисунок 7.



а

б

а – при крупной фракции породы; б – при средней крупности фракции породы

Рисунок 7 – Образцы горных пород, скрепленных полиуретановой двухкомпонентной смолой «БлокпурС»

Проведенные работы в шахте позволили адаптировать и применить разработанные технологические решения при применении фенольной двухкомпонентной вспенивающейся смолы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузьмин С.В. Факторы и классификационные признаки, определяющие пучение / С.В. Кузьмин, И.А. Сальвассер // Вестник Кузбасского государственного технического университета: Кемерово. - 2014. -№ 3. - С. 43-44.
2. Кузьмин С.В. Поиск перспективных способов борьбы с пучением пород почвы в горных выработках шахт ОАО «СУЭК- Кузбасс» / С.В. Кузьмин, И.А. Сальвассер // Маркшейдерский вестник: Гипроцветмет. - 2014. - № 3. - С. 39-43.
3. Кузьмин С.В. Механизм развития пучения пород почвы и способы борьбы с ним / С.В. Кузьмин, И.А. Сальвассер, С.А. Мешков // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. - М.: Горная книга. - 2014. -№ 3. - С. 120-126.
4. Бадтиев Б.П. Исследования на моделях из эквивалентных материалов эффективности способов борьбы с пучением путем изменения формы поперечного сечения выработок // Б.П. Бадтиев, И.А. Сальвассер, С.В. Кузьмин / Маркшейдерский вестник: Гипроцветмет. - 2015. - № 4. - С. 51-55.
5. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock Mechanics for underground mining. –Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. - 628 p.

6. Laubscher D.H. and Jakubec J., The IRMR/MRMR Rock Mass Classification System for Jointed Rock Masses // SME. – 2000. – P. 475-481.
7. Hudson J.A., Harrison J.P. Engineering Rock Mechanics: an introduction to the principles and applications. – London: Elsevier Science, 1997. – 150 p.
8. Цай Б.Н., Бахтыбаев Н.Б. Выбор конструкций крепей горных выработок и определение их параметров в угольных шахтах // Горный журнал Казахстана. – Алматы: 2008. № 1 (37).– С. 14 – 17.
9. Новиков А.О., Сахно И.Г., Гладкий С.Ю., Шестопапов И.Н. Шахтные исследования особенностей деформирования заанкерowanego массива // Школа геомеханики-2007.– Донецк: ДонНТУ.–2007.–С.53-58.
10. Александров С.Н., Касьян Н.Н., Новиков А.О., Шестопапов И.Н. Деформирование породного массива, вмещающего подготовительные выработки с анкерным креплением//Горная книга.–2012.–С.125-134.
11. Клишин Н.К. Геомеханическое обеспечение горных работ: Задачник. – Алчевск: ДонГТУ, 2005. - 130 с.
12. Novikov A.O., Gladkyy S.Yu., Shestopalov I.N. On the peculiarities of deformation of the rock mass that accommodates preparatory workings with anchorage. Izvestia Donetsk Mining Institute, Donetsk: DonNTU, 2008, №1, pp.120-129 (in Russian)

## НАРУШЕННЫЙ ГОРНЫЙ МАССИВ ДЛЯ УСЛОВИЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

ДЕМИН В.Ф.<sup>1</sup>, ДЕМИНА Т.В.<sup>2</sup>, КОЧНЕВА Л.В.<sup>2</sup> ТЕТЕРЕВ Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»

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

**Аннотация.** Отдельные участки горных выработок пересекают зоны перемятых пород и угля, в которых необходимо применять комбинированную крепь совместно с рамной либо полностью переходить на крепление последней, для закрепления за сводом естественного равновесия пород и со сшивкой переслаивающихся пород кровли. Также при отработке лав на мощных пластах для укрепления обрушившихся пород в верхнем слое, при нарушенных кровлях угольных пластов и переходе выработок необходимо упрочнение околосконтурных пород.

**Ключевые слова:** сооружение искусственных полостей в земной коре, угольные шахты, деформации, дефектность, средства и способы упрочнения; смолы; горнотехнологические условия разработки, деформационные процессы, параметры крепления, геомеханика, проявления горного давления, технологические схемы.

## TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR INJECTING POLYMER RESINS INTO DISTURBED MOUNTAINS FOR COAL MINE CONDITIONS

DEMINS V.F.<sup>1</sup>, DEMINA T.V.<sup>2</sup>, KOCHNEVA L.V.<sup>2</sup>, TETEREV N.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NAO "Abylkas Saginov Karaganda Technical University"

<sup>2</sup>FGBOU VO "Ural State Mining University"

**Abstract.** Separate sections of mine workings intersect zones of crumpled rocks and coal, in which it is necessary to use a combined support together with a frame support or completely switch to fastening the latter, to secure the natural balance of rocks behind the arch and with stitching of interbedded roof rocks. Also, when working longwalls on thick seams to strengthen the collapsed rocks in the upper layer, with broken roofs of coal seams and the transition of workings, it is necessary to strengthen the near-contour rocks.

**Keywords:** construction of artificial cavities in the earth's crust, coal mines, deformations, defectiveness, means and methods of strengthening; resins; mining technology development conditions.

Большой опыт по применению полимерных смол для укрепления слабых участков в массиве горных пород имеется в зарубежной практике, в частности, в Германии, Польше,

Австралии и др. Полимерные смолы применяются для устранения конвергенции, укрепления почвы в рыхлых породах, опережающего крепления горных выработок, заполнения пустот (куполов) в тоннелестроении, на рудниках и шахтах [1-3].

Наиболее перспективным материалом для упрочнения массива горных пород являются полиуретановые смолы. Они представляют собой материал, образующийся в результате реакции полиизоциантов с полиольными смолами [4-6]. До смешивания компоненты представляют собой жидкости со сравнительно низкой вязкостью; при соединении компоненты некоторое время сохраняют свойства текучести, затем состав твердеет с увеличением в объеме. Основными достоинствами полиуретанов является большая прочность, низкая молекулярная дисперсность, позволяющая составу проникать в трещины с шириной раскрытия менее 0,01 мм, высокая прочность адгезионной связи пограничного слоя «полимер - горная порода», высокий коэффициент вспенивания (от 1,5 до 8), низкая токсичность и приемлемое (от 3 до 45 мин) время гелеобразования. Обладая высокой проникающей способностью, упрочняющий состав, при нагнетании его под высоким давлением, заполняет 90 – 95 % всех имеющихся в массиве трещин. Затвердевший полиуретан обладает остаточной пластичностью, что дает возможность упрочняемому массиву деформироваться без разрушения и выдерживать сейсмические нагрузки. Вспениваясь, полиуретан создает дополнительный распорный эффект, что повышает связи между блоками массива и улучшает его прочностные свойства.

Следует отметить, что опыта работ по упрочнению массива путем инъекций смол в Казахстане и странах СНГ на сегодняшний день недостаточно, тем более нет исследований с учетом напряженно-деформированного состояния неустойчивых пород и методик расчета их параметров в производственной практике. Эта проблема требует дополнительных теоретических и промышленно - экспериментальных исследований.

В практике смолоинъекционного упрочнения горных пород различают три схемы инъектирования массива: предварительное, опережающее горно-проходческие работы, одновременное и последующее.

Предварительно горные породы укрепляют до проведения в них горных выработок или до начала добычных работ, что должно заблаговременно обеспечить благоприятные и безопасные условия ведения горных работ. Одновременное укрепление выполняют в процессе проведения выработок, и оно входит в состав проходческого цикла. Последующее укрепление применяют для упрочнения горных пород после того, как выработки уже пройдены.

Инъекционные составы в массив обычно нагнетают насосами, развивающими давление от 3 до 30 МПа.

Наиболее широко укрепление трещиноватых массивов с помощью инъекций составов на основе синтетических смол используют при разработке угольных месторождений [7-9].

На угольных шахтах эти методы применяются для повышения устойчивости кровли очистных забоев, сопряжений лав со штреками, межслоевых пачек при разработке мощных пологих пластов (рисунок 1), кровель и нависающих угольных массивов при упрочнении кровли монтажных камер (рисунок 2), повышения устойчивости горных пород в лавах (рисунок 3), в зонах геологических нарушений (в том числе под- и надработки пластов), переходах одних выработок другими и прочих ослабленных зон. При разработке месторождений нагнетание укрепляющих составов в породный массив позволяет упрочнять локальные и крупные участки трещиноватых массивов.

Эффективность применения полимерных составов для повышения устойчивости трещиноватых пород определяется, прежде всего, прочностью адгезионной связи пограничного слоя полимер - горная порода.

Смолами могут быть упрочнены трещиноватые массивы со средне- и мелкоблочной структурой, слабым взаимным зацеплением отдельностей размером до 0,5 м, интенсивностью трещиноватости от 0,1 мм/м и более, шириной раскрытия трещин от 0,01 мм, удельным водопоглощением от 0,01 л/мин и выше, реометрической проницаемостью пород от 0,15 МПа/(м\*мин) и выше.

Наибольший упрочняющий эффект обеспечивают полимерные смолы, обладающие гомогенной структурой и высокой проникающей способностью, лучшей адгезией с породами при отверждении. Поэтому они могут считаться наиболее перспективными при решении задач повышения устойчивости горных пород способом инъекционного упрочнения. Из всех полимерных смол для этой цели наиболее эффективными являются полиуретановые и карбамидные смолы.

Однако при всех достоинствах упрочнения породной кровли пластовых выработок синтетическими смолами, широкое применение данных смол сдерживается очень высокой ценой на данные средства, а также их высокой токсичностью. Недостатками также является необходимость применять специальное оборудование для осуществления транспортировки, хранения, приготовления и нагнетания [10-11].

Вследствие всего вышеизложенного в текущее время для упрочнения кровли пластовых выработок, наряду с применением синтетических смол, интерес также представляет использование более дешёвых, доступных и нетоксичных цементных растворов.

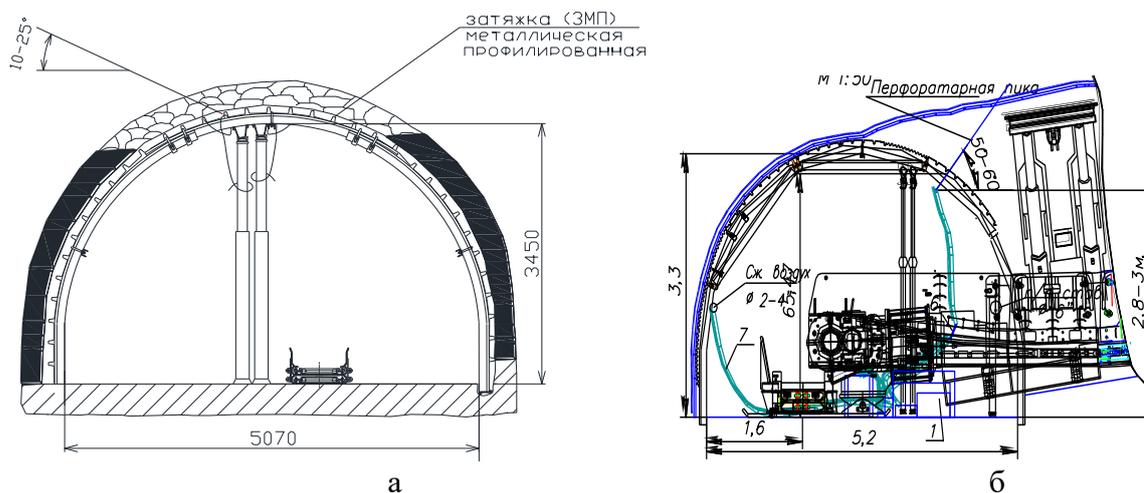


Рисунок 1 – Химическое укрепление сопряжения лавы при отработке нижнего слоя мощного пласта Карагандинского угольного бассейна

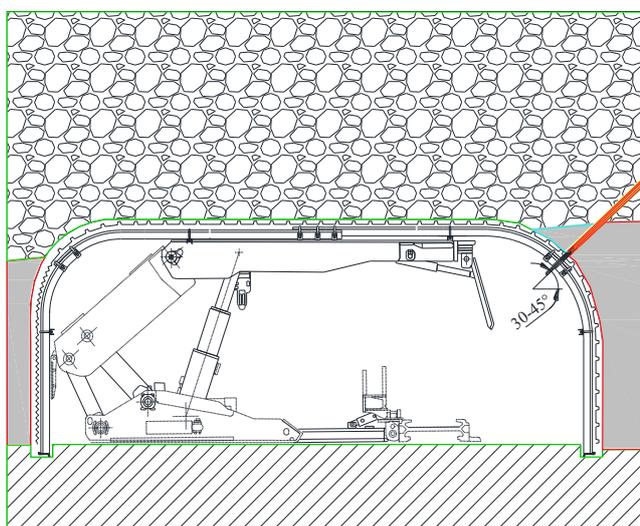


Рисунок 2 – Технологическая схема химического упрочнения монтажной камеры 4.04д<sub>6</sub>-2-3 шахты им. Ленина Карагандинского угольного бассейна

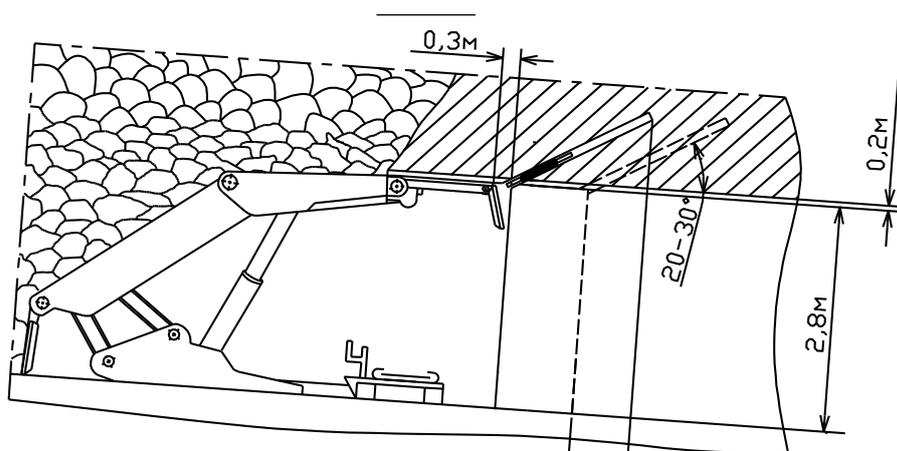
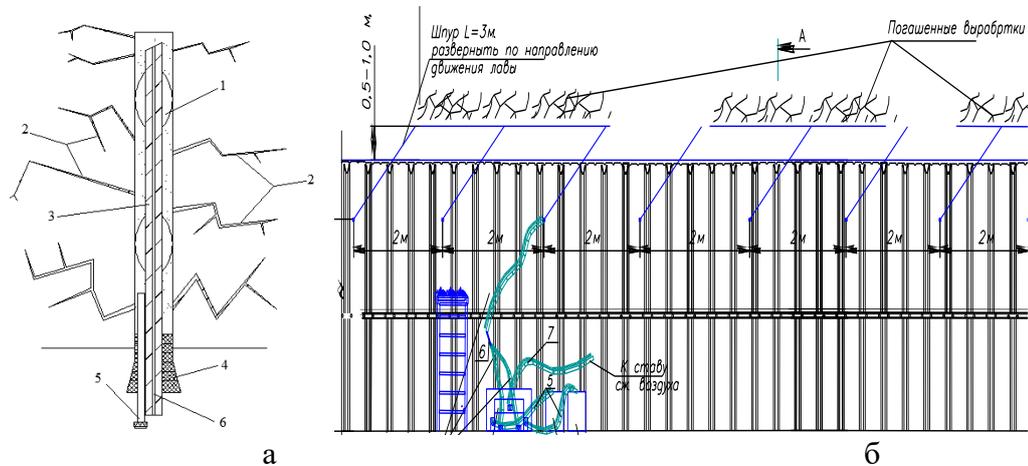


Рисунок 3 – Химическое упрочнение пород кровли очистного забоя 4.01д<sub>6</sub>-1-в шахты им. Ленина

При неустойчивой кровле пластовых выработок Карагандинского угольного бассейна эффективными средствами закрепления являются инъекционные анкера с синтетическими

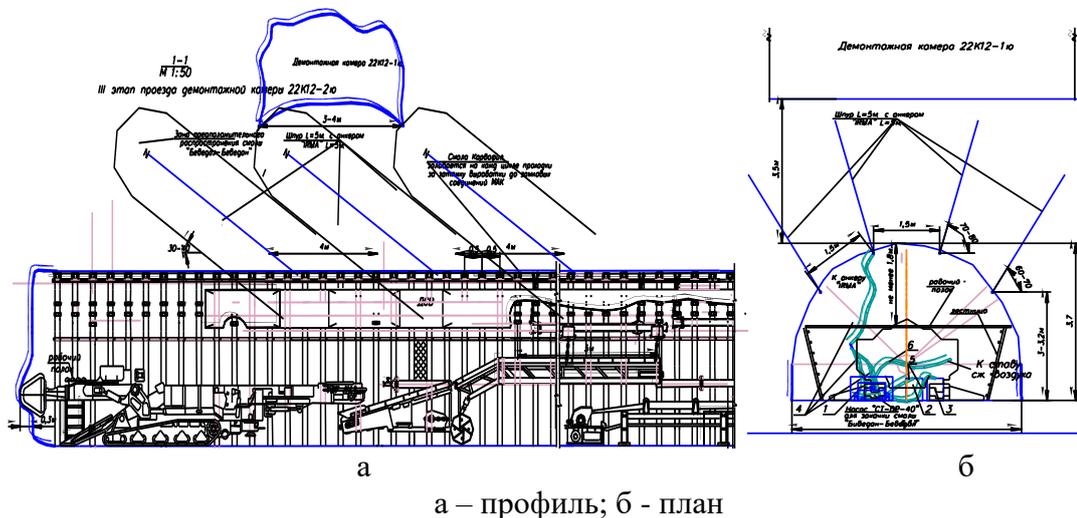
смолами. На рисунке 4 изображен инъекционный анкер для упрочнения неустойчивой кровли выработок, позволяющий обеспечить безремонтное поддержание как на участках вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ.



1 – пружинная коробчатая распорка; 2 – трещина; 3 – анкер с внутренней трубой; 4 – герметизатор скважины; 5 – инъекционная трубка со штуцером; 6 – выпуск воздуха через внутреннюю трубу

Рисунок 4– Конструкция инъекционного анкера (а) и нагнетание через него смолы (б)

Реализация данного технологического решения осуществлено в паспортах крепления в виде способа крепления выработки при проходе под ранее пройденной - рисунок 5, посредством нагнетания химической смолы через анкера «Ирма» - шахта им. Костенко, пласт К12.



а – профиль; б - план  
Рисунок 5 – Способ крепления выработки при проходе под ранее пройденной монтажной камерой

Также применение в способе крепления неустойчивых боков выработки нижнего слоя, поддерживаемой позади лавы при отработке мощного пласта. Способ крепления неустойчивых боков выработки нижнего слоя, поддерживаемой позади лавы при отработке

мощного пласта – рисунок 6 (посредством анкеров «Ирма» или перфорированных пик - шахта им. Костенко, пласт К12.

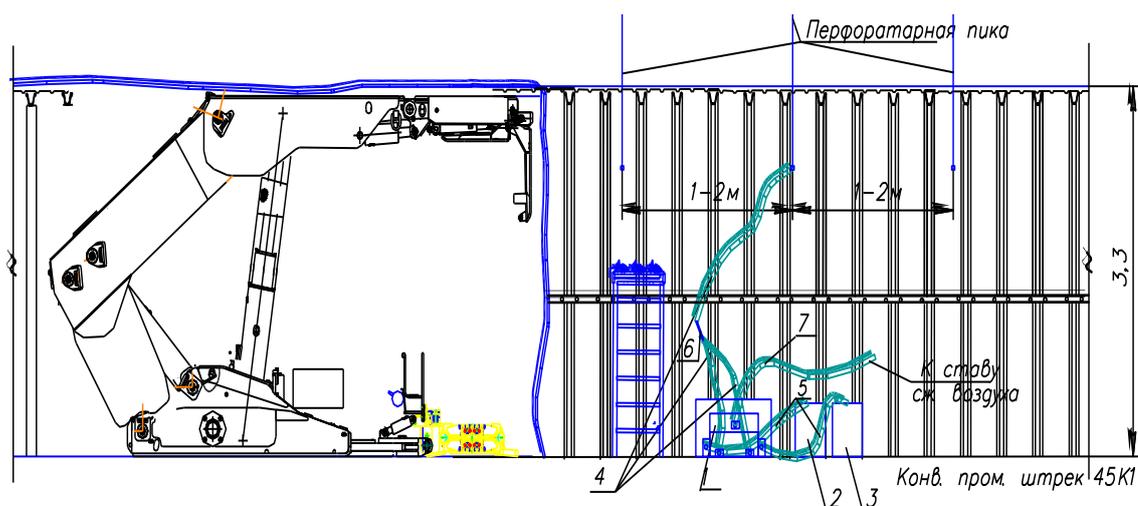


Рисунок 6 – Способ крепления неустойчивых боков выработки нижнего слоя, поддерживаемой позади лавы при отработке мощного пласта

Одной из основных задач, которые необходимо решить при совершенствовании технологии инъецирования полимерных смол в нарушенный горный массив является повышение устойчивости и стабилизации горного массива при производстве технологических процессов, например, при выезде очистного комбайна на сопряжение лавы, для чего предлагается ниже представленный способ крепления кровли горной выработки.

Известен способ крепления выработки (Широков А.П., Лидер В.А., Писляков Б.Г. Расчет анкерной крепи для различных условий применений. М., «Недра». 1976.-208с.), который заключается в установке анкеров под различными углами и укрепления пород кровли, боков и почвы выработки.

Недостатком данного способа крепления является то, что при использовании в обрушенных породах, смола не заполняет все трещины и не образует системы крепления. Задача заключается в укреплении пачки пород кровли в примыкающей к лаве выработки.

Использование данного способа позволяет бесперебойно вести очистные работы, затрачивая минимальное время на концевые работы, что позволяет увеличить нагрузку на выемочный участок.

Исходная проблема наблюдается при слоевой отработке мощного пласта: при подходе комбайна к сопряжениям и выемки граничащей части лавы с примыкающей выработкой, происходит обрушение кровли – это обуславливается плохой слеживаемостью.

Способ крепления разрыва между примыкающей выработкой и лавой, включающий бурение шпуров в бок (в кровлю) выработки, установкой перфорированных трубок с подачей через них закрепляющих смол в ослабленный нарушенный породный массив для заполнения трещин и упрочнения пород, и отличающийся тем, что для стабилизации неустойчивой

породной пачки в этой зоне, перфорированные трубки устанавливают в кровлю в середине примыкающей выработки под углом 10-20° к горизонтальной плоскости. При бурении шпура стоит учитывать факт: чем положе угол тем, укрепляется большая часть пород в контакте с кровлей.

На рисунке 7,а представлен поперечный разрез выработки закрепленной данным способом (1–непосредственная почва выработки; 2–нижний слой мощного угольного пласта; 3–непосредственная кровля выработки (обрушенные породы кровли выработки); 4–основная кровля выработки; 5, 6– стойка и верхняк металлической крепи; 7–бесконечный усиливающий линейный профиль из СВП (специальный взаимозаменяемый профиль); 8 – гидростойка; 9–нагнетательные шланги; 10–насос; 11–шпур; 12–рештак перегружателя скребкового; 13–затяжка типа ЗМП, 14–зона химического упрочнения пород.

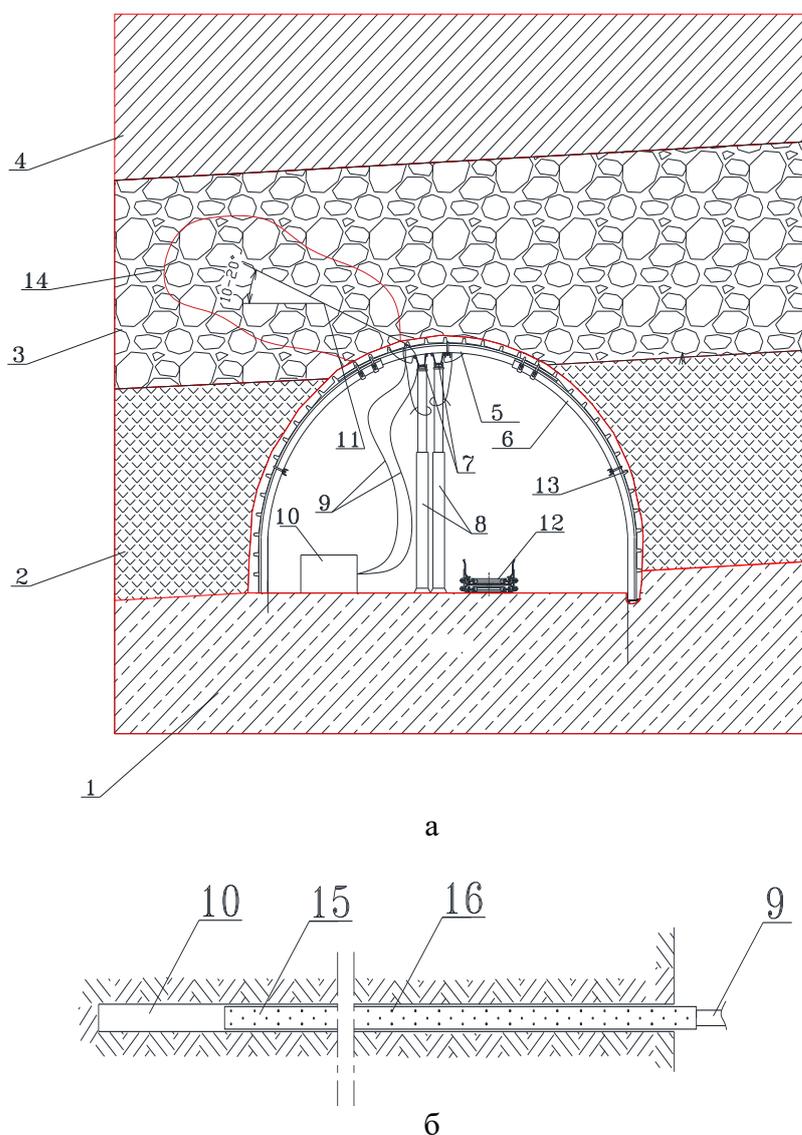


Рисунок 7 – Способ крепления примыкающих горных выработок к лаве при отработке мощного пласта

На рисунке 7,б показана конструкция шпура (15– перфорированная труба, 16 - отверстия для перфорации).

Для использования данного способа крепления выполняется следующий ряд действий: бурится шпур 11 заданной длины в непосредственную кровлю выработки, после чего в шпур 11 устанавливается перфорированная труба 15. Далее при помощи насоса 10 через нагнетательные шланги 9 подается смола в перфорированную трубку 15, после чего смолы распределяется через отверстия для перфорации 16.

Техническое решение относится к способу крепления примыкающих горных выработок к лаве, для упрочнения массива и приданию большей прочности породам кровли.

Разрабатываемый выбор способа и определение параметров упрочнения неустойчивой кровли в очистных забоях угольных шахт позволят управлять геомеханическими процессами для того, чтобы избежать образование зон с избыточным напряженно-деформированным состоянием горного массива для повышения устойчивости и снижения дефектности горного массива.

Рекомендована технология по упрочнению неустойчивых пород в зоне обрыва кровли в лаве, которая позволит повысить устойчивость породных обнажений с учетом горно-геологических условий и горнотехнических факторов эксплуатации.

В статье представлен порядок выбора способа обеспечения устойчивости пород кровли и определения его основных параметров в сложных горно-геологических условиях при наличии неустойчивых массивов благодаря их комплексному воздействию при его закреплении.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Seedsman R. Review of anchoring in the mines of Karaganda / ArcelorMittal, 2012. - 35 p.
2. Instructions for the calculation and use of anchor bolting in the coal mines of Kuzbass. - St. Petersburg: JSC "VNIIIM", 2013. - 150 p.
3. Huber O. Development and supply of digital modeling tools. Commercial offer. - Karaganda, 2013. - 10 p.
4. Katsaga T.Ya. Modeling the state of workings in the tunneling and in the zone of influence of the clearing work FLAC 3D. Commercial offer (USA). - Karaganda, 2014. - 10 p.
5. Bondarenko V.I., Kovalevskaya I.A., Simanovich G.A. and others. Experimental studies of the stability of reused excavation workings on the gentle layers of the Donbass. Dnepropetrovsk. TOV "LizunovPres", 2012. – 426 p.

6. Lushnikov V.N., Eremenko V.A., Sandy M.P. et al. Mounting of mine workings in conditions of deformable and impact-prone rock massifs. - Mining Journal, No. 4, 2014. - P. 37-43.
7. Eremenko V.A., Lushnikov V.N., Sandy M.P., Milkin D.A., Milshin E.A. Justification and choice of technology, methods of supporting and maintenance of mine workings in unstable rocks of the deep horizons of the Kholbinsky mine. - Mining Journal, No. 7, 2013. - pp. 59-67.
8. Zubov V.P. Status and directions of improvement of systems for the development of coal seams at promising coal mines in Kuzbass. Notes of the Mining Institute. 2017. V. 225. S. 292-297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292
9. Zubov V.P. Modern technologies and actual problems of resource saving in underground mining of reservoir deposits of minerals. Mining magazine. No. 6, 2018. - p. 77-82.
10. Zubov V.P., Smychnik A.D. Reducing the risks of potash mines flooding in case of groundwater breakthroughs into mine workings. Notes of the Mining Institute, V.215, 2015. - P. 29-37.
11. Demin V.F., Nemova N.A., Demina T.V., Karataev A.D. Deformation of host rocks around mine workings depending on influencing factors. Scientific Bulletin of NSU (Dnepropetrovsk, Ukraine), Scientific and Technical.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СМОЛОУПРОЧНЕНИЯ ОСЛАБЛЕННЫХ ГОРНЫХ МАССИВОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

ДЕМИН В.Ф.<sup>1</sup>, ДЕМИНА Т.В.<sup>2</sup>, ТЕТЕРЕВ Н.А.<sup>2</sup>, БАТАНИН Ф.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** Отдельные участки горных выработок пересекают зоны перемятых пород и угля, в которых необходимо применять комбинированную крепь совместно с рамной либо полностью переходить на крепление последней, для закрепления за сводом естественного равновесия пород и со сшивкой переслаивающихся пород кровли. Также при отработке лав на мощных пластах для укрепления обрушившихся пород в верхнем слое, при нарушенных кровлях угольных пластов и переходе выработок необходимо упрочнение околоконтурных пород.

**Ключевые слова:** сооружение искусственных полостей в земной коре, угольные шахты, деформации, дефектность, средства и способы упрочнения; смолы; горнотехнологические условия разработки, деформационные процессы, параметры крепления, геомеханика, проявления горного давления, технологические схемы.

## TECHNOLOGICAL SCHEME FOR RESIN STRENGTHENING OF WEAKENED ROCKS DURING CLEANING AND PREPARATORY WORK

DEMINS V.F.<sup>1</sup>, DEMINA T.V.<sup>2</sup>, TETEREV N.A.<sup>2</sup>, BATANIN F.K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NAO "Abylkas Saginov Karaganda Technical University"

<sup>2</sup>FGBOU VO "Ural State Mining University"

**Abstract.** Separate sections of mine workings intersect zones of crumpled rocks and coal, in which it is necessary to use a combined support together with a frame support or completely switch to fastening the latter, to secure the natural balance of rocks behind the arch and with stitching of interbedded roof rocks. Also, when working longwalls on thick seams to strengthen the collapsed rocks in the upper layer, with broken roofs of coal seams and the transition of workings, it is necessary to strengthen the near-contour rocks.

**Keywords:** construction of artificial cavities in the earth's crust, coal mines, deformations, defectiveness, means and methods of strengthening; resins; mining technology development conditions.

Решению проблемы повышения эффективности крепления горных выработок посвящены работы многих исследователей. Большие научные изыскания проводились в области создания новых технологий проведения и крепления горных выработок. Однако, большинство этих исследований носили немасштабный характер и были ограничены благоприятными горно-геологическими условиями.

К аномальным относятся участки выработок, находящиеся в зонах: повышенной трещиноватости вмещающих пород и угля; повышенной обводненности вмещающих пород и угля; повышенного горного давления на подработанных или надработанных пластах свиты; на пластах опасных, угрожаемых, а также несклонных к горным ударам и внезапным выбросам угля(породы) и газа; в ненарушенном массиве; в зонах влияния пликтивных и дизъюнктивных нарушений; вне зон и в зонах влияния очистного выработанного пространства и др.

К факторам, которые влияют на возможность применять смолоукрепление системы при проведении подготовительных выработок относятся: прочность вмещающих породах; размер зон опасных деформаций породы вокруг горных выработок; величина смещений горных пород, находящихся в кровле, величина конвергенции, срок службы выработки, а также предельная величина безопасного смещения (опускания) пород кровли, закреплённых в горной выработке.

Решение этой задачи значительно облегчается с применением технологий укрепления трещиноватых пород и углей твердеющими химическими составами, на основе полиуретановых, фенольных и органоминеральных смол. Способ упрочнения пород химическими составами заключается в нагнетании компонентов в трещиноватый массив. В результате нагнетания образуется вспененная отвержденная масса, а возникающий при этом распорный эффект и высокая адгезия состава к породе и углю обеспечивает устойчивость массива. Пластичные свойства нагнетаемых смол препятствуют разрушению адгезионных связей при смещениях частей массива и приложенных к нему динамических нагрузок. По истечению 10 - 15 мин. химический состав обретает рабочую прочность, при которой можно приступать к ведению подготовительных работ, а по истечению 1 - 3 часов (в зависимости от вида используемых смол) нагнетенный химический состав приобретает свои окончательные свойства и в зоне нагнетания можно производить выемку угля.

В последнее время при ведении горных работ в угольных пластах, ослабленных трещиноватостью, и в зонах геологических нарушений, все большее распространение получает способ повышения их устойчивости нагнетанием укрепляющих растворов на основе синтетических смол. Это ведет к увеличению эффективности и безопасности ведения горных работ, и снижению потерь угля в недрах.

Затвердевшая смола обладает остаточной пластичностью, что дает возможность упрочняемому массиву деформироваться без разрушения и выдерживать нагрузки горного давления. Вспениваясь, смола создает дополнительный распорный эффект, что повышает связи между блоками массива и улучшает его прочностные свойства [1 - 4].

Технология упрочнения горного массива. Упрочнение горного массива - технология предупреждающая возникновение аварийных ситуаций в следующих случаях: горно-геологические нарушения; «заколы», возникающие на контакте угля и пород кровли, вызванные длительными остановками лавы и недостаточной скоростью подвигания очистного забоя; неблагоприятное расположение фронта лавы по отношению к кливажу; несоответствие типа крепи данным горно-геологическим условиям.

Для устранения негативных последствий нарушений кровли необходимо: закрепить кровлю; пробурить шпуров диаметром 42 мм и длиной не менее 2,5 м на протяжении обрушения; количество шпуров зависит от мощности пласта. Обычно по обеим границам нарушенной зоны бурятся шпуров по вертикальному ряду, на расстоянии до 1,0 м друг от друга; в подготовленные шпуров вводятся инъекционные анкера, на конец анкера накручивается адаптер с Т-образным фитингом, к нему подключаются два шланга диаметром 10 мм по которым закачивают смолу и катализатор (отвердитель) пневматическим или гидравлическим насосом.

Расход двух компонентов смолы на один шпур составляет не более 1 комплекта (58-65 кг). Угол наклона шпуров выбирается в зависимости от мощности нарушенных пород, от характера их трещиноватости, они должны быть ориентированы в крест простирания основного направления трещин. При малой трещиноватости и небольшой мощности нарушенной кровли (до 1,5 м) угол наклона  $10^{\circ}$ , при развитой трещиноватости и мощности нарушенных пород свыше 1,5 м под углом 20 -  $25^{\circ}$ . Расстояние между шпуров определяется экспериментальным путем из условия минимальных затрат труда на укрепление неустойчивого массива.

В основу фильтрационных методов расчета параметров нагнетания положено представление о распространении укрепляющих растворов на основе синтетических смол в угольном массиве, как трещиновато-пористой среде.

Для применения стабилизирующего воздействия смолами необходимо определение области эффективного применения укрепления угольного массива растворами на основе синтетических смол, определение толщины укрепляемой зоны, определение давления нагнетания, гидравлических параметров угольного массива, технологических параметров укрепления [5 - 7].

Ниже изложены основные подходы для определения параметров эксплуатации комплексов для нагнетания смолоукрепляющих смесей.

Область эффективного применения укрепления угольного массива растворами на основе синтетических смол. В настоящее время укрепление угольного массива синтетическими смолами применяется при вскрытии выбросоопасных пластов, проходке пластовых горных выработок и отработке пластов в зонах геологических нарушений. Кроме этого, синтетические смолы инъецируют в угольные пласты с целью блокировки газов пылеподавления.

Прочность укрепленного угольного массива определяется его начальной прочностью, прочностью отвержденного инъецируемого раствора и его количеством в единице объема массива. Верхнюю техническую границу применения этого способа определяют из условия обеспечения устойчивости укрепленного угольного массива вокруг выработки.

Определение толщины укрепляемой зоны. Толщину минимальной зоны укрепления определяют в зависимости от ширины зоны неупругих деформаций, формы и размеров поперечного сечения горной выработки, физико-механических свойств укрепленного угольного массива, проявлений горного давления.

Определение давления нагнетания. Определяется максимальное и активное давления нагнетания. Расчет дополнительных потерь давления, возникающих при удалении насосной установки от нагнетательной скважины и из-за наличия резких перепадов сечений и изгибов, подводящих трубопроводов и шлангов, осуществляют согласно законам гидравлики.

Определение гидравлических параметров угольного массива осуществляют перед производством работ, на основе результатов опытного нагнетания на участке, подлежащим укреплению. Нагнетание производят через скважину с диаметром и длиной более 5,0 м. В опытную скважину нагнетают укрепляющий раствор при проектных значениях концентрации, времени схватывания и давления. Нагнетание производят до момента снижения относительного темпа нагнетания на 15÷20 %. Определяется количество раствора, нагнетаемое в скважину и производят отбор проб укрепленного угля на расстоянии 0,05 – 0,2 м от нагнетательной скважины и неукрепленного угля. В результате определения плотности и зольности укрепленного угля и зольности чистого угля, рассчитывают максимальный удельный расход с установлением приведенных радиуса скважины, расхода, времени нагнетания (радиальный поток).

Определение технологических параметров укрепления. При проектировании и производстве работ по укреплению угольного массива, приходится решать следующие основные задачи. При заданном (исходя из горнотехнических условий) расстоянии между скважинами или размерами зон эффективного укрепления, которые необходимо получить,

определяются количество необходимого раствора, время нагнетания, зону укрепления и количество необходимого раствора.

При укреплении слабонарушенных мощных угольных пластов, необходимо учитывать их анизотропию. С учетом анизотропных свойств зона распространения раствора будет иметь форму эллипса.

Основными технологическими параметрами при укреплении угле-породного массива химическими растворами являются длина и расстояние между скважинами (шпурами), давление и время нагнетания и т. д.

При разработке угольных месторождений в окружающих очистной забой породах и угле происходит перераспределение напряжений с концентрацией их в отдельных зонах. Для обеспечения устойчивости обнажений должно быть соблюдено неравенство

$$R_{szh} \geq \gamma * H * K , \quad (1)$$

где  $R_{szh}$  – предел прочности пород непосредственной кровли при одноосном сжатии МПа;

$\gamma$  - объемный вес пород непосредственной кровли, т/м<sup>3</sup>;

$H$  – глубина разработки, м;

$K$  – коэффициент концентрации напряжений.

В результате действия статических и динамических нагрузок (при осадке основной кровли) в непосредственной кровле образуется зона разрушенных пород впереди очистного забоя.

С увеличением глубины разработки увеличиваются размеры зоны нарушений. Поэтому условие устойчивости с учетом ослабления пород определяется неравенством

$$\theta * R_{szh} \geq \gamma * H * K , \quad (2)$$

где  $\theta$  – коэффициент структурного ослабления (отношение прочности породы в массиве к прочности в куске при одноосном сжатии или растяжении).

Таким образом, повышение коэффициента структурного ослабления является одной из основных задач повышения устойчивости обнажений. В зонах нарушения породы кровли обладают в сравнении с нетронутым массивом повышенными фильтрационными характеристиками, обуславливающими их хорошую проницаемость. Нагнетанием химических растворов с высокой проникающей способностью в трещины ослабленной зоны можно склеить слои пород, что предотвратит их дальнейшее расслоение и повысит несущую способность непосредственной кровли.

Экспериментальные исследования при химическом укреплении пород, проведенные на шахтах Карагандинского бассейна, позволили рекомендовать количественные зависимости

для определения основных параметров при нагнетании укрепляющих растворов. Длина шпуров:

$$L_{\text{shp}} = \frac{\ell_n}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

где  $\ell_n$  – среднее значение зоны предельных состояний пласта для условий Карагандинского бассейна; на практике принимается равным, 3 м;

$\alpha$  - угол наклона шпуров; на практике принимается равным, 10 – 15°.

Расстояние между шпурами зависит от радиуса распространения раствора, который определяется из эмпирической зависимости [1]:

$$R = K_{\text{exp}} \left\{ X_1 \left[ -108 \cdot \left( \frac{\gamma \cdot H}{\sigma_{\text{szh}}} \right)^2 + 664 \cdot \left( \frac{\gamma \cdot H}{\sigma_{\text{szh}}} \right) - 4 \right] + 100 \cdot X_2 \right\}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{exp}}$  – параметр функции - зона обработки, равная 3 – 4 м;

$X_1$  – коэффициент, характеризующий изменение радиуса в зависимости от соотношения глубины разработки и прочности вмещающих пород (таблица 1);

$X_2$  – коэффициент, характеризующий изменение радиуса в зависимости от давления нагнетания раствора с учетом от соотношения глубины разработки и прочности вмещающих пород (таблица 2);

$\sigma_{\text{szh}}$  - прочность пород на одноосное сжатие; диапазон изменения 15 – 30 МПа.

Обработка результатов исследований методами математической статистики позволила получить усредненные численные значения коэффициентов для условий Карагандинского бассейна с распределением по характерным интервалам состояния устойчивости пород (см. таблицу 1).

Таблица 1 - Численные значения расчетных коэффициентов.

$\gamma \cdot H / \sigma_{\text{сж}}$	$X_1$	$X_2$	$K_{\text{exp}}$
До 0,3	0,016	0,0017	10
0,31-0,5	0,015	0,0035	10
Более 0,5	0,1	0,0055	10

С целью исключения гидроразрыва при химическом укреплении пород давление нагнетания раствора не должно превышать предела прочности пород на растяжение.

$$P_H \leq \sigma_{\text{РАСТ}}, \quad (5)$$

Предел прочности пород на растяжение (аргиллитов, алевролитов и песчаников) варьирует в пределах 3,7 - 7,8 МПа.

Процент категории пород с прочностью на растяжение более 10 МПа незначителен. Поэтому нагнетание химических растворов в массив необходимо производить при давлении 2 - 7 МПа.

Подставляя полученные значения коэффициентов и давления в уравнение (4), определяется радиус для различных типов пород (таблица 2).

Таблица 2 - Радиус для различных типов пород.

$\gamma \cdot H / \sigma_{сж}$	R, м
До 0,3	3,0
0,31-0,5	2,0
Более 0,5	1,0

Расстояние между шпурами

$$\ell_0 = 2R - c = 1,7 \text{ , м} \quad (6)$$

где  $c=0,3$  – величина зоны перекрытия, м.

Установленные значения расстояния между шпурами уточняются в производственных условиях. Для этого бурятся три шпура на расстоянии, например, 2 м друг от друга. В крайние шпуры нагнетается раствор и устанавливается время появления его в центральной шпуре. Расстояние между шпурами [8-11]:

$$\ell = \ell_0 \sqrt{\frac{t_n}{t_{np}}}, \quad \text{м} \quad (7)$$

где  $\ell_0$  – расчетное расстояние между шпурами, м;

$t_n$  - время на бурение, промывку и герметизацию шпура, с;

$t_{np}$  - время появления раствора в центральной скважине, с.

Время нагнетания раствора

$$t_H = \frac{R^2 \cdot K_{mp} \cdot \beta}{4,42 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-0,32 \cdot X} \cdot \frac{\mu}{\mu_p} \cdot P_H}, \quad \text{МИН} \quad (8)$$

где  $K_{mp} = 0,23 - 0,7$  – коэффициент трещиноватости различных типов пород в условиях Карагандинского бассейна [12 - 15];

$\beta = 0,4 - 0,8$  - коэффициент заполнения трещин;

X - расстояние до забоя в направлении подвигания лавы, м;

$\mu$  - вязкость воды, сП;

$\mu_p$  - вязкость раствора, сП.

Расход раствора на шпур (скважину)

$$Q = 4,12 * \pi * K_{mp} * L_{SHP} , \quad \text{л/шпур} \quad (9)$$

Производительность насосной установки

$$n = \frac{Q}{t_n} , \quad \text{л/мин.} \quad (10)$$

Одной из основных задач, которые необходимо решить при совершенствовании технологии инъецирования полимерных смол в нарушенный горный массив является повышение устойчивости и стабилизации горного массива при производстве технологических процессов, предлагается внедрение в производственную практику методики расчета, технологии и обоснование параметров упрочнения, связывания и стабилизации нарушенных вмещающих угле-породных массивов с учетом их геомеханического техногенного состояния.

Упрочнение пород кровли пластовой выработки в процессе ее проведения определяется: длиной скважины под инъекционный анкер-репер; расстоянием между скважинами; установкой анкер-репера; изоляцией поверхности выработки; выбором концентрации раствора; упрочнением трещин, вскрытых скважиной, тонких трещин; определением конечного давления нагнетания; смола и процесс смолянизации; оборудованием для нагнетания смол; определением параметров трещиноватости; контроль качества упрочнения породной кровли пластовой выработки; расчетом крепи пластовых выработок с упрочненной породной кровлей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др. Экспериментальные исследования устойчивости повторно используемых выемочных выработок на пологих пластах Донбасса. Днепропетровск. ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – 426с.

2. Лушников В.Н., Еременко В.А., Сэнди М.П. и др. Крепление горных выработок в условиях деформируемых и удароопасных массивов горных пород.- Горный журнал, № 4, 2014. - С. 37-43.

3. Eremenko V.A. Louchnikov V.N. Sandy M.P. Mikin D.A. Milsin E.A. Gornyi Zhurnal – Mining Journal, № 7, 2013. - pp. 59 – 67.

4. Зубов В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса. Записки Горного института. 2017. Т. 225. С. 292-297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292

5. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock Mechanics for underground mining. –Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. - 628 p.
6. Laubscher D.H. and Jakubec J., The IRMR/MRMR Rock Mass Classification System for Jointed Rock Masses // SME. – 2000. – P. 475-481.
7. Hudson J.A., Harrison J.P. Engineering Rock Mechanics: an introduction to the principles and applications. – London: Elsevier Science, 1997. – 150 p.
8. Bobylev Y.G., Korshunov G.I. and others. Combined and anchor bolting installation in coal mines excavations . St. Petersburg International Academy of Ecology, Man and Nature. 2009. -176s.
9. Steverding B., Lehnigk S.H. The fracturepenetration depth of stresspulses. – Intrn. I. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 1976, V. 13. – S. 75-80.
10. Grady D.E., Kipp M.E. The mickromechanics and mining science, 1979. V. 16, №5. – S. 293-302.
11. Задавин Г. Д. Установление параметров анкерной крепи при проведении подготовительных выработок в условиях шахт Карагандинского бассейна: диссерт....канд. техн. наук: - Караганда: КарГТУ, 25.00.22, 2008. - 130 с.
12. Osipov A.N., Bulkin A.V., Guselnikov L.M. and other. A method for controlling soil heave in mine workings (RF patent number 2,438,018). 27.12.2011 Publication of the patent.
13. Zatsepin A.S., Pleskunov I.V. The method of protection of district development mine workings (RF patent number 2,338,066). 27.12.2011.
14. Martin Junker. Gebirgsbeherrschung von Flozstrecken / Verlag Gluckauf GmbH / Essen. 2006. - С. 273.
15. Демин В.Ф. Немова Н.А., Демина Т.В., Каратаев А.Д. Деформирование вмещающих пород вокруг горных выработок в зависимости от влияющих факторов. Научный вестник НГУ (Днепропетровск, Украина), Научно-технический журнал «Национального горного университета», № 4 (148), 2015. – с. 35–38.

**ПОДБОР И ПОДГОТОВКА КАДРОВОГО СОСТАВА КАК ЭЛЕМЕНТ  
ОБЕСЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АТОМНОЙ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЕГИПЕТЕ**

КОЖАРСКИЙ С. Г., БУЛАВКА Ю. А.

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой

*Аннотация.* В настоящей статье выполнен анализ уровня смертельного производственного травматизма работников в строительных отраслях ряда стран, определены недопустимые уровни риска гибели в строительстве. Обоснована необходимость совершенствования **процесса** подготовки и обучения работников безопасному выполнению работ на высоте. На примере процедуры подбора и подготовки кадрового состава для выполнения работ на площадке строительства АЭС «Эль-Дабаа» в Арабской Республике Египет показаны варианты совершенствования **процесса** подготовки и обучения работников безопасному выполнению работ на высоте с целью снижения уровня производственного травматизма.

*Ключевые слова:* строительство, атомная электростанция, работа на высоте, травматизм, обучение.

**SELECTION AND TRAINING OF STAFF AS AN ELEMENT OF ENSURING SAFETY  
DURING THE CONSTRUCTION OF A NUCLEAR POWER PLANT IN EGYPT**

KOZHARSKY S. G., BULAVKA Yu. A.

Euphrosyne of Polotsk State University

*Abstract.* This article analyzes the level of fatal industrial injuries of workers in the construction industries of a number of countries, and identifies unacceptable levels of risk of death in construction. It substantiates the need to improve the process of training and education of workers in the safe performance of work at height. Using the example of the procedure for selecting and training personnel to perform work at the El Dabaa NPP construction site in the Arab Republic of Egypt, options for improving the process of training and education of workers in the safe performance of work at height in order to reduce the level of industrial injuries are shown.

*Keywords:* construction, nuclear power plant, work at height, injuries, training.

Одной из наиболее важных отраслей мировой экономики является строительство, в которой задействовано более 100 миллионов человек, на данную отрасль приходится около 10% мирового ВВП, вместе с тем она характеризуется высокой травмоопасностью [1]. Из более 330 тыс. летальных исходов от несчастных случаев на производстве ежегодно регистрируемых в мире около 20% всех смертельных случаев травматизма на рабочих местах приходится именно на строительную отрасль, каждый день в мире на строительных площадках погибает около 200 работников и еще 1600 получают тяжелые травмы, как правило, приводящие к потере трудоспособности. К наиболее травмоопасным видам работ в строительной отрасли относят: работы на высоте, работы с кранами и подъемными механизмами, земляные работы и работы с электрооборудованием [1]. Наибольшая доля производственных травм в строительстве регистрируется при выполнении работ на высоте – более 25 % от общего количества травм в отрасли [2,3]. Травмы, связанные с падениями с высоты, занимают первое место в мире по общему числу пострадавших, и второе по числу смертельных случаев [4-6].

На рисунке 1 приведена динамика изменения коэффициента смертельного производственного травматизма на 100 тыс. работников в строительных отраслях ряда стран за период с 1980-2023 гг. составленная на основе данных статических баз Международной организации труда.

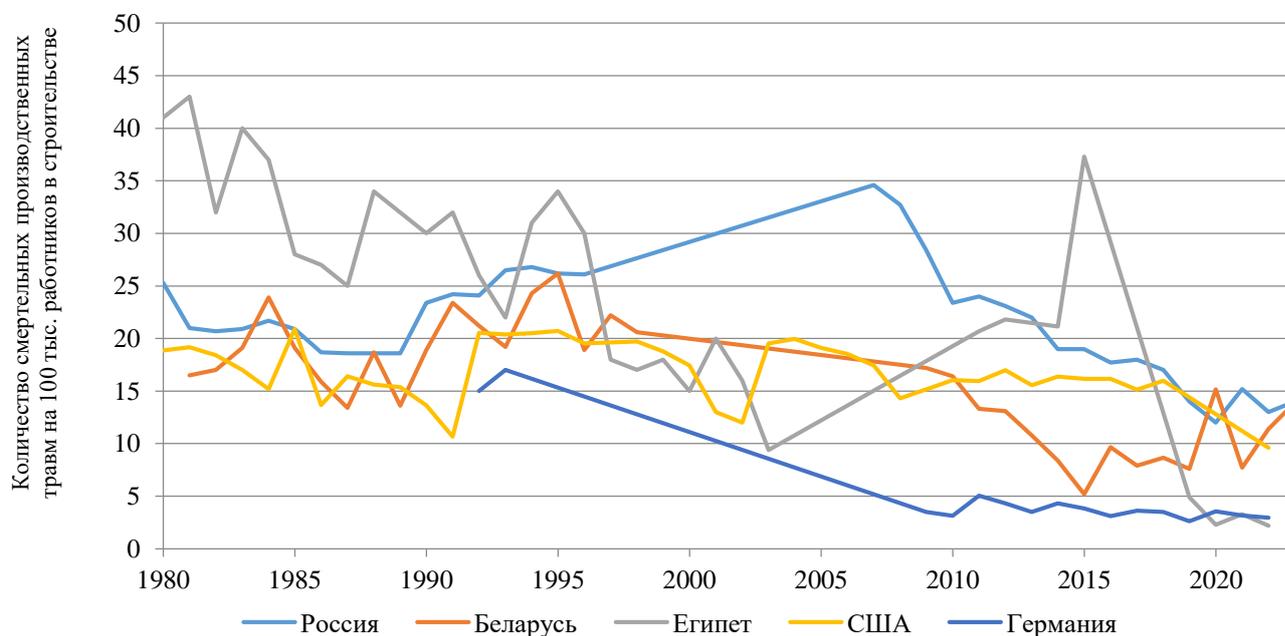


Рисунок 1 – Динамика изменения коэффициента смертельного производственного травматизма на 100 тыс. работников в строительных отраслях ряда стран за период 1980-2023 гг.

Анализ усредненного показателя за рассматриваемый период наблюдения показал, что наиболее высока вероятность гибели в строительных отраслях Арабской Республики Египет

–  $2,4 \cdot 10^{-5}$ , чуть ниже в Российской Федерации –  $2,1 \cdot 10^{-5}$ , в США и Республике Беларусь по  $1,6 \cdot 10^{-5}$ , вместе с тем в ряде европейских стран подобные уровни риска являются недопустимыми. К примеру, в Нидерландах парламентом в качестве государственного закона, исходя из экономических и социальных возможностей страны, установлена приемлемая обществом вероятность смерти в течение года для граждан от опасностей, связанных с работой на уровне менее  $10^{-6}$ . Данное обстоятельство обуславливает необходимость разработки специализированных программ по профилактике травматизма в строительстве и, в частности, при выполнении работ на высоте.

Зачастую именно организационные причины, связанные с упущениями при подборе и подготовке кадрового состава приводят к нарушениям работниками требований правил по охране труда при работе на высоте и, как следствие, производственной травме. В связи с этим, процесс подготовки и обучения работников безопасному выполнению работ на высоте требует совершенствования, что определило цель настоящего исследования.

Объектом данного исследования является процесс подготовки и обучения работников на площадке строительства АЭС «Эль-Дабаа» в Арабской Республике Египет. Для исключения ошибочных действий персонала, приводящих к несчастным случаям, выстроена система входного контроля кандидатов на трудоустройство в Филиале «НИКИМТ-Атомстрой» – граждан Арабской Республики Египет на базе моделей управленческих компетенций принятых в Госкорпорации «Росатом».

Входной контроль предусматривает оценку практических и теоретических знаний и навыков у соискателей для производства работ на площадке строительства АЭС «Эль-Дабаа». Элементы входного контроля потенциального сотрудника включают:

1. Оценку соответствия соискателя действующим требованиям в организации.
2. Перечень теоретических вопросов.
3. Перечень практических заданий.
4. Анализ критериев оценки соискателей.

Значительное внимание уделяется корректному выполнению практических заданий соискателями для анализа общей технической грамотности и наличия необходимых практических навыков. В практическом блоке при проведении входного контроля потенциальных сотрудников предусмотрены ряд этапов: 1-й этап предусматривает выполнение 5 заданий, у граждан Арабской Республики Египет проверяются навыки чтения, письма и наличия элементарных знаний безопасного производства работ на строительной площадке по заявленной специальности; ко 2-му этапу практических испытаний допускаются соискатели, успешно прошедшие 1-й этап и претендующие подтверждение от 3-го разряда и выше по заявленной специальности. Соискателям предоставляются необходимое

оборудование, материалы и инструмент, а также разъясняется устное или письменное задание. После завершения работы соискатели должны предъявить результат выполнения практического задания, убрать рабочие места, сдать инструмент и корректно завершить все предусмотренные заданием задачи. Результаты оценки теоретических и практических заданий рассматриваются и оцениваются членами специально созданной комиссии. Соискатели успешно прошедшие входной контроль направляются для трудоустройства в Филиал «НИКИМТ-Атомстрой». Для новых работников до производства работ и допуска к самостоятельной работе с учетом специфики строительства разработана комплексная программа обучения целью которой является развитие профессиональных компетенций работников и доведение до работников требований нормативно-правовых актов Арабской Республики Египет и локальных нормативных актов Филиала «НИКИМТ-Атомстрой», регламентирующих вопросы охраны труда, а именно: изучение безопасных методов и приемов выполнения работ при воздействии вредных и (или) опасных производственных факторов, снижение травматизма при работе на высоте путем повышения профессиональных компетенций в рамках имеющейся квалификации, освоение практических навыков работы на высоте (работа на высоте в ограниченных замкнутых пространствах, формирование навыков при использовании само-страховки, использования анкерных линий с системой ползункового типа, перемещения по строительной площадке, работа с лесов и площадок), изучение основных требований пожарной безопасности; качественное изменение профессиональных компетенций, необходимых навыков по оказанию первой помощи в случае возникновения неотложной ситуации, для того чтобы облегчить боль, снизить серьезность последствий травм и увеличить шансы на выживание. Учебно-тематический план данной программы обучения состоит из 40 часов и выстроен по модульному принципу, содержит 7 модулей теоретического и практического обучения.

Модули 1, 2, 4, 5, 6, 7 – общие для всех категорий персонала.

Модуль 3 – для персонала, выполняющего соответствующие виды работ;

В связи с тем, что ведущим опасным производственным фактором при производстве строительно-монтажных работ на площадке строительства является риск падения с высоты, программа обучения предусматривает детальное рассмотрение вопросов работы на высоте с практической отработкой данных навыков на специально сконструированных тренажерах (примеры некоторых из них приведены на рисунке 3) и практические занятия по формированию умений и навыков безопасного выполнения работ. На тренажерах для практической отработки навыков работы на высоте на площадке строительства реализованы различные сценарии, приближенные к реальным условиям работы на высоте с возможностью использования современного оборудования и средств защиты.

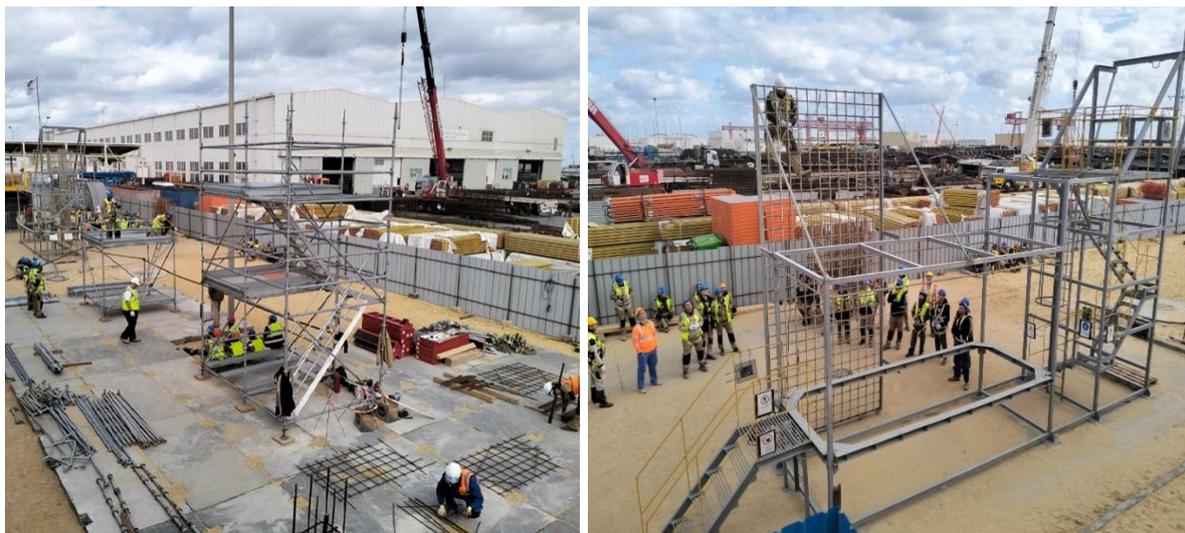


Рисунок 3. Тренажеры для практической отработки навыков работы на высоте на площадке строительства АЭС Филиалом «НИКИМТ-Атомстрой»

Примерный перечень упражнений для практических занятий включает:

1. Правильно надеть страховочную привязь и отрегулировать перед использованием.
2. Передвижение с использованием гибкой анкерной линии, имеющей промежуточные крепления.
3. Работы на высоте с применением стационарных лестниц доступа.
4. Обеспечение безопасности при перемещении по конструкциям и высотным объектам.
5. Перемещение по конструкции с использованием системы безопасности с фактором падения, равным нулю.
6. Спуск и подъем по вертикальной лестнице и конструкции с использованием средств защиты втягивающего типа (блокирующих устройств инерционного типа) и стационарных анкерных линий.
7. Работы на горизонтальной открытой площадке с использованием стационарных горизонтальных анкерных линий.
8. Анализ основных ошибок: отсутствие карабина на груди, перекос при затягивании поясного ремня, неправильное положение компонентов привязи, нарушение принципа непрерывной страховки.
9. Выполнение приемов и последовательности алгоритма «5 шагов безопасности».
10. Эвакуация пострадавшего с высоты.

Заканчивается процесс обучения проверкой знания работника с оформлением протокола и последующим допуском к самостоятельной работе на площадке строительства АЭС «Эль-Дабаа» в Арабской Республике Египет.

**Заключение.** Выполненный анализ уровня смертельного производственного травматизма работников в строительных отраслях подтвердил, что строительная отрасль в настоящее время является одной из наиболее травмоопасных, определены недопустимые уровни риска гибели в строительстве в ряде стран, в частности, в Арабской Республике Египет. Обоснована необходимость совершенствования процесса подготовки и обучения работников безопасному выполнению работ на высоте. На примере процедуры подбора и подготовки кадрового состава для выполнения работ на площадке строительства АЭС «Эль-Дабаа» в Арабской Республике Египет показаны варианты совершенствования процесса подготовки и обучения работников безопасному выполнению работ на высоте с целью снижения уровня производственного травматизма.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ смертельного травматизма в строительной отрасли российской федерации и ряде других зарубежных стран / Н.В. Матюшева и др.// Инженерный вестник Дона. 2024. № 9 (117). С. 129-145.
2. Внедрение новых организационных мер безопасности при работе на высоте в строительстве / С.А. Карауш, В.А. Сенченко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4 (51). С. 186-191.
3. Концепция технических мер безопасности при выполнении высотных работ на крышах зданий в условиях Арктического севера/ В.А. Сенченко, С.Л. Пушенко, Е.В. Стасева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.2018. № 51 (70). С. 178-185.
4. Мировая статистика по причинам падений с высоты / М.В. Антонов // Информационные технологии (ИТ) в контроле, управлении качеством и безопасности: сборник научных трудов VIII Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых "Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее", 7-12 октября 2019 г., г. Томск. – Томск : Изд-во ТПУ, 2019. – С. 23-27.
5. Совершенствование страховочных систем при проведении работ на высоте / Н.Х.Абдрахманов и др. // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2024. № 3. С. 31–52. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2024-3-31-52>.

6. Анализ травматизма и несчастных случаев при производстве работ на высоте / П.А. Козырицкий // Вестник Белорусско-Российского университета. 2010. № 2(27). С.170-178
7. Культура безопасности в системе ценностей госкорпорации «РОСАТОМ» / В.А. Руденко, Н.П. Василенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 1(18). – С. 118-122.
8. Формирование культуры безопасности при строительстве атомной электростанции в Арабской Республике Египет / С.Г. Кожарский, О.В. Капустина, Ю.А. Булавка // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2024. № 2 (37). С. 31-35. <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2024-37-2-31-35>
9. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88/97. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 14.11.1997 г. №9.- Москва. - 1998. - с. 18
10. Mathematical modeling and evaluation of the safety culture for the operating nuclear power plants in China: Critical review and multi-criteria decision analysis / Yi-Jing Zhang, Zhi-Rong Huang and others // Annals of Nuclear Energy. Vol. 168, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2021.108871>
11. Культура безопасности. Доклады Международной консультативной группы по ядерной безопасности INSAG. – Атомная энергия. Т. 71 (4).- 1991. С. 358-376
12. Единая отраслевая политика культуры безопасности Госкорпорации «Росатом» и её организаций утв. приказом Госкорпорации «Росатом» от 19.07.2021 № 1/884-П.
13. Анализ реализации концепции Vision Zero на территории Российской Федерации / О.В.Усикова, Д.К. Майданкина // Экономика труда. 2020. Т. 7. № 12. С. 1323-1336.

КУЗНЕЦОВ А.М., ПУРИКОВ Д.Е.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация.** В статье рассматривается процесс цифровизации системы охраны труда в России через призму глобального тренда Industry 4.0. Анализируется переход от традиционного реагирования на риски к проактивной стратегии, подразумевающей использование IoT, искусственного интеллекта, больших данных и технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности. Особо выделяются инновационные решения, такие как датчики IoT для непрерывного контроля условий на рабочих местах, применение машинного обучения для предсказания аварийных ситуаций и использование VR-симуляторов для обучения персонала. Важное внимание уделяется государственной политике, в частности, национальному проекту "Производительность труда" и программе "Цифровая экономика", направленным на стандартизацию и внедрение цифровых решений в промышленном секторе страны.

На примере кейсов крупных компаний (ЛУКОЙЛ, Норникель, РЖД) демонстрируется эффективность цифровых решений: сокращение производственного травматизма, оптимизация процессов обучения и снижение операционных рисков. В статье также анализируются вызовы цифровизации: киберугрозы, недостаток инфраструктуры в удаленных регионах, правовые пробелы в регулировании данных. Перспективы развития связываются с внедрением 5G-сетей, созданием цифровых двойников предприятий и усилением межгосударственного сотрудничества в рамках ЕАЭС.

Материал опирается на данные Росстата, Минтруда, отраслевые отчеты и научные исследования, что подчеркивает его практическую и теоретическую значимость для специалистов в области охраны труда, цифровизации и промышленной безопасности.

**Ключевые слова:** Цифровая трансформация, охрана труда, Industry 4.0, интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ), предиктивная аналитика, VR/AR-тренажеры, кибербезопасность, государственное регулирование, Евразийский экономический союз (ЕАЭС), промышленная безопасность, цифровые двойники, 5G, управление рисками.

# DIGITAL TRANSFORMATION OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY

KUZNETSOV A.M., PURIKOV D.E.

Ural State Mining University

**Abstract.** The article examines the process of digitalisation of the occupational safety system in Russia through the prism of the global trend Industry 4.0. The article analyses the transition from traditional risk response to a proactive strategy that involves the use of IoT, artificial intelligence, big data and virtual (VR) and augmented reality (AR) technologies. Innovative solutions are highlighted, such as IoT sensors to continuously monitor workplace conditions, the use of machine learning to predict emergency situations, and the use of VR simulations to train staff. Important attention is paid to government policies, in particular the national project ‘Labour Productivity’ and the ‘Digital Economy’ programme, aimed at standardisation and implementation of digital solutions in the country's industrial sector.

The effectiveness of digital solutions is demonstrated using case studies of large companies (LUKOIL, Nornickel, and Russian Railways): reduction of occupational injuries, optimisation of training processes, and reduction of operational risks. The article also analyses the challenges of digitalisation: cyber threats, lack of infrastructure in remote regions, and legal gaps in data regulation. Development prospects are associated with the introduction of 5G networks, the creation of digital twins of enterprises and the strengthening of interstate co-operation within the EAEU.

The material is based on data from Rosstat, the Ministry of Labour, industry reports and scientific research, which underlines its practical and theoretical significance for specialists in the field of occupational health and safety, digitalisation and industrial safety.

**Keywords:** Digital transformation, occupational health and safety, Industry 4.0, Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), predictive analytics, VR/AR simulators, cybersecurity, government regulation, Eurasian Economic Union (EAEU), industrial safety, digital twins, 5G, risk management.

## **Введение**

Цифровая трансформация (ЦТ) – это процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты деятельности организации, приводящий к фундаментальным изменениям в бизнес-моделях, культуре и операционных процессах [1]. В контексте охраны труда (ОТ) ЦТ направлена на переход от реактивного управления рисками к превентивному, основанному на данных. В России, где уровень производственного травматизма остается высоким (по данным Росстата, в 2023 году зафиксировано 5892 несчастных случая с тяжелыми последствиями, в которых пострадало 20,9 тыс. человек [2]), внедрение цифровых решений становится критически важным.

Концепция цифровой трансформации охраны труда базируется на принципах Industry 4.0, включая интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ) и большие данные (Big Data) [3]. Согласно модели PDCA (Plan-Do-Check-Act), ЦТ позволяет автоматизировать этапы планирования и контроля, сокращая человеческий фактор [4]. Например, IoT-датчики в режиме реального времени собирают данные о состоянии среды, а ИИ анализирует их для прогнозирования аварий.

### **Текущее состояние охраны труда в России**

Российская система ОТ регулируется Трудовым кодексом РФ (раздел X) и другими нормативно-правовыми документами (например, ГОСТ Р 12.0.009-2009 о системах управления охраной труда) [5]. Однако традиционные методы, такие как ручные проверки и бумажный документооборот, устарели.

Основными проблемами, которые препятствуют активной цифровой трансформации на сегодняшний день, являются:

1. Реактивный подход: 70% мероприятий по ОТ проводятся после инцидентов [6].
2. Дефицит кадров: по данным Минтруда, только 45% специалистов по ОТ прошли переподготовку за последние 5 лет [7].
3. Неравномерность внедрения: Крупные компании (Газпром, Росатом и др.) активно инвестируют в технологии, тогда как малый бизнес отстает из-за высокой стоимости решений.

Чтобы как-то помочь работодателям, были запущены следующие государственные инициативы:

- Национальный проект «Производительность труда» (реализуется с 2019 года) предусматривает цифровизацию рабочих мест [8].
- Программа «Цифровая экономика» (утверждена в 2022 году) включает разработку стандартов для IoT в промышленности [9].

### **Технологические решения и их теоретическое обоснование**

Для цифровой трансформации ОТ подразумевает интеграцию технологий для прогнозирования и предотвращения рисков. Ключевые инструменты включают:

1. Интернет вещей (IoT) и предиктивная аналитика.

IoT позволяет реализовать концепцию «умного рабочего места» (Smart Workplace), где датчики отслеживают параметры среды (температура, уровень шума, загазованность) и передают данные в облачные системы [10]. Предиктивная аналитика, основанная на алгоритмах машинного обучения, выявляет паттерны, предшествующие авариям.

Ярким примером применения данной технологии является компания Лукойл, которая внедрила систему мониторинга микроклимата на НПЗ, что сократило случаи отравлений на 40% [11].

## 2. Искусственный интеллект и цифровые двойники.

Цифровые двойники (Digital Twins) – виртуальные копии физических объектов – используются для моделирования аварийных сценариев. ИИ анализирует исторические данные, чтобы предсказать риски. Согласно исследованию McKinsey, внедрение ИИ снижает количество инцидентов на 20-30% [12].

Применение ИИ для оценки устойчивости шахтных выработок стали активно использовать в компании «Норникель» [13].

## 3. VR/AR-тренажеры и теория обучения.

Метод «обучения через опыт» (Experiential Learning) предполагает, что сотрудники лучше усваивают знания в имитационной среде [14]. VR-тренажеры создают реалистичные сценарии (пожары, разливы химикатов), что повышает эффективность обучения.

Благодаря применению VR-тренажеров для тренировки машинистов компания РЖД смогла снизить количество ошибок среди работников на 25% [15].

### **Вызовы цифровизации**

В результате цифровизации ОТ перед компаниями возникают следующие вызовы:

1. Киберриски: По данным Positive Technologies, 65% промышленных IoT-устройств в России уязвимы к хакерским атакам [16].

2. Цифровое неравенство: 30% предприятий в удаленных регионах не имеют доступа к высокоскоростному интернету [17].

3. Юридические коллизии: Отсутствие единых стандартов для обработки персональных данных сотрудников (например, показателей здоровья с носимых устройств).

### **Перспективы и рекомендации**

1. Развитие 5G-сетей: Позволит обрабатывать данные IoT в реальном времени (пилотные проекты запущены в Татарстане и Сколково) [18].

2. Субсидии для малого бизнеса: В 2024 году планируется выделить 2 млрд рублей на закупку датчиков и ПО [19].

3. Интеграция с ЕАЭС: Создание межгосударственной платформы обмена данными по охране труда [20].

### **Заключение**

Цифровая трансформация охраны труда в России – это не только технологический процесс, но и смена парадигмы управления. Теоретической основой для нее служат принципы Industry 4.0 и модели превентивного управления рисками. Успех зависит от синхронизации усилий государства, бизнеса и науки. Как отмечает эксперт ВШЭ Иван Климов: «Цифровизация ОТ – это инвестиция в человеческий капитал, которая окупится снижением страховых выплат и ростом производительности» [21].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. – Geneva: World Economic Forum, 2016.
2. Росстат. «Производственный травматизм в РФ – 2024». URL: [rosstat.gov.ru](https://rosstat.gov.ru)
3. Kagermann H. et al. *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*. – VDI-Nachrichten, 2011.
4. ISO 45001:2018 «Системы менеджмента охраны труда».
5. Трудовой кодекс РФ. Статья 209. URL: [kremlin.ru](https://kremlin.ru)
6. Отчет Минтруда «Состояние охраны труда в РФ – 2023».
7. Данные Академии Минтруда. URL: [mintrud.ru](https://mintrud.ru)
8. Нацпроект «Производительность труда». URL: [economy.gov.ru](https://economy.gov.ru)
9. Программа «Цифровая экономика РФ». URL: [digital.gov.ru](https://digital.gov.ru)
10. Gubbi J. et al. *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. – Future Generation Computer Systems, 2013.
11. Пресс-релиз ЛУКОЙЛ. URL: [lukoil.ru](https://lukoil.ru)
12. McKinsey. «AI in Workplace Safety: Opportunities and Challenges», 2021.
13. Отчет «Норникеля» по устойчивому развитию – 2023.
14. Kolb D. *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. – Prentice Hall, 1984.
15. Интервью с представителем РЖД. URL: [rzd.ru](https://rzd.ru)
16. Исследование Positive Technologies. URL: [ptsecurity.com](https://ptsecurity.com)
17. Данные Роскомнадзора. URL: [rkn.gov.ru](https://rkn.gov.ru)
18. Проект «5G в промышленности». URL: [sk.ru](https://sk.ru)
19. Постановление Правительства РФ № 456 от 2023 г.
20. Соглашение ЕАЭС о цифровой трансформации. URL: [eaeunion.org](https://eaeunion.org)
21. Климов И. «Цифровизация охраны труда: вызовы и решения». – ВШЭ, 2023.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ ВОКРУГ КАРСТОВЫХ ВОРОНОК**

ЛОНСКИЙ О. В., ТРЯСЦИН А. А.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Аннотация.* Целью работы является рассмотрение проблемы обеспечения безопасности при производстве работ вокруг карстовых воронок и возможных путей решения данной проблемы.

В карстовых районах, а также в районах поземных горных выработок, периодически возникают карстовые воронки, которые приводят к значительному материальному ущербу и гибели людей. Воронка по истечении времени увеличивается из-за обрушения стенок. Опасная зона вокруг воронки определяется геофизическими исследованиями.

В сентябре 2012 года в карстовой воронке, образовавшейся в городе Березники, погиб рабочий. Тем не менее работы в опасных зонах карстовых воронок велись и ведутся при ликвидации провалов на калийных рудниках в Канаде, подавлении поступления рассолов и воды в рудники Соликамска и Березников, а также на Порецком руднике. Обзор литературы и натурные исследования в опасной зоне воронки у города Соликамска, показали, что сейчас не предложено технических решений для обеспечения безопасности ведения работ вблизи карстовых воронок. В статье приведен один из вариантов решения поставленной проблемы.

Предлагается для обеспечения безопасности работников, находящихся в опасной зоне около карстовых воронок, создание системы анкерных линий из каната между структурными анкерами, к которой можно работникам крепить СИЗ от падения с высоты.

*Ключевые слова:* карстовые воронки, опасная зона, безопасность, работа на высоте, средства индивидуальной защиты, анкерные линии.

## **ENSURING SAFETY WHEN WORKING AROUND SINKHOLES**

LONSKY O. V., TRYASCIN A. A.

Perm National Research Polytechnic University

*Abstract.* The aim of the work is to consider the problem of ensuring safety during work around karst sinkholes and possible ways to solve this problem.

In karst areas, as well as in areas of underground mine workings, karst sinkholes periodically occur, which lead to significant material damage and loss of life. The sinkhole increases over time due to the collapse of the walls. The danger zone around the sinkhole is determined by geophysical surveys.

In September 2012, a worker died in a cast-iron sinkhole that formed in the city of Berezniki. Nevertheless, work in dangerous areas of karst sinkholes was and is being carried out during the elimination of failures in potash mines in Canada, suppression of the flow of brines and water into the mines of Solikamsk and Berezniki, as well as at the Poretsky mine. A review of the literature and field studies in the dangerous zone of the sinkhole near the city of Solikamsk showed that currently no technical solutions have been proposed to ensure the safety of work near karst sinkholes. The article provides one of the options for solving the problem. It is proposed to ensure the safety of workers in the dangerous zone near karst sinkholes by creating a system of anchor lines from a rope between structural anchors, to which workers can attach PPE from falls from a height.

**Keywords:** karst sinkholes, danger zone, safety, work at height, personal protective equipment, anchor lines.

Целью работы является рассмотрение проблемы обеспечения безопасности при производстве работ вокруг карстовых воронок и возможных путей решения данной проблемы.

Обычно карстовые воронки бывают круглой формы, но иногда имеют и неправильную форму и называются общим названием карстовые провалы [1].

Примером естественного образования карстовой воронки в Пермском крае является карстовая воронка (провал) имени Смирнова площадью около гектара глубиной до 20 метров расположенного недалеко от города Губаха. В декабре 2004 года в г. Кунгур образовалась карстовая воронка шириной 10 метров. В 2015 году карстовый провал под фундаментом дома Туле и т.д.

Имеются многочисленные примеры неожиданного появления карстовых воронок за рубежом [2].

Техногенные карстовые воронки известны с 19 века. В результате образования карстовых воронок в Европе были затоплены Страссфуртские калийные шахты в Магдербург-Гальберштатском бассейне, рудники Aschersleben [3]. Карстовая воронка в Березниках, появившаяся в 2007 году к 2009 году увеличилась до 2,5 гектар [4].

В 2014 году образовалась карстовая воронка на шахтном поле 2 Соликамского калийного рудника размером 125 метров, глубиной около 89 метров, которая повлекла за

собой затопление калийного рудника. Растворение солей подземными водами провоцирует образование карстовых воронок и проникновение воды в рудники.

Приведенные примеры показывают, что карстовые воронки возникают неожиданно и несут в себе большую опасность [4].

Площадь карстовых районов в Пермском крае – 45,9 тыс. км.<sup>2</sup>, или одна треть всей территории [5]. Одним из методов изучения карста это радиофизический [6]. С помощью комплексной геофизической съемки проводится исследование уже существующих карстовых воронок [7]. При этом проводится постоянное наблюдение за поверхностью земли, ее деформации в зоне воронки, измерение уровня подземных вод [8]. Для ликвидации негативных последствий от карстовых воронок и их изучения, часто приходится работать в опасных зонах, расположенных рядом с воронкой.

Все дело в том, что карстовая воронка на начальном этапе быстро увеличивается в размерах, имеет вертикальные, а иногда и отрицательные откосы стенок, и реальная призма обрушения может быть достаточно далеко от края воронки, что часто усугубляется наличием притока воды в воронку, что чревато неожиданным обрушением стенки воронки из-за переувлажнения грунтов.

Тем не менее работы в опасных зонах карстовых воронок велись и ведутся при ликвидации провалов на шахтных полях калийных рудников как за границей так и в России [9]. При проведении работ около карстовой воронки в г. Березники в карстовой воронке погиб рабочий.

Проектирование и разработка инженерных проектов в карстовых средах требуют специфических подходов [10].

Методов обеспечения безопасности при работе в районе карстовых воронок пока не существует.

Работы рядом в карстовыми воронками опасны тем, что возможно неожиданное обрушение стенки воронки и, как следствие, падение в нее людей с высоты, которая практически может быть равна глубине воронки. Требования безопасности при работе на высоте изложены в «Правилах...» [11]. На производстве количество тяжелых несчастных случаев при падении с высоты от их общего количества в РФ составляет 43 % [12].

Современная система обеспечения безопасности работ на высоте состоит из анкерного устройства, привязи, соединительно-амортизирующей подсистемы [11].

На основании изучения проблемы обеспечения безопасности при производстве работ вокруг карстовых воронок предлагается для обеспечения безопасности работников, находящихся в опасной зоне, создание системы анкерных линий из канатов натянутых между структурными анкерами, к которой рабочие могут крепить СИЗ от падения с высоты.

Примером для разработки системы анкерных линий вокруг карстовой воронки взята воронка диаметром 150-200 метров, заполненная водой. Геофизики определили опасную зону вокруг воронки диаметром 700 метров. В опасной зоне велись работы по ликвидации аварийной ситуации (закачка цементного раствора через пробуренные скважины вокруг воронки) при этом люди работали без страховки.

Очевидно, располагать структурные анкера необходимо за границей опасной зоны.

Учитывая то, что рабочие должны попадать на свои рабочие места из безопасной зоны анкерные линии должны быть радиальными. Прокладывать анкерную линию через воронку располагая структурные анкера на противоположных берегах воронки через ее центр не эффективно, так как придется подвешивать канат над воронкой (диаметр 150-200 м), где реально работы не ведутся.

Предлагается следующая конструкция системы анкерных линий.

На расстоянии от края воронки в местах, где ведутся работы, располагается условно круговой канат (диаметром 250-300 м), к которому крепятся радиальные канаты (анкерные линии). Радиальные канаты натягиваются на структурных анкерах за границей опасной зоны.

На рисунке 1 условно показана принципиальная конструкция системы анкерных линий, размещенной вокруг карстовой воронки.

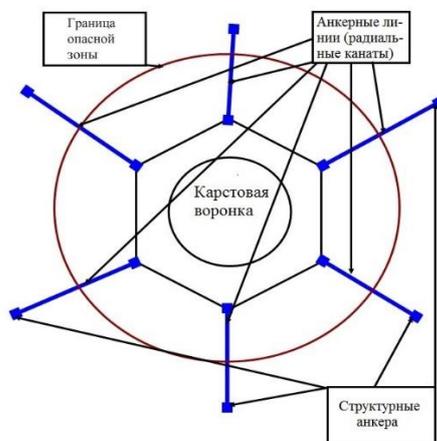


Рисунок 1 - Принципиальная конструкция системы анкерных линий

После размещения условно кругового каната и крепления к нему радиальных канатов они натягиваются со стороны структурных анкеров так, чтобы круговой канат остался в районах, где производятся работы (например, обслуживание скважин). На радиальные канаты надеваются роликовые двойные тандем-каретки (имеющие по два ролика сверху и снизу, для исключения заклинивания тандем каретки на канате при возможном падении работника при провале грунта под ним), к которым карабинами прикрепляется страховочная привязь рабочих через соединительно-амортизирующие подсистемы [11].

Радиальные канаты должны быть на высоте (не менее 2 м), обеспечивающей фактор падения 0. Для этого под канатами на расстоянии 12 м между ними необходимо установить дополнительные опоры. Опоры должны позволять передвигаться по канату тандем-кареткам. Дополнительные опоры при провале под ними земли должны свободно падать вниз, при этом канат не должен цепляться за опору.

Радиальные канаты натягиваются на структурных анкерах усилием, которое определяется по таблице 3 приложения № 11 к Правилам [11].

Соединительно-амортизирующая подсистема должна иметь размер, позволяющий работнику выполнять нормативную работу.

Вид канатов подбирается, исходя из «Рекомендаций...»[13] и СП 35.13330.2011 [14].

Расчет системы анкерных линий ведется на нагрузку в ее центре с учетом веса канатов и веса работников, число которых реально может оказаться прикрепленных в центре системы.

На каждом радиальном канате у кругового каната должны быть надеты страховочные двойные тандем-каретки, к которым прикреплен канат идущий к лебедке, закрепленной у структурного анкера, расположенного за опасной зоной. При возникновении аварийной ситуации (провал грунта под рабочими) рабочие повиснут на радиальных канатах. Страховочная двойная тандем-каретка подтянет все тандем-каретки, расположенные ближе к структурному анкеру на анкерном канате, и вытащит их из опасной зоны.

Предложенное решение можно использовать для обеспечения безопасности у карстовых воронок различной формы.

### **Выводы**

Обзор литературы и натурные исследования около карстовой воронки показали, что в настоящее время не предложено технических решений для обеспечения безопасности ведения работ вблизи карстовых воронок.

Предлагается для обеспечения безопасности работников, находящихся в опасной зоне около карстовых воронок, создание системы анкерных линий из каната между структурными анкерами, к которой можно работникам крепить СИЗ от падения с высоты.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Лунегова М. С. Понятие и механизмы образования карстовых провалов // Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 2 томах. – 2016.- Том 1.- с.433-436.
2. Strzałkowski, P. Sinkhole formation hazard assessment. / - Czech Republic.: Springer Link, 2018. – P.6.

3. Барях А. А., Евсеев А. В. Ликвидация калийных рудников и соляных шахт: обзор и анализ проблемы // Горный информационно- аналитический бюллетень. – 2019.- №9. – с.8-9.
4. 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- выпуск 1 (45). – с.38.
5. Катаев В. Н., Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Типы карста пермского края // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта.– 2013. Вып. 1. С. 56—66.
6. Никитин О. Р., Клочков М. А. Обнаружение и исследование карстов радиофизическими методами // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2009. № 11. С. 215-218.
7. Manuel Cueto. Karst-induced sinkhole detection using an integrated geophysical survey: a case study along the Riyadh Metro Line 3 / Javier Olona, Gabriela Fernández-Viejo, Luis Pando, Carlos López-Fernández // EarthDoc. – 2018. – Vol. 16. Issue. 3, P. 270 – 281. - ISSN: 1569-4445.
8. Xueping, L., Shangde, X., Huiming, T., and Jinsheng, P.: A GIS-based monitoring and early warning system for cover-collapse sinkholes in karst terrane in Wuhan, China, Nat. HazardsEarthSyst. Sci. Discuss., <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-22>, 2017.
9. Кондратов А. Б. Новая концепция и разработка технических решений по активной защите калийных рудников от затопления, 2012 г.
10. Mario Parise, Damien Closson, Francisco Gutiérrez & Zoran Stevanović Anticipating and managing engineering problems in the complex karst environment // Environmental Earth Sciences. – 2015. – 74. – 7823 –7835.
11. Правила по охране труда при работе на высоте, утвержденные приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 782н, от 16 ноября 2020 г.
12. Ларина О. П., Халабуда Е. И. Систематизация и анализ причин несчастных случаев при работе на высоте // Молодёжный вестник ИрГТУ. – 2019. - № 4 (9).
13. Рекомендации по выбору типов и расчету прочности стальных канатов, применяемых в строительных металлических конструкциях // ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ им. Мельникова Арендное предприятие, Москва, 1991 г.
14. СП 35.13330.2011 СВОД ПРАВИЛ МОСТЫ И ТРУБЫ Bridges and culverts Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*

## СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ТЕПЛОМАССО ОБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСТРОЕННЫХ СЕПАРАТОРОВ

НУРХОЖАЕВ Е.С.<sup>1</sup>, МАКАРОВ В.Н.<sup>2</sup>, МАКАРОВ Н.В.<sup>2</sup>, ПОТАПОВ В.Я.<sup>2</sup>, ПОТАПОВ В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Костанайские минералы», г. Житикара, Республика Казахстан

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Аннотация:** Промышленные исследования и компьютерный анализ аэротермодинамических процессов в шахтных печах АО «Костанайские минералы» подтвердили гипотезу о преобладающем влиянии концентрации, медианного диаметра, дисперсии, температуры и влажности пыли, на экологическую нагрузку, существенное влияние на температуру и влажность рудной пыли в пневмосушиле параметров прямотока. Сила Архимеда с учетом силы тяжести, действующая на рудную пыль в прямотоке, обуславливает снижение величины критерия Фруда и как результат существенный рост концентрации низкотемпературной влажной пыли из прямотока по отношению к концентрации высокотемпературной сухой пыли из противотока, на выходе из печи, что существенно снижает эффективность пылеулавливающего оборудования. В целях снижения концентрации пыли на выходе из печи, повышения эффективности пылеулавливающего оборудования предложено встраиваемое непосредственно в сушило устройство, работающее по принципу инерционно-гравитационной, термической сепарации. Для обеспечения оптимальных параметров рудной пыли на выходе из шахтной печи путем приведения уравнения Стоксовского движения двухфазной среды к однопараметрической задаче по фактору релаксации пыли разработана математическая модель аэросепарации частиц пыли непосредственно в сушиле шахтной печи в функции от расхода, температуры теплоносителя и геометрических параметров аэросепаратора. Применение встроенного сепаратора позволило повысить экологическую эффективность шахтной печи до 75 – 85 %, тем самым снизив не менее чем в 3 раза концентрацию аэрозоля на выходе из неё. Предложенная конструкция аэрационного сепаратора в настоящее время используется для повышения экологической эффективности ВШСП №9 цеха ДиСхр АО «Костанайские минералы».

**Ключевые слова:** Экологическая нагрузка, сепарация, медианный диаметр, сушило, входной коллектор, сила Стокса, Архимеда, аэрозоль.

## REDUCING THE ENVIRONMENTAL LOAD OF HEAT-MASS EXCHANGE EQUIPMENT USING BUILT-IN SEPARATORS

NURKHODZHAEV E.S.<sup>1</sup>, MAKAROV V.N.<sup>2</sup>, MAKAROV N.V.<sup>2</sup>, POTAPOV V.YA.<sup>2</sup>,  
POTAPOV V.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JSC "Kostanay Minerals", Zhitikara, Republic of Kazakhstan <sup>2</sup>FSBEI HE "Ural State Mining University"

**Abstract:** Industrial research and computer analysis of aerothermodynamic processes in shaft furnaces of JSC Kostanay Minerals confirmed the hypothesis about the predominant influence of concentration, median diameter, dispersion, temperature and humidity of dust on the environmental load, a significant effect of the direct-flow parameters on the temperature and humidity of ore dust in the pneumatic dryer. The Archimedes force, taking into account the gravity force, acting on the ore dust in the direct-flow, causes a decrease in the Froude criterion and, as a result, a significant increase in the concentration of low-temperature wet dust from the direct flow in relation to the concentration of high-temperature dry dust from the counterflow, at the furnace outlet, which significantly reduces the efficiency of dust collection equipment. In order to reduce the dust concentration at the furnace outlet, increase the efficiency of dust collection equipment, a device built directly into the dryer is proposed, operating on the principle of inertial-gravitational, thermal separation. In order to ensure optimal parameters of ore dust at the shaft furnace outlet by reducing the Stokes equation of two-phase medium motion to a one-parameter problem for the dust relaxation factor, a mathematical model of dust particle aero-separation directly in the shaft furnace dryer as a function of the flow rate, coolant temperature and geometric parameters of the aero-separator has been developed. The use of a built-in separator has increased the environmental efficiency of the shaft furnace to 75–85%, thereby reducing the aerosol concentration at its outlet by at least 3 times. The proposed design of the aeration separator is currently used to improve the environmental efficiency of the VShSP No. 9 of the DIShR shop of Kostanay Minerals JSC.

**Keywords:** Environmental load, separation, median diameter, dryer, inlet manifold, Stokes force, Archimedes, aerosol.

**Введение.** Непрерывный, оперативный контроль соблюдения экологического законодательства, как основная тенденция государственной политики в области снижения экологической нагрузки предприятий – приводит к тому, что бизнес сталкивается с трудноразрешимыми задачами: снижать объем выпускаемой продукции в силу недостаточной эффективности пылегазоочистного оборудования, либо искать качественно новые экологически эффективные технологии [14,18].

Повышение экологической эффективности тепломассообменного оборудования (ТМОО) может быть достигнуто за счет комплексного, конвергентного подхода не только к расчёту и выбору типа фильтра в совокупности с установками предварительной отчистки газа, но и к анализу физико-химических свойств, дисперсного состава, диапазона концентрации, влажности и температуры пыли на выходе из сушила, способов аэрационной сепарации её, что требует совершенствования конструкции входного коллектора газоотводящих каналов [8,17,6].

Задачей разработки установки для пылеочистки аэрозолей, кроме обеспечения экологических показателей, является её минимальное влияние на эффективность вертикальной шахтной сушильной печи. Для этого необходимо, чтобы дымосос обеспечивал условия оптимального сжигания газа и сушки асбеста в вертикально шахтной сушильной печи. Кроме того, необходимо чтобы нарушения в системе газоочистки не оказывали влияние на эффективность ТМОО [9,7,13].

Для достижения экономической эффективности газоочистной установки с рукавными фильтрами с учётом капитальных затрат и затрат на эксплуатацию, необходим расчёт и выбор типа рукавного фильтра в совокупности с установками предварительной отчистки газа, анализом физико-химических свойств, дисперсного состава, диапазона концентрации пыли [2,15,19].

В соответствии с исходными параметрами ТМОО сушки асбеста, с производительностью 85 – 150 т/ч, расходом очищаемых газов до 70 000 м<sup>3</sup>/ч экономически целесообразно применение газоочистного оборудования с рукавными фильтрами и циклонами в качестве предварительной отчистки. Для достижения максимальной экономической эффективности при коэффициенте пылеулавливания 99,9 %, необходимо обеспечить концентрацию аэрозоля на входе в рукавный фильтр не более 2 – 10 г/м<sup>3</sup> при медианном диаметре пыли 15 – 30 мкм, скорости фильтрации, не более 1 – 1,2 м/мин, влажности асбестовой пыли 0,5 – 0,7 %, температуре газового потока не менее 80 °С. При выборе рукавного фильтра необходимо учитывать физико-химические свойства пыли, поступающей на фильтрующий материал: влагосодержание, слипаемость, гигроскопичность, смачиваемость, высокую химическую активность, удельную поверхность, плотность, теплоёмкость, электризуемость, теплопроводность. Для обеспечения требуемой степени отчистки необходимо определить и контролировать диапазон оптимального гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки, время фильтрации. Расчёт оптимальных параметров рукавного фильтра и всего двухступенчатого газоочистного устройства шахтной вертикальной сушильной печи, оптимальных режимов дымососа, обеспечивающих требуемый диапазон разрежений, в том числе и в шахтном сушиле, как пыле источнике,

позволяет на базе экспертных оценок и статистического анализа обеспечить экономическую эффективность не менее 1,5 руб./1000 м<sup>3</sup> отчищаемого газа, в сравнении с электрофильтрами.

**Теоретические аспекты статьи.** Снижение экологической нагрузки сушки рудных материалов по средствам сепарации базируется на научно обоснованной гипотезе о преобладающего влияния на её экологическую эффективность параметров аэрозоля: концентрация, медианный размер, дисперсия, температура и влажность пыли на выходе из печи, зависящих от технологического процесса сушки, состояния руды и определяющих качество пылеулавливания [11,16].

Новизна исследований влияния экологической нагрузки ТМОО заключается в разработке сепаратора, обеспечивающего оптимальную совокупность параметров пыли на выходе из печи, соответствующую её максимальной экологической эффективности, то есть минимальной концентрации пыли в аэрозоли [3,11,16].

Кроме того, дополнительно аэрационные процессы сушки рудных материалов в сепараторе должны приводить физические параметры частиц рудной пыли, указанные выше, до значений, обеспечивающих максимальную эффективность пылегазоочистного оборудования.

**Результаты исследования.** Проведенные в цехе ДиСхр АО «Костанайские минералы» экспериментальные исследования и анализ гранулометрического состава пыли в загрузочном, разгрузочном устройствах и на выходе из сушила показали, что в процессе компрессионного механического давления происходит дополнительное дробление взвешенных частиц исходной руды. В пределах фракции  $-5 \cdot 10^{-4}$  м. медианный диаметр частиц пыли возрастает по мере движения руды к входному коллектору газоотводящих каналов и далее в зону разгрузки. Указанное приводит к дополнительному выделению капиллярной влаги, росту слипаемости, снижению эффективности пылеулавливающего оборудования [1,10,19].

Как видно из рисунков 1-2 медианный диаметр взвешенных частиц фракции  $-5 \cdot 10^{-4}$  м в загрузочном устройстве, на выходе из печи и в разгрузочном устройстве возрастает и равен соответственно:  $2,95 \cdot 10^{-4}$  м;  $3,35 \cdot 10^{-4}$  м;  $4,5 \cdot 10^{-4}$  м. При этом дисперсия медианного диаметра взвешенных частиц хризотил асбеста так же возрастает с 0,2d до 0,3d, что подтверждает вышесказанное.

Более важным выводом из проведенных исследований является тот факт, что конструктивное исполнение сушила вертикальной шахтной печи приводит не только к росту медианного диаметра, но и концентрации взвешенных частиц хризотил-асбеста в процессе движения рудного материала от загрузочного устройства к устройству разгрузки. Указанное способствует дополнительному росту экологической нагрузки как на печь, так и на её

пылегазоочистное оборудование и должно учитываться при разработке аэросепаратора, встроенного в сушило.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что концентрация взвешенных частиц хризотил-асбеста фракции -500 мкм в аэрозоли в процессе сушки возрастает в интервале от 63% до 69% от её концентрации в загрузочном устройстве в диапазоне режимных параметров ТМОО. Таким образом, рост концентрации взвешенных частиц хризотил-асбеста, изменяясь не более чем на 10% в широком диапазоне режимных параметров шахтной печи, приводит к увеличению практически на 70% экологической нагрузки на пылегазоочистное оборудование ТМОО.

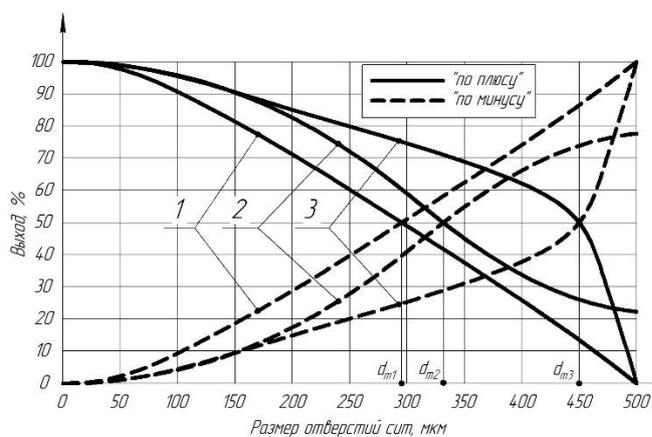


Рисунок 1 – Суммарные ситовые характеристики и медианные диаметры взвешенных частиц хризотил-асбеста фракции -500 мкм: 1 – в загрузочном устройстве; 2 – на выходе из ТМОО; 3 – в разгрузочном устройстве.

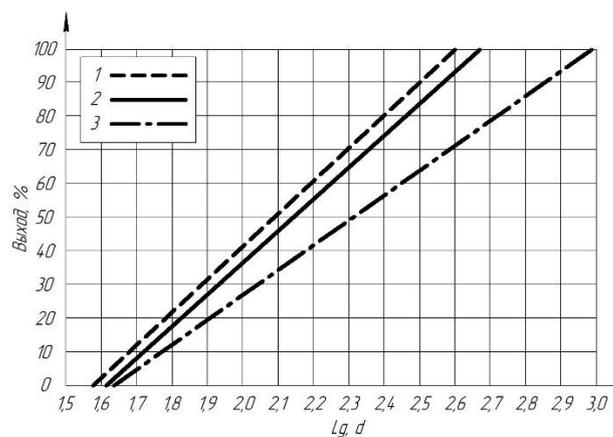


Рисунок 2 – Номограммы дисперсного состава взвешенных частиц хризотил-асбеста фракции -500 мкм: 1 – в загрузочном устройстве; 2 – на выходе из ТМОО; 3 – в разгрузочном устройстве.

Анализ математического моделирования, проведенный на рис.3 подтвердил выводы промышленных экспериментальных исследований о существенном влиянии на температуру и влажность асбестовой пыли в пневмосушиле параметров прямотока [4,8,12].

Диаграммы, представленные на рисунке 3 показывают, что значительная часть взвешенных частиц хризотил-асбеста из прямотока под действием поля аэродинамических сил депрессии поступает в пневмосушило не вступая в контакт с теплоносителем из противотока. В следствие негативного действия приведенной силы Архимеда, в противовес вышесказанному, из противотока в пневмосушило поступает незначительная часть взвешенных частиц хризотил-асбеста. При этом пылевые частицы в противотоке имеют более высокую температуру и меньшую влажность по отношению к частицам прямотока, характеризующимися низкой температурой и высокой влажностью в следствие недостаточной эффективности теплообмена. Таким образом, вышеуказанное приводит неизбежно к росту

концентрации пылевых частиц хризотил-асбеста с повышенной влажностью и низкой температурой, поступающих в пневмосушило, что снижает экологическую эффективность печи, одновременно повышая нагрузку и снижая эффективность пылегазоулавливающего оборудования.

Для устранения указанного негативного явления, снижения экологической нагрузки ТМОО и её пылеулавливающего оборудования в статье предложено встроенное в сушило печи устройство аэрационной сепарации. Данное устройство путем целенаправленной организации как сепарации взвешенных частиц хризотил-асбеста, так и их аспирации за счёт действия аэродинамических, инерционных сил, вязкости и температуры теплоносителя обеспечивает требуемые оптимальные параметры концентрации, температуры и влажности частиц пыли, а также температуры и влажности теплоносителя, поступающих в пневмосушило.

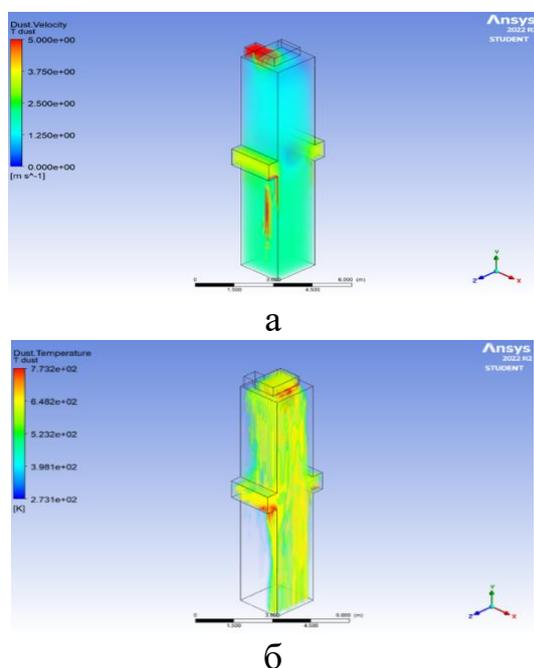


Рисунок 3. Распределение параметров асбестовой пыли по вертикальной оси ТМОО на номинальном режиме ее работы: а) температуры; б) скорости

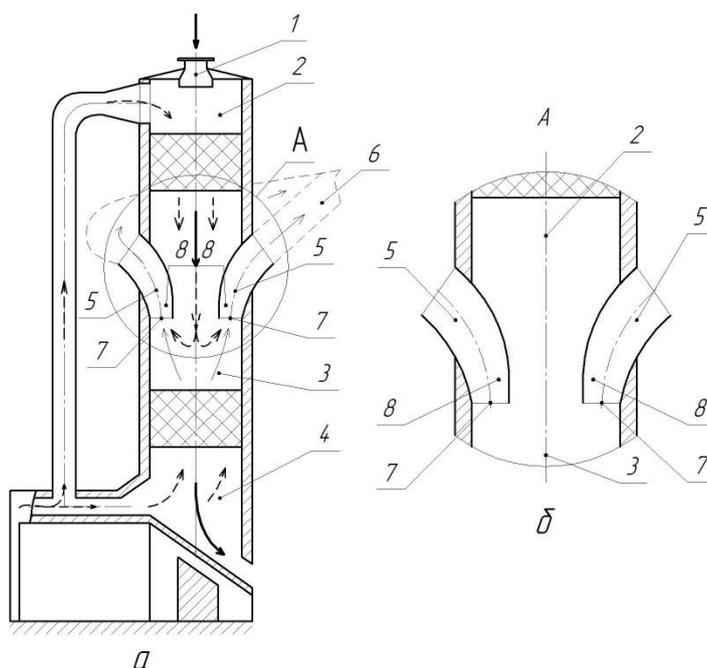


Рисунок 4. Схема: а – ТМОО; б - устройства аэрационной сепарации пыли

Проведенные на ВШСП №9 цеха ДиСхр АО «Костанайские минералы» экспериментальные исследования показали, что наибольшая эффективность печи и циклона, как в первой ступени пылеулавливания, достигается при следующих параметрах газового потока и асбестовой пыли на входе в пневмосушило:  $t_r \geq 150 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{п} \geq 45 - 55 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_r \geq 30 - 40 \%$ ,  $\varphi_{п} \geq 0,6 - 0,7 \%$ ;  $z_4 \leq 40 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ .

На рис. 4 представлена схема ВШСП, реализующая модифицированный метод аэрационной сепарации для повышения экологической эффективности, содержащая

загрузочное устройство 1, верхнюю прямооточную 2, нижнюю противоточную 3 части сушила, устройство выгрузки 4, входной коллектор 5 в газоотводящие каналы 6, с горизонтальным входом 7 в зоне схождения прямооточной и противоточной частей сушила, выполненный в виде вертикального диффузорного канала 8.

Модифицированная математическая модель аэрационной сепарации в виде уравнения вертикального движения частицы пыли диаметром  $d_i$  в диффузорном канале входного коллектора газоотводящих каналов получена в виде [16,15,]:

$$\frac{m_i dV_{bi}}{dt} = 3\pi\mu d_i k \cdot \left[ u(t) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_i}} + q\tau_i(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}}) \right] - \frac{\pi}{6} d_i^3 (\rho_i - \rho_r) q, \quad (1)$$

где  $V_{bi}$  - скорость  $i$  - ой частицы пыли по вертикальной оси сушила м/с;  $\mu$  - динамическая вязкость теплоносителя, Па\*с;  $k$  - коэффициент формы  $i$  - ой частицы пыли;  $u(t) = \frac{Q_1 + Q_2}{S_k(h)}$  -

скорость аэрозоля в диффузорном канале входного коллектора, м/с;  $Q_1 + Q_2$  - расход теплоносителя прямотока и противотока соответственно м<sup>3</sup>/с;  $S_k(h)$  - площадь диффузорного канала входного коллектора, м<sup>2</sup>;  $h(t)$  - текущая высота диффузорного канала входного

коллектора, м;  $\tau_i = \frac{d_i^2 \cdot \rho_i}{18 \cdot \mu k}$  время релаксации  $i$  - ой частицы пыли, с;  $\rho_i, \rho_r$  плотность  $i$  - ой частицы пыли и теплоносителя соответственно кг/м<sup>3</sup>;

Минимальный диаметр аэрационно сепарируемых частиц пыли в функции от их положения в диффузорном канале входного коллектора с учетом (1) после преобразования получим в виде:

$$d_{mi}(h) = \sqrt{\frac{18\mu k}{\rho_{i(h)} - \rho_{r(h)}} \cdot \frac{q}{\left[ u(h) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_i}} + q\tau_i(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}}) \right]}}. \quad (2)$$

Из анализа уравнения (2) видно, что оно представляет собой параметрическое уравнение с внешним параметром скорости теплоносителя, определяемой по формуле:

$$u(h_i) = \frac{Q_1 + Q_2}{S_{ок} + \int_0^{h_i} D(h) dh}, \quad (3)$$

где  $S_{ок}$  - площадь входа в диффузорный канал коллектора, м<sup>2</sup>;  $D(h)$  - локальная диффузорность вертикального канала входного коллектора;  $\rho_{i(h)} - \rho_{r(h)}$  - текущие плотности  $i$  - ой частицы пыли и теплоносителя в функции от их положения в диффузорном канале входного коллектора, изменяющиеся в процессе конвективного теплообмена в связи с изменением их температуры и влажности.

Скорость перемещения  $i$  – ой частицы пыли диаметром  $d_i$  в процессе аэрационной сепарации диффузорном канале входного коллектора газоотводящих каналов получим в виде:

$$V_{bi} = \left( q\tau_i - \frac{Q_1 + Q_2}{S_{\Pi} - S_{BK}} - \frac{Q_1 + Q_2}{S_{\text{вк}} + \int_0^{h_i} D(h)dh} \right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_i}} - q\tau_i + \frac{Q_1 + Q_2}{S_{\text{вк}} + \int_0^{h_i} D(h)dh}, \quad (4)$$

где  $S_{\Pi}$  – площадь сушила печи,  $\text{м}^2$ .

Время, в течение которого  $i$  – ая частица пыли диаметром  $d_i$  достигнет высоты  $h_i$  в диффузорном канале входного коллектора, определяется по формуле:

$$t_i = \tau_i \cdot \ln \frac{\frac{Q_1 + Q_2}{S_{\text{вк}} + \int_0^{h_i} D(h)dh} - q\tau_i}{\frac{Q_1 + Q_2}{S_{\text{вк}} + \int_0^{h_i} D(h)dh} - q\tau_i + \frac{Q_1 + Q_2}{S_{\Pi} - S_{BK}}}. \quad (5)$$

Из анализа уравнений (2 - 5) видно, что скорость, время движения в диффузорном канале и как результата медианный диаметр сепарируемых аэрацией частиц пыли не зависят от характера изменения локальной диффузности  $D(h)$  входного коллектора [20,21].

Таким образом, диффузорный канал обеспечивает дополнительную сушку взвешенных частиц рудного материала, направляя при этом ее в полезный концентрат, снижает концентрацию пыли на выходе из сушила печи, повышая тем самым повышая её экологическую эффективность.

На рисунке 5 приведены результаты исследования эффективности аэросепаратора, интегрированного в сушило ВШСП АО «Костанайские минералы».

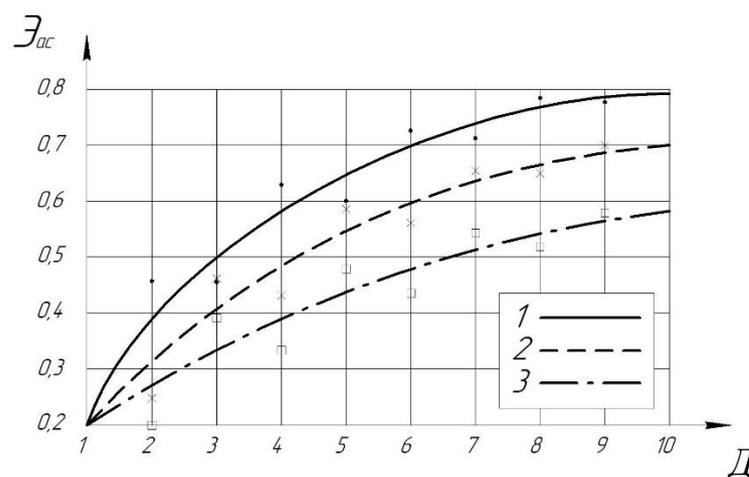


Рисунок 5 – Динамика изменения экологической эффективности шахтной печи от диффузности аэрационного сепаратора при:

$$t_1 = 500^{\circ}\text{C}; Pr = 28 \text{ кг} / \text{с}; S_{BK} = 2 \text{ м}^2; 1.Q = 13 \text{ м}^3 / \text{с}; Q = 17 \text{ м}^3 / \text{с}; Q = 22 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Из анализа рисунка 5, с учетом (6), видно, что применение оптимально спроектированного аэросепаратора в виде вертикального диффузорного канала, встроенного

в сушило печи, сепарирует до 80% хризотил-асбестовой пыли, направляя её в разгрузочное устройство и далее в черновой концентрат на обогащение и классификацию, позволяя повысить эффективность пылеулавливания совместно с циклоном СК-ЦН-34 с 93 % до 98 %, снизив тем самым нагрузку на ступень тонкой пылеочистки.

**Выводы.** 1. Экспериментальные исследования, проведенные в цехе ДиСхр АО «Костанайские минералы» и инженерный компьютерный анализ аэродинамических процессов в сушиле подтвердили гипотезу о преобладающем влиянии концентрации, медианного диаметра, дисперсии, температуры и влажности пыли, на качество пылеулавливания.

2. Сила Архимеда с учетом силы тяжести, действующая на рудную пыль в прямотоке, обуславливает снижение величины критерия Фруда и как результат существенный рост концентрации низкотемпературной влажной пыли из прямотока по отношению к концентрации высокотемпературной сухой пыли из противотока, на выходе из печи, что существенно снижает эффективность пылеулавливающего оборудования.

3. Для достижения экологической эффективности шахтных печей необходимо с помощью аэрационного сепаратора и термогенерации обеспечивать следующие параметры аэрозоля на выходе из сушила: температура теплоносителя  $150^{\circ}\text{C} \leq t_T \leq 200^{\circ}\text{C}$ , температура частиц пыли  $45^{\circ}\text{C} \leq t_{II} \leq 55^{\circ}\text{C}$ , влажность теплоносителя  $30\% \leq \varphi_{II} \leq 40\%$ , влажность частиц пыли  $0,6\% \leq \varphi_{II} \leq 0,7\%$ , концентрация пыли в аэрозоли  $z \leq 40\text{г} / \text{м}^3$ .

4. На базе принципа инерционно-гравитационной, термической аэросепарации предложена конструкция сепаратора, интегрированного в сушило печи и обеспечивающего с учетом достижения параметров, указанных в п. 3 экологическую эффективность печи 75 – 80 %, что позволяет повысить эффективность пылеулавливания совместно с циклоном СК-ЦН-34 с 93 % до 98 %, снизив тем самым нагрузку на ступень тонкой пылеочистки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антипов С.Т., Журавлев А.В., Казарцев Д.А, Бородкина А.В., Нестеров Д.А. Комбинированные аппараты с закрученным потоком теплоносителя для сушки дисперсных материалов//Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий-2014- с. 52-58.

2. Александрова Т. Н., Афанасова А. В., Кузнецов В. В., Бабенко Т. А. Исследование процессов селективной дезинтеграции медно-никелевых руд Заполярного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12. – С. 73–87. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_12\_0\_73.

3. Босиков И. И., Ключев Р. В., Хетагуров В. Н., Ажмухамедов И. М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 1. — С. 77—83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.
4. Бойков А. В., Савельев Р. В., Пайор В. А. Применение численного моделирования в горно-металлургической области / Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие». — СПб., 2019. — С. 31—34.
5. Буренин В.В. Удаление вредных веществ из пылевоздушных выбросов предприятий. // Экология производства. 2014. № 12. С. 56-63.
6. Velikanov, V.S., Dyorina, N. V., Suslov, N.M., Luntsova, A.I., Rabina, E.I. Automation of design for dynamic loading at the designing stage of mining machinery (2019) Journal of Physics: Conference Series, 1399 (3), article №033010, pp. 1-5. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033010.
7. Davydov S.Y., Valiev N. G., Tauger V.M. Effect of the Flow of Transported Bulk Material on Design Features of a Belt Conveyor (2019) Refractories and Industrial Ceramics, 60 (1), pp. 10-13. DOI:10.1007/s11148-019-00301-5.
8. Кычкин А.В., Николаев А.В. Архитектура киберфизической системы управления проветриванием подземного горнодобывающего предприятия на базе платформы Интернета вещей. Мехатроника, автоматизация, управление. 2021;22(3):115-123. <https://doi.org/10.17587/mau.22.115-123>.
9. Kornilov G., Gazizova O., Bunin A., Bulanov, M., Karyakin AL. Improving the quality of voltage in the conditions of the oxygen-converter shop of metallurgical production (2019) Proceedings - ICOECS 2019: 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems, article №8949928, DOI:10.1109/ICOECS46375.2019.8949928.
10. Lyaptsev, S.A. Classification of granular material in an impact with a separation surface/ Lyaptsev S.A., Davydov S.Y./Refractories and Industrial Ceramics.—2015.—Vol.55, №6.—pp.570–572.
11. Макаров В.Н., Макаров Н.В., Плотников Н.С., Потапов В.В. Математическое моделирование вихревого гидрообеспыливания на горно-обогатительных предприятиях. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 4. — С. 210-217.
12. Пелевин А. Е., Сытых Н. А., Черепанов Д. В. Влияние крупности частиц на эффективность сухой магнитной сепарации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11-1. — С. 293—305. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_111\_0\_293.

13. Романченко С. Б., Тимченко А.Н., Костеренко В.Н., Поздняков Г.А., Руденко Ю.Ф., Артемьев В.Б., Копылов К.Н. Комплексное обеспыливание/ М.:Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центра», 2016. -288с.
14. Тарасов П. И., Хазин М. Л., Голубев О. В. Снижение геоэкологической нагрузки горно-перерабатывающей промышленности северных и арктических территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 7. – С. 74–82. DOI: 10.25018/02361493-2019-07-0-74-82.
15. Torshizi S. A. M., Benisi A. H., Durali M. Numerical optimization and manufacturing of the impeller of a centrifugal compressor //Scenting Iranica, 2017, No 24, pp.707–714. DOI:10.1115/GT2016-57105.
16. Угольников А.В., Макаров В.Н., Макаров Н.В. Оптимизация геометрических параметров гидровихревого инерционного стратификатора Вентури. Записки горного института – 2019. – Т. 240. – С. 638-648. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.638
17. Fair R., Laar J. H., Nell K., Nell D., Mathews E. H. Simulating the sensitivity of underground ventilation networks to fluctuating ambient conditions // South African Journal of Industrial Engineering November. 2021, vol. 32, no. 3, pp. 42—51. DOI: 10.7166/32-3-2616.
18. Н.А. Шаров, Р.Р. Дудаев, Д.И. Крищук, М.Ю. Лискова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т.19, №2. – С.184–200. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.8
19. Юрьев Б.П., Гольцев В.А., Мальцев, В.А.,Савин В.А.Сушка хризотиловой руды в вертикальных аппаратах шахтного типа//Строительные материалы. 2016; № 8. стр. 80.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОМ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ АСБЕСТОСОДЕРЖАЩЕГО  
СЫРЬЯ**

ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В.В. АРХИПОВ М.В., КУЗНЕЦОВ А.М., ТЕТЕРЕВ Н.А.

Уральский государственный горный университет

*Аннотация.* В статье предлагается технология переработки асбестосодержащего сырья с точки зрения экологической безопасности. Закономерно, что одной из экологических проблем города является асбестовая пыль, которая влияет на загрязнение атмосферы и существенно воздействует на здоровье. Неблагоприятная ситуация складывается и вокруг захоронения отходов, поскольку системы сбора отходов в городе попросту не существует, это сказывается не только на людях, но и на экономике предприятия, так как влечет за собой необходимость остановки производства. Существующие технологии требуют внедрения новых решений, позволяющих снизить вредные факторы, ведущие к загрязнению окружающей среды. Решение этой проблемы может быть устранено с помощью усовершенствования технологий, и аппаратов реализующих эту технологий.

*Ключевые слова:* экология; асбестовая пыль, аппараты, асбестовая руда, предварительное разделение, технология.

**THE USE OF DEVICES IN THE ENVIRONMENTALLY SAFE TECHNOLOGICAL  
PROCESS OF PROCESSING ASBESTOS-CONTAINING RAW MATERIALS**

POTAPOV V. Ya., POTAPOV V.V. ARKHIPOV M.V., KUZNETSOV A.M., TETEREV N.A.

Ural State Mining University

*Abstract.* The article proposes a technology for processing asbestos-containing raw materials from the point of view of environmental safety. Naturally, one of the environmental problems of the city is asbestos dust, which affects atmospheric pollution and significantly affects health. An unfavorable situation is also developing around waste disposal, since there is simply no waste collection system in the city, which affects not only people, but also the economy of the enterprise, as it entails the need to stop production. Existing technologies require the introduction of new solutions to reduce harmful factors leading to environmental pollution. The solution to this problem can be eliminated by improving technology.

**Key words:** ecology, asbestos dust, apparatuses, asbestos ore, preliminary separation, technology.

**Введение.** Современная эпоха развития науки и техники, являющаяся решающим фактором роста производства, неизбежно воздействует на окружающую среду, взаимодействие человека и природы особо остро проявляется в экологических проблемах горнодобывающей промышленности, создает проблемы в сфере охраны окружающей среды и здоровья населения.

В горнодобывающую промышленность входит множество отдельных производств, которые осуществляют разработку полезных ископаемых: угля, глины, асбеста, слюды, графита, калиевого полевого поташа, известняка, алмазов, урановой и железной руды, благородных и базовых металлов, а также всевозможных минеральных материалов. Большое количество и разнообразие отходов. На комбинате (ОАО "Ураласбест"), который производит 21% хризотил-асбеста в мире и 45% в России, 78% добычи поставляется на экспорт.

Закономерно, что одной из экологических проблем города является асбестовая пыль. Хризотиловый асбест является веществом, способствующим воздействию канцерогенов на клетки организма. Кроме того, многолетний контакт с данным минералом вызывает заболевания лёгких. Асбест является причиной развития двух редких заболеваний - мезотелиомы (онкологическое) и асбестоза (лёгочное). Тем не менее вероятность развития данных патологий существенно ниже, чем, например, вызванных курением. Поэтому считается, что в целом воздействие хризотил-асбеста (в отличие от его более токсичного "сородича" амфибола) при соблюдении мер безопасности не оказывает существенного воздействия на здоровье. Вместе с тем по данным статистики 2012 года Асбест занимает 5-е место в рейтинге самых грязных городов России по объёму выбросов в атмосферу, 98% которых приходится на предприятия асбестодобывающей и асбестоперерабатывающей промышленности. Неблагоприятная ситуация складывается и вокруг захоронения отходов, поскольку системы сбора отходов в городе попросту не существует, и предприятия не утруждают себя вывозить вредные вещества на специальные полигоны, а попросту оставляют их в лесных массивах поблизости города. Власти Свердловской области также признают назревшие экологические проблемы [1].

Это обусловило необходимость решения научно - прикладной задачи создания экологически безопасного технологического процесса переработки асбестосодержащего сырья. Существующие технологии требуют внедрения новых решений, позволяющих снизить

вредные факторы, ведущие к загрязнению окружающей среды. Решение этой проблемы может быть устранено с помощью усовершенствования технологий [2-4].

С точки зрения экологической безопасности наиболее перспективными для переработки асбестосодержащего сырья можно считать технологии, основанные на базе создания эффективных аппаратов, позволяющих разделять руды в крупнокусковом виде, а также разделение мелко - дисперсных материалов с удалением вредных примесей [9].

В ряде работ [5-10] указывается на целесообразность применения предварительного разделения асбестовых руд. Такой опыт существует на предприятиях Канады, где в качестве методов предварительной концентрации используют магнитную сепарацию, избирательно дробление (как правило, в ударных дробилках) — грохочение. Следует заметить, что содержание асбеста в рудах отечественных месторождений в несколько раз ниже, чем в канадских [11-14], потому применение предварительного обогащения на Российских предприятиях просто необходимо по экологическим и экономическим соображениям. Выведение из дальнейшей переработки значительной части бедных фракций позволяет: снизить эксплуатационные расходы на производство готовой продукции благодаря значительному ресурсосбережению (электроэнергия, тепло, материалы, воздух и т. п.); повысить не только качество готовой продукции за счет снижения содержания гали и пыли, но и уменьшить выбросы пылевидных частиц, увеличить содержания длинного волокна в товарном асбесте; продлить срок службы основного технологического оборудования, поскольку в продуктах снижается доля породных наиболее абразивных частиц.

Выведение щебня на последних стадиях дробления в некоторых случаях используется и в нашей стране. Так, на фабрике № 6 АО «Ураласбест» щебень выделяют грохочением, а на фабрике № 4 бедную фракцию из надрешетного продукта грохота выделяют магнитной сепарацией [15-17]. Эффективность избирательного дробления повышается в ударных дробилках [18-24]. Пример распределения асбеста по классам крупности после ударного дробления приведен в таблице.1.

Таблица 1 - Результаты ситового анализа асбестовой руды крупностью -150+50 мм, раздробленной на ударной дробилке ВМД

Класс крупности, мм	Выход, %	Массовая доля асбеста, %	Распределение асбеста, %
+75	13,17	0,46	5,84
-75+50	12,86	0,30	3,72
-50+35	10,79	0,25	2,60

-35+25	1,38	0,12	1,20
-25 + 18	11,93	0,53	6,10
-18+10	15,35	0,72	10,66
-10+0	25,52	2,84	69,88
Итого:	100,00	1,04	100,00

Данные методы предварительного обогащения имеют определенные ограничения. Эффективность избирательного дробления-грохочения зависит от типа асбестоносности руды. Если руды с асбестоносностью типа «мелкопрожил и мелкая сетка» легко обогатимы этим методом (при ударном дроблении из этого типа руд можно выделить до 60 % хвостов с содержанием асбеста 0,42 %), а руды с асбестоносностью типа «отороченные жилы» являются труднообогатимыми (можно выделить до 15 % хвостов с содержанием асбеста 0,54 %), то руды с асбестоносностью типа «крупная сетка» данным методом необогащаются совсем. Для последнего типа руд характерно отсутствие избирательности разрушения, и руда данного типа в этой крупности остается в виде сростков. Нераскрытая часть рядовой руды (смеси в различных пропорциях руды разных типов асбестоносности) представляет собой сростки, с наличием которых связывают возможности предварительного обогащения магнитным методом, поскольку именно на контактах жил асбеста и вмещающих пород содержится основное количество магнетита. Поэтому сростки в большинстве своем являются магнитными телами, а отдельно асбест и вмещающие породы (серпентинит, дунит, перидотит и т. д.) либо немагнитны, либо слабомагнитны. Следовательно, при переработке смеси руд различной асбестоносности избирательное дробление-грохочение желательно сочетать с магнитной сепарацией. При этом выделенный грохочением надрешетный продукт может иметь содержание асбеста выше отвального и для выделения в отвал его целесообразно обогатить магнитной сепарацией, в которой в магнитный продукт перейдут сростки (главным образом сростки руд типа «крупная сетка и отороченные жилы»), а в немагнитный продукт — породные куски (раскрытые породные куски руд типа «мелкопрожил и мелкая сетка», а также отороченные жилы).

Магнитная сепарация асбестовых руд Баженовского месторождения применима для крупности - 75+20 мм. В таблице 2 [4,15-17] приведены примеры магнитного обогащения этих руд.

Таблица 2 - Результаты магнитного разделения руды на сепараторе ЭБС-80-170

Класс крупности, мм	Продукт разделения	Выход, %	Массовая доля асбеста, %	Извлечение асбеста, %
-40+20	Магнитный	73,2	1,28	90,92
	Немагнитный	26,8	0,35	9,08
	Исходный	100,0	1,03	100,00
-50+25	Магнитный	65,0	1,96	86,18
	Немагнитный	35,0	0,58	13,82
	Исходный	100,0	1,48	100,00

В более мелких классах сростки раскрываются и становятся немагнитными, магнетит переходит в мелкие классы. Магнитная сепарация крупных классов также становится менее эффективной, поскольку не существует магнитных сепараторов с достаточно сильным магнитным полем для крупнокусковых руд. Кроме того, специфическая минерализация и весьма неравномерное распределение магнетита по объему кусков осложняют процесс сепарации, поскольку в высокоградиентных полях напряженность очень резко падает при удалении от поверхности барабана магнитного сепаратора и куски с концентрацией магнетита в удаленных от магнитной системы частях могут не перейти в магнитный продукт. Экспериментально установлена верхняя граница крупности для магнитного обогащения – 75 мм.

Поскольку избирательное дробление-грохочение и магнитная сепарация применимы в последних стадиях дробления, а машинный класс магнитной сепарация достаточно узок, данными технологическими приемами исчерпываются не все возможности предварительного обогащения.

Эффективность предварительного обогащения может быть существенно повышена, если его применять в нескольких стадиях рудоподготовки [9,25-31]. Принципиальная схема показана на рисунке 1.

В данной схеме наряду с фрикционными сепараторами включены фотометрические, магнитные сепараторы и комбинации дробилок для избирательного дробления. Она включает: бункер – 1, питатель – 2, щековую дробилку – 3, конвейера – 4, грохота – 5, фотометрические сепараторы – 6, барабанно-полочный фрикционный сепаратор (БПФС) – 7, магнитный сепаратор (ЭБС-80/170) – 8, дробилки среднего – 9 и мелкого дробления – 10, элеватор – 11, роторную дробилку (ДР 4х4) – 12, сепаратор по трению и упругости (СПРУТ) – 13, питатель лотковый – 14, барабанную сушилку – 15, хвосты на дробление и грохочение с выделением стандартных фракций щебня – 16, концентрат предварительного разделения – 17, черновой концентрат (промпродукт) после сушки – 18.

Как показывают исследования контрастности (табл.3.), в разных классах крупности после различных стадий дробления асбестовые руды готовы к предварительному обогащению в самых крупных классах – (-300+150 мм) [4,7-8].

Поэтому начать предварительное обогащение целесообразно после I или II стадии дробления. В этом случае еще не применима ни магнитная сепарация, ни избирательное дробление.

В этой крупности наиболее подходящим методом является фотометрическая сепарация (ФС) — один из видов радиометрической сепарации [30].

Таблица 3 - Расчет кривых контрастности руды класса +150 мм после I стадии дробления ОФ (АО «Ураласбест»)

Массовая доля, %	Фракционный состав		Хвосты		Концентрат	
	выход, %	массовая доля асбеста, %	выход, %	массовая доля асбеста, %	выход, %	массовая доля асбеста, %
< 0,1	46,89	0,03	46,89	0,03	100,00	0,94
0,1—0,2	7,51	0,15	54,4	0,05	53,11	1,73
0,2—0,4	10,50	0,25	64,9	0,085	45,59	1,99
0,4—0,6	2,85	0,52	67,75	0,10	35,07	2,51
0,6—0,8	1,86	0,62	69,61	0,12	32,22	2,69
0,8—1,0	0,00	0,00	69,61	0,12	30,39	2,82
1,0—1,5	3,80	1,43	73,41	0,16	30,39	2,82
1,5—2,0	8,57	1,62	81,98	0,34	26,39	3,01
2,0—3,0	8,20	2,58	90,18	0,54	18,01	3,68
> 3,0	9,82	4,58	100,0	0,94	9,87	4,58
Итого:	100,00	0,94	—	—	—	—

Ее целесообразно применять в 2–3-х машинных классах с предварительным отделением мелких классов грохочением.

В результате разделения руд фотометрической сепарации (ФС) могут быть получены обогащенные продукты с содержанием асбеста  $\alpha_{\text{в}} = 0,88 - 2,14 \%$  и хвосты с содержанием  $\alpha_{\text{хв}} = 0,32 - 0,38 \%$ , которые дополнительным дроблением-грохочением могут быть переведены в товарный щебень. Выход хвостов к руде в пределе может составить 30 – 47 % [30].

Второй же прием предварительного обогащения может быть связан с применением сочетания таких методов, как избирательное дробление-грохочение и магнитная сепарация [15-17]. Их можно использовать после III стадии дробления. В этом случае в III стадии дробления целесообразно использовать роторные (ударно-отражательные) дробилки [22-23], а также грохочение по классу 30 – 40 мм и магнитную сепарацию надрешетного продукта. Немagnetный продукт представляет собой хвосты, которые можно использовать в качестве щебня. Magnetный продукт является обогащенным. Подрешетный продукт грохочения целесообразно направить в сушилку, после которой объединить с magnetным продуктом [31].

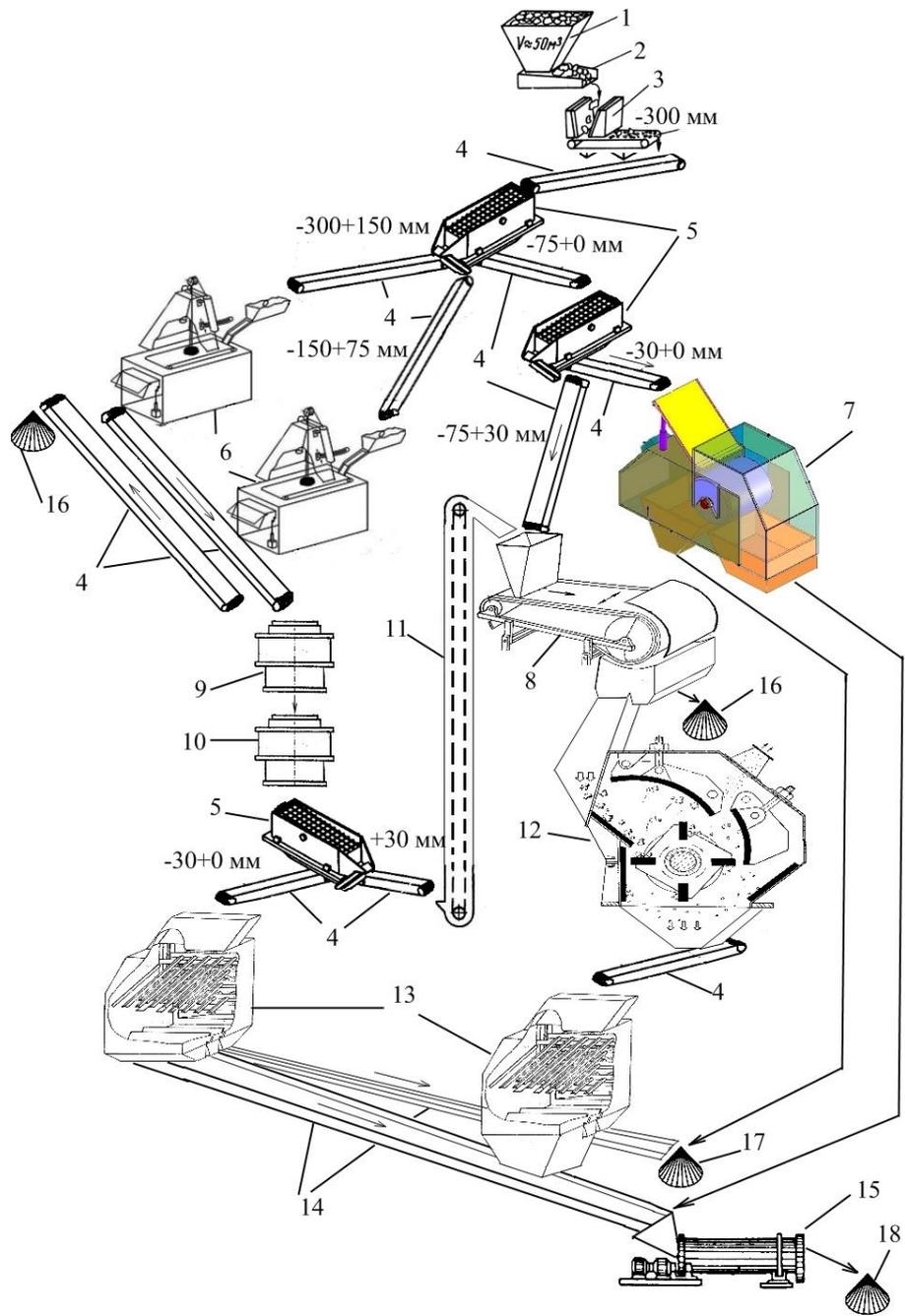


Рисунок 1 Схема установки аппаратов в комбинированной технологии предварительного разделения асбестовых руд

Следующий прием предварительного обогащения может быть реализован в цехе обогащения после I или II стадии дробления схемы рудного потока. Он осуществляется сепарацией по трению и упругости с выделением богатого продукта с большим содержанием обогащенного волокна (от 8 – 16 %) — черного концентрата [9,26-29,31].

Также можно использовать сепарацию класса -30+0 мм после I стадии операции грохочения. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Показатели разделения продуктов при различном сочетании покрытий разгонной плоскости и барабана на сепараторе для разделения материала по трению и упругости (крупность -30 +0 мм)

Материал		Продукт разделения	Выход продукта, %	Массовая доля свободного волокна крупностью +0,5 мм, %
разгонной плоскости	барабана			
Сталь	Сталь	Концентрат	8,98	15,67
		Хвосты	91,02	0,3
		Итого:	100,0	1,68
Резина	Резина	Концентрат	6,3	8,24
		Хвосты	93,7	0,3
		Итого:	100,0	0,8
Резина	Сталь	Концентрат	5,61	15,63
		Хвосты	94,39	0,3
		Итого:	100,0	1,16
Сталь	Резина	Концентрат	9,63	11,31
		Хвосты	90,37	0,30
		Итого:	100,0	1,36

Отличие последнего приема предварительного обогащения от предыдущих состоит в том, что из процесса удаляются не отвальные хвосты, а в отдельный продукт выделяется черновой концентрат, который не подвергается в дальнейшем излишним операциям дробления, что позволяет не деформировать длину волокна, а также уменьшить количество пыли и гали в продуктах обогащения, тем самым получив более качественный товарный асбест.

Предлагаемая принципиальная схема и рассмотренные выше методы предварительного обогащения асбестовых руд при адаптации с учетом специфики руд и предприятий могут быть применены для всех отечественных асбестообогатительных фабрик, перерабатывающих руды различных месторождений.

Предложенная схема позволяет снизить энергетические затраты в дробильно-сортировочном комплексе. Кроме того, за счет снижения потерь асбеста с хвостами становится возможным увеличить выпуск товарного асбеста.

**Выводы.** Использование аппаратов в экологически безопасном технологическом процессе переработки асбестосодержащего сырья с применением предварительного разделения

асбестовых руд позволит существенно уменьшить объём выбросов в атмосферу мелко дисперсных отходов, 98% которых приходится на предприятия асбесто добывающей и асбесто перерабатывающей промышленности и соответственно уменьшит вредное воздействие на здоровье людей и окружающую среду, и улучшить экологическую ситуацию.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. <https://xn--e1abcgakjmf3afc5c8g.xn--p1ai/communication/forums/ecology/zadykhayushchiesya-goroda-rossii-asbest>
2. Половнев Б. А., Шалюгина В. А. Пути интенсификации технологических процессов на дробильно-сортировочных комплексах асбестообогатительных фабриках // Строительные материалы. – 1987. – № 6. – С.11-13.
3. Белов М. А. Экономическое обоснование целесообразности выделения из технологического процесса классов руды с низким содержанием асбеста в цехах ДСК // Технология обогащения: Сб. научных трудов ВНИИпроектасбеста – Асбест, 1970. – С. 63–68.
4. Цыпин Е. Ф., Пелевин А. Е., Лавник В. Я., Груздев А. Г., Слесарев О. Ю. Значение предварительной концентрации асбестовых руд // Строительные материалы. –1988. – № 7. – С. 16–20.
5. Цыпин Е. Ф. Научные основы технологии предварительного обогащения минерального и техногенного сырья: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Е. Ф. Цыпин. – Екатеринбург, 2000. – 44 с.
6. Исследование физико-механических свойств руд хризотил-асбеста для разработки способов и устройств для предварительного обогащения в дробильно-сортировочном комплексе: Отчет / № гос. регистрации 018527675 / Е. Ф. Цыпин, А. Е. Пелевин, В. Я. Потапов. – Свердловск, 1987. – 142 с.
7. Методика по изучению гранулометрического состава и контрастности полезных ископаемых для оценки возможности обогащения их с помощью радиометрических методов / ВИМС – М., 1978. – 25 с.
8. Мокроусов В. А., Лилеев В. А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. – М.: Недра, 1979. – 192 с.
9. Потапов В. Я. Анализ, разработка и моделирование аппаратов для разделения горных пород автореф. дис. д-ра техн. наук / В.Я. Потапов. – Екатеринбург, УГГГУ.-2012г. - 30с.

10. Цыпин Е. Ф. Предварительное обогащение асбестовых руд – эффективность путь к энергосбережению / В. Я. Потапов, Е. Ф. Цыпин, А. Е. Пелевин // Известия УГГГА, Сер. «Горная электромеханика». – № 12, 2001. – С. 157–175.
11. Martinez E. Magnetic concentration of Asbestos // Cim Bulletin. - 1979. – N 805. – P. 100–104.
12. Owyer F. B, Thompson R. L., Ore sorting. / Develop and Innosot. Aust. Process Ind //, Aust. Chem. Eg. Conf., Newcastle, 1972, Pop. Sudney, S. A. – P. 81–88.
13. Arvidson et al. Recent advances in dry high-intensity permanent-magnet separator technology // Preprints XIV International Mintral Processing Congres. – Toronto (Canada). – October. – 1982. – P. 71–79.
14. Шварц Е. Магнитные свойства асбеста. Определение абсолютного содержания магнетита // Canadian Miningand Metallurgical Bulletin. - Desember. – 1971. – P. 55–59.
15. Газалеева Г. И. Разработка технологии обогащения магнетитосодержащих асбестовых руд: дис. ...канд.техн. наук / Г. И. Газалеева. – Ленинград, 1988. – 277 с.
16. Пелевин А. Е. Предварительное обогащение асбестовой руды с использованием магнитной сепарации: дис: ... канд. техн. наук. – Свердловск, 1989. – 225 с.
17. Потапов В.Я., Потапов В.В., Свиридов К.К., Лавренов Н.Е. Исследование фрикционных и магнитных характеристик асбестовых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 5. С. 145-154.
18. Хопунов Э. А. Некоторые методологические аспекты изучения процессов раскрытия руд // Совершенствование процессов рудоподготовки: Междудведомст. сб. научных трудов. Механобр.- Ленинград, 1980. – С. 116–120.
19. Булатова З. П., Илюхина Г. Г.Предпосылки для поиска рациональных способов дезинтеграции асбестосодержащих промпродуктов // Совершенствование и разработка нового технологического оборудования асбестообогачительных фабрик / Сб. научных трудов ВНИИпроектасбеста – Асбест, 1989. – С. 25–34.
20. Умнова В. В., Чечулина Г. М., Филип П. Р. К вопросу об оценке селективного разрушения асбестовых руд // Сб. научных трудов ВНИИПроектасбеста – Асбест, 1989. – С. 16–24.
21. Селективное разрушение минералов / Под ред. В. И. Ревнивцева. - М.: Недра, 1988. – 286 с.
22. Лихота Е. А., Смирнова Л. Я. Исследование избирательного дробления руд хризотил-асбеста в зависимости от типа асбестонности и способа дробления // Добыча и

обогащение асбестовых руд. Сб. научных трудов ВНИИпроектасбеста – Асбест, 1970. – С. 50–62.

23. Потапов В. Я. Избирательность разрушения руд различной асбестоносности и возможности их предварительного обогащения / Е. Ф. Цыпин, А. Е. Пелевин, В. А. Шалюгина, В. Я. Потапов, Н. М. Тююшева // Известия вузов. Горный журнал. – № 4, 2000. – С. 139–143.

24. Поиск новых методов, способов и средств эффективного выделения бедных фракций асбестовой руды с целью снижения энергоемкости процесса обогащения асбеста: Отчет / № гос. регистрации 0187.00177759/ ВНИИпроектасбест: Е. Ф. Цыпин, А. Е. Пелевин, В. Я. Потапов, В. А. Шалюгина, А. И. Сычева, Л. М. Балабаева. – Асбест, 1988. – 160 с.

25. Потапов В. Я. Потапов В.В, Анохин П.М., Степаненков Д.Д. Выбор информативных признаков для разделения асбестовых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 4. С. 53-64.

26. Потапов В. Я. Методика определения упругих и фрикционных характеристик сыпучих материалов / В. Я. Потапов, Е. Ф. Цыпин, С. А. Ляпцев, А. И. Афанасьев // Изв. вузов, Горный журнал, 1998. – № 5-6. – С. 103–108.

27. Потапов В. Я. Обоснование методов экспериментального определения коэффициентов трения качения для горных пород / С. А. Ляпцев, В. Я. Потапов // Фундаментальные исследования. М.: РАЕ, № 3, 2012. С.102–105. URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op+show\\_article&article\\_id=7981910](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op+show_article&article_id=7981910)

28. Потапов В. В. Исследование процесса разделения угольных формаций на сепараторе по трению и упругости (СПРУТ) / В. В. Потапов, В. Я. Потапов, // ГИАБ, изд. Горная книга № 4, 2011. – С. 311–314.

29. Сепаратор для разделения материалов по трению и упругости: пат. Ru № 111780, заявл. 24.06, опубл. 27.12.2011. Бюл. № 36126, В. Я. Потапов, А. И. Афанасьев, С. А. Ляпцев, Е. Ф. Цыпин, В. В. Потапов, В. В. Иванов.

30. Потапов В. Я. Фотометрическая сортировка асбестовых руд / Е. Ф. Цыпин, В. Я. Потапов // Известия вузов Горный журнал. – № 2, 2002. – С. 57–64.

31. Потапов В. Я. Технология комбинированного предварительного обогащения асбестовых руд / Е. Ф. Цыпин, В. Я. Потапов // Известия вузов. Горный журнал. – № 6, 2001. – С. 161–166.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

ПОТАПОВ В.Я., ПОТАПОВ В.В., АРХИПОВ М.В., КУЗНЕЦОВ А.М., ПАРАМОНОВ К.А.

ФБГОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

*Аннотация.* Активное развитие горнодобывающей отрасли приводит к интенсивному росту уровня экологических рисков для окружающей среды РФ. Для территорий вокруг горных предприятий характерно загрязнение грунтов и водных объектов широким спектром веществ, в том числе тяжелыми и редкоземельными металлами. Дополнительным источником значительного экологического риска является и тот факт, что до настоящего времени основным способом размещения отходов добычи и обогащения во всем мире по-прежнему является заполнение поверхностных хвостохранилищ.

*Ключевые слова:* процессы обогащения, влияние на окружающую среду, процессы окисления, горная промышленность, обогатительная промышленность.

**ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF MINERALS ENRICHMENT**

POTAPOV V.YA., POTAPOV V.V., ARCHIPOV M.V., KUZNETSOV A.M.,  
PARAMONOV K.A.

Ural State Mining University

*Abstract.* Active development of the mining industry leads to an intensive growth of the level of environmental risks for the environment of the Russian Federation. The territories around mining enterprises are characterized by pollution of soils and water bodies with a wide range of substances, including heavy and rare earth metals. An additional source of significant environmental risk is the fact that to date the main method of placing mining and enrichment waste worldwide is still filling surface tailings storage facilities.

*Keywords:* enrichment processes, environmental impact, oxidation processes, mining industry, beneficiation industry

Процессы обогащения полезных ископаемых сопровождаются выбросами загрязняющих веществ, образованием сточных вод, отходов и другими воздействиями на окружающую среду, зависящими от состава обогащаемого минерального сырья, выбранного метода обогащения, применяемых технических и технологических решений. Наиболее значимое негативное воздействие на компоненты окружающей среды оказывают операции по размещению отходов обогащения.

Отходы обогащения (порода, хвосты (шламы) представляют собой мелкофракционный материал, в т.ч. содержащий остатки применяемых реагентов, размещаемые на объектах размещения

отходов (отвалах, хвостохранилищах (шламонакопителях).

Воздействие от объектов размещения отходов обогащения проявляется в виде изъятия земель, трансформации естественных ландшафтов, статической нагрузки на грунты, загрязнении компонентов окружающей среды.

Загрязнение окружающей среды проявляется в случаях:

- фильтрации загрязненных сточных вод через основания и дамбы гидротехнических сооружений при нарушении целостности или отсутствии изолирующих экранов;
- пыления с поверхности объектов размещения отходов;
- аварийных прорывов дамб, пульпопроводов и др.

Отходы обогащения за счет мелкофракционного состояния могут активно вступать в химические реакции при доступе воды и кислорода с образованием опасных веществ и соединений, способных мигрировать в подземные горизонты, загрязнять, в том числе закислять, почвы и водные объекты. Загрязнение компонентов окружающей среды приводит к угнетению водных и прибрежных биоценозов, ухудшению качества воды источников водоснабжения и др.

На хвостохранилищах (шламонакопителях) возможно развитие опасных инженерно-геологических процессов и явлений, таких как оплывания откосов дамб, появление зон высачивания вод, оседания, промоины и др.

Аварийные ситуации могут привести к катастрофическим последствиям в связи с затоплением и погребением значительных площадей естественных ландшафтов, разрушением зданий и сооружений, инженерных коммуникаций, уничтожением растительного покрова, гибелью людей и животных, значительным загрязнением почв, поверхностных и подземных водных объектов.

Состав загрязненных сточных вод при обогащении полезных ископаемых зависит от состава минерального сырья, применяемых реагентов и др.

Загрязнение водных объектов негативно сказывается на водном биоразнообразии, а также на возможностях использования водного объекта в хозяйственных и рекреационных целях.

Процессы обогащения сопровождаются значительным водопотреблением. Источником водоснабжения могут являться очищенные сточные воды системы оборотного водоснабжения предприятия либо свежая вода из поверхностных или подземных источников.

При обогащении угля и руды на обогатительных фабриках основными загрязняющими атмосферный воздух ингредиентами являются:

- ✓ пыль от процессов сортировки, дробления, грохочения горной массы и продукции, узлов перегрузки и погрузки/разгрузки, мест складирования и хранения горной массы и продукции, а также обжига, сушки концентрата после мокрого обогащения. Состав пыли зависит от вида обогащаемого полезного ископаемого, а также химического и морфологического состава горной массы;
- ✓ оксиды азота, оксид углерода, диоксид серы, зола, бенз(а)пирен - при сжигании топлива

в отделениях обжига и на установках сушки концентрата (после мокрого обогащения);

✓ специфические загрязняющие вещества от реагентных, флотационных отделений, в зависимости от технологии обогащения и состава обогащаемого полезного ископаемого [1].

Непрерывно возрастающие объемы добычи полезных ископаемых из недр земли приводят ко все более заметному изменению физического состояния верхнего слоя литосферы. В настоящее время повсюду на земле человек ежедневно нарушает сложившееся за тысячелетия природное равновесие, изменяет облик поверхности, водный, газовый, термический и геохимический режимы. Все это не только убыстряет геохимические процессы или меняет их направление, но и существенно усложняет экономическую деятельность в районах разработки месторождений.

Помимо изъятия из сельскохозяйственного производства плодородных земель, к ущербам, наносимым горной промышленностью, относятся также загрязнение атмосферы, почвы, поверхностных и подземных вод, приповерхностные и глубинные геохимические изменения.

К основным нарушениям окружающей среды, возникающим в процессе ведения горных работ, относятся: нарушения поверхности земли в связи с изъятием из недр полезных ископаемых; ухудшение гидрологических режимов в пределах горных отвалов и в примыкающих к ним районах; нарушения окружающей среды в связи с изменением ландшафтов.

Важный фактор влияния горнодобывающей промышленности на окружающую среду - отходы предприятий (порода и хвосты обогащения), собираемые в отвалы. Кроме того, что отвалы требуют больших площадей земельных отвалов, изымаемых из сельскохозяйственного оборота, интенсивность выделения газов из терриконов и отвалов, где они образуются в основном в результате окислительных процессов, довольно высока [2].

Вынос в атмосферу мельчайших минеральных частиц - пыли в свободном состоянии и в виде аэрозолей, как вид загрязнения воздуха, характеризуется тем, что минеральные частицы загрязняют воздушное пространство главным образом вблизи терриконов и отвалов. Опасность в этом случае тем более велика, что в почве и в водоемах непрерывно накапливаются вплоть до недопустимых концентраций некоторые вредные компоненты.

Горная промышленность совместно с перерабатывающей промышленностью во много раз ускоряют процесс разрыва связей геохимического равновесия, на первый взгляд, в локальных масштабах. Однако локальность нарушения этого равновесия - явление кажущееся, так как по пищевой цепи нарушенность равновесия, как бы медленно она не протекала, перерастает в региональный характер. Рудничная пыль, воды и аэрозоли хвостохранилищ обогатительных фабрик выносят в окружающую среду многие химические элементы или образования, которые переносятся в свободном виде или в виде коллоидов поверхностными и грунтовыми водами на большие или меньшие расстояния, загрязняя соответствующие территории [3].

Гипергенез дезинтегрированного, увлажненного и смешанного с остатками флотационных

реагентов материала хвостов в открытых к атмосфере условиях и пыление хвостов в летний период при возникновении неблагоприятных метеорологических условий способствуют ускорению мобилизации металлов и вторичному загрязнению территории с водными и воздушными потоками. При аэротехногенном переносе частиц наблюдается взаимодействие не только с атмосферными осадками, но и с почвенными органосодержащими растворами. Сложный комплекс взаимодействий растворов органических кислот природного происхождения с тонкодисперсными хвостами обогащения интересен с точки зрения влияния на мобильность загрязняющих веществ: увеличения их подвижности, либо фиксации загрязнителей в почвах. Максимальному выносу подвержены растворимые соединения поллютантов, легко включающиеся в биогеохимические циклы элементов и, в конечном итоге, оказывающие воздействие на биоту и здоровье населения [4].

В качестве примера доказательства влияния обогащения на окружающую среду, рассмотрим процессы окисления сульфидов. Процессы окисления сульфидов при обогащении руд и в складированных рудах и отходах во многом схожи, но имеется и ряд существенных отличий:

✓ в процессе обогащения объем жидкой фазы значительно превосходит объем минеральных зерен, вследствие чего последние в основном находятся во взаимодействии с растворами. В складированных рудах и хвостах обогащения минеральные зерна соприкасаются друг с другом, а объем жидкой фазы меньше объема твердых минеральных частиц;

✓ при обогащении руд в составе пульпы присутствуют реагенты, в том числе органические, активно влияющие на окислительно-восстановительный потенциал среды. В складированных продуктах роль реагентов невелика;

✓ в обогатительном процессе растворимые продукты окисления сульфидов разбавляются жидкой фазой пульпы и сравнительно равномерно распределяются в ее объеме, при окислении в составе складированных отходов иногда, особенно при попеременном увлажнении и высыхании, продукты окисления могут образовывать концентрированные растворы и активно взаимодействовать с неокисленными минералами;

✓ величина pH раствора в обогатительном процессе формируется искусственно, в горнопромышленных отходах - естественным путем;

✓ процесс обогащения длится не более 1 – 2 ч, тогда как хранение складированных руд и отвальных продуктов продолжается многие годы.

При хранении горнопромышленных отходов принципиально возможна реализация следующих механизмов окисления сульфидов:

- 1) окисление сульфидов кислородом воздуха без участия воды;
- 2) окисление через ионные соединения в растворе;
- 3) адсорбция окислителя на сульфиде, химическое взаимодействие сульфида с окислителем, дальнейшее окисление с участием ионов воды и переход растворимых новообразований в раствор;

4) растворение сульфида в кислых средах с образованием сероводорода и окисление последнего до элементарной серы, тиосульфат-иона, полисульфатов, сульфитов или сульфатов;

5) электрохимическое окисление сульфидов;

6) бактериальное окисление.

Роль того или иного механизма окисления сульфидов определяется климатическими, гидрологическими и геохимическими условиями хранения горнопромышленных отходов [5].

Совершенствование процессов обогащения и глубокой переработки полезных ископаемых, выступает рост их экологичности, заключающийся, прежде всего, в снижении ущерба окружающей среде. Требования экологичности, безусловно, нередко вступают в противоречие с требованиями экономической и социальной целесообразности и эффективности процессов обогащения и глубокой переработки полезных ископаемых.

Главным направлением минимизации влияния на окружающую среду является совершенствование процесса обогащения и глубокой переработки полезных ископаемых, а также рост экологичности данных процессов.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 16-2023 Горнодобывающая промышленность. общие процессы и методы, - М. 2023
2. Пацук, В. Е. Обоснование параметров технологических схем шахт с подземным обогащением угля // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – М., 1994, С. 26
3. Терентьев Б.Д., Ступко Е.С. Проблемы экологии при подземной разработке угольных месторождений и пути их решения // Горный информационно-аналитический бюллетень, номер: 8, 2008 С. 220-225
4. Красавцева Е. А. Геоэкологическая оценка влияния отходов обогащения редкометалльных руд на окружающую среду (на примере ООО «Ловозерский ГОК» // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – М, 2022, С. 25
5. Маслобоев В. А., Селезнев С. Г., Макаров Д. В., Светлов А. В. Оценка экологической опасности хранения отходов добычи и переработки медно-никелевых руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых ISSN: 0015-3273, Н. 3, 2014 С. 138-153

## **ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

ТРУСОВ Г.И., КУЗНЕЦОВА Ю.Н., ТАЛДОНОВА Н.В.

Томский архитектурно-строительный университет

**Аннотация.** Внедрение информационных технологий в горнодобывающие предприятия играет ключевую роль в повышении эффективности, безопасности и устойчивости отрасли. Современные ИТ-решения позволяют автоматизировать производственные процессы, улучшить управление ресурсами и минимизировать риски, связанные с добычей полезных ископаемых. Внедрение цифровых технологий, таких как искусственный интеллект, интернет вещей (IoT), большие данные и облачные вычисления, способствуют оптимизации планирования, мониторинга и анализа данных на всех этапах горнодобывающего цикла. Это позволяет предпринять более обоснованные решения, снижать затраты и улучшать экологические показатели. В статье рассматриваются основные направления и преимущества цифровизации горнодобывающей отрасли.

**Ключевые слова:** информационные технологии, горнодобывающие предприятия, безопасность, искусственный интеллект, интернет вещей (IoT), цифровизация.

## **THE INTRODUCTION OF INFORMATION TECHNOLOGY IN THE MANAGEMENT OF THE SAFETY OF MINING ENTERPRISES**

TRUSOV G.I., KUZNETSOVA Yu.N., TALDONOVA N.V.

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering

**Annotation.** The introduction of information technology in mining enterprises plays a key role in improving the efficiency, safety and sustainability of the industry. Modern IT solutions make it possible to automate production processes, improve resource management and minimize the risks associated with mining. The introduction of digital technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), big data and cloud computing helps optimize planning, monitoring and data analysis at all stages of the mining cycle. This allows for more informed action. solutions to reduce costs and improve environmental performance. The article discusses the main directions and advantages of digitalization of the mining industry.

**Keywords:** information technology, mining enterprises, security, artificial intelligence, Internet of Things (IoT), digitalization.

Информационные технологии уже давно стали неотъемлемой частью современного мира, проникая во все сферы деятельности человека. Горнодобывающая отрасль - одна из тех, где внедрение ИТ-решение играет ключевую роль в повышении эффективности производства, снижении затрат и обеспечение безопасности труда. В условиях постоянного роста требований к экологичности и экономичности процессов добычи полезных ископаемых, информационные системы, становятся важнейшим инструментом управления производственными процессами, мониторинга состояния оборудования и прогнозирования возможных рисков.

Современные технологии позволяют автоматизировать многие этапы работы на горнодобывающих предприятиях [1], начиная от разведки месторождений до транспортировки готовой продукции. Использование автоматизированных систем управления, датчиков интернета вещей (IoT), больших данных и машинного обучения открывает новые горизонты для оптимизации всех аспектов производственной цепочки. Применение цифровых двойников, предиктивной аналитики и удаленного контроля помогает снизить затраты на обслуживание техники, повысить производительность и минимизировать человеческий фактор.

Интеграция информационных технологий [2] в деятельности горнодобывающих компаний становится стратегическим направлением развития отрасли, способствующим повышению конкурентоспособности и устойчивости бизнеса в условиях глобальных изменений.

Влияние цифровизации и искусственного интеллекта в настоящее время является одной из важных задач в области безопасности и здоровья работников. Цифровые технологии уже меняют мир, и охрана труда не является исключением.

Внедрение инновационных технологий в управление безопасности горнодобывающих предприятий играет ключевую роль для повышения эффективности производства, снижения рисков и улучшения условий труда работников. Некоторые направления внедрения таких технологий представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Инновационные технологии безопасности на горнодобывающих предприятиях

Направление в технологии	Роль повышения эффективности	Пример
Автоматизация процессов	Контроль производственных процессов в реальном времени. минимизация человеческого фактора и снижение вероятности ошибок	Автоматическое отслеживание состояния оборудования, транспортных средств и персонала на руднике. Использование дронов для мониторинга труднодоступных участков шахты, а также роботизирование техники для выполнения опасных работ.
Технологии Интернета вещей (IoT)	Сбор данных от различных датчиков, установленных на оборудовании и объектах инфраструктуры.	Датчики вибрации на буровых установках, предупреждаю о начале разрушения породы.
Цифровое моделирование и виртуальная реальность	Проведение виртуальных тренировок моделирование различных сценариев, аварий персонала без риска для жизни	Виртуальные туры по шахтам для новых сотрудников. Моделирование аварийных ситуаций для разработки эффективных планов эвакуации.
Геоинформационная система(ГИС)	Помогает управлять пространственными данными	Геологические карты, планы горных выработок и маршруты транспортировки руды.
Беспроводные сети и связь	Обеспечение безопасности на горнодобывающем предприятии	Wi-Fi и LTE-сети для передачи данных между различными объектами шахты
Экологическая безопасность	Снижение негативного воздействия горнодобывающей деятельности на окружающую среду	Система рекультивации земель после завершения добычи полезных ископаемых, современные методы очистки сточных вод и утилизация отходов.

Российские горнодобывающие [3] предприятия в различных аспектах показывают успешное сочетание мер по обеспечению безопасности, внедрению инновационных технологий и экологической ответственности. Примеры российских горнодобывающих предприятий которые применяют инновационные технологии в управление безопасностью представлены в таблице 2.

Таблица 2 Инновационные технологии безопасности на горнодобывающих предприятиях России

Предприятие	Управление безопасностью
ПАО «Норникель»	Цифровые двойники шахт, дистанционное управление оборудованием, регулярное обучение сотрудников.
АО «СУЭК»	Внедрение программ, направленных на улучшение условий труда и снижение риска профессиональных заболеваний. Автоматизированные системы мониторинга.
ПАО «ПОЛЮС»	Использование дронов, цифровизация производственных процессов.
ООО «ЕвроХим»	Предиктивное обслуживание оборудования, автоматизация производственных процессов.
ПАО «АЛРОСА»	Экологические инициативы, энергоэффективные технологии.
ПАО «Северсталь»	Технологии переработки отходов, защита биоразнообразия.

Эти инновации способствуют повышению конкурентоспособности российских предприятий на мировом рынке и улучшению условий труда для работников.

Таким образом, внедрение цифровой технологии в горнодобывающие отрасли, обусловлена несколькими факторами: повышение производительности и эффективности, улучшение безопасности труда, устойчивое развитие конкурентоспособность, экономическая выгода, обеспечение прозрачности и контроля.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Балашов А.М. Тенденции цифровизации производственных процессов в горном деле/ А.М. Балашов // Горная промышленность, 2023;(3):134-137 – doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-134-137
2. Мащенко, М. В. Воздействие инвестиционных процессов на развитие горнодобывающих предприятий в России / М. В. Мащенко, Е. А. Волкова // Экономика, предпринимательство и право. – 2018. – Т. 8, № 2. – С. 65-72. – DOI 10.18334/err.8.2.38800
3. Сарычев, А. Е. Инновационные тренды развития мировой горнодобывающей отрасли: цифровизация управленческих и операционных процессов / А. Е. Сарычев, Д. Е. Семенихин // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 8. – С. 2897-2908. – DOI 10.18334/err.13.8.118702

**ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ РАБОТ В ОПАСНЫХ ЗОНАХ НА КРИВИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ИЗВЕСТНЯКОВ**

ФУФАЛДИНА Д. Н, ЕЛОХИН В. А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

*Аннотация.* Участок Кривинского месторождения известняков расположен в 4 км к северу от г. Богданович одноименного городского округа Свердловской области. Выявленная залежь довольно крупная, не выдержанная по строению, мощности и качеству полезного ископаемого. Техническими решениями предусматривается использование, рекомендованного производителем, оборудования дробильно-сортировочного комплекса Wirtgen. Оборудование самоходное, работающие на электричестве.

Исходная горная масса известняка крупностью 0-500 мм из кузова автосамосвала грузоподъемностью 40 т поступает на склад сырья первичного дробления, далее подаётся в приёмный бункер роторной дробилки MR110Z фронтальным погрузчиком, где производится дробление. Управление технологическим процессом и соблюдение технологических параметров дробильно-сортировочной установки обеспечивается техническим персоналом, работающим на комплексе.

При разработке месторождений могут встретиться следующие опасные зоны:

- зоны, возникающие под воздействием геомеханических процессов: опасные по сдвигениям; повышенного горного давления от целиков или краевых частей;
- зоны, обусловленные геологическими факторами: геологические (тектонические) нарушения; опасные по прорыву плавущих пород; карстовые пустоты;
- зоны, опасные по прорыву воды: расположенные под водными объектами на земной поверхности; расположенные вблизи затопленных выработок, в том числе у технических скважин различного назначения;
- зоны, обусловленные горно-техническими факторами: пожароопасные участки; загазованные выработки.

Ответственность за разработку и реализацию мероприятий по безопасному ведению горных работ в опасных зонах возлагается на главного инженера.

*Ключевые слова:* месторождение, известняк, трещиноватость, обводненность, производство строительного щебня и извести.

## ORGANIZATION AND TECHNICAL SOLUTIONS FOR WORKING IN DANGEROUS ZONES AT THE KRIVINSKOYE LIME DEPOSIT

FUFALDINA D. N., ELOKHIN V. A.

FGBOU VO «Ural State Mining University»

**Annotation.** The Krivinsky limestone deposit is located 4 km north of Bogdanovich, a city in the Sverdlovsk region. The identified deposit is quite large, but it is not uniform in terms of structure, thickness, and quality of the mineral resource. The technical solutions include the use of Wirtgen crushing and screening equipment, which is recommended by the manufacturer. The equipment is self-propelled and powered by electricity.

The initial rock mass of limestone with a size of 0-500 mm from the body of a dump truck with a carrying capacity of 40 t enters the raw material warehouse of primary crushing, then it is fed into the receiving hopper of the MR110Z rotary crusher by a front-end loader, where it is crushed. The technological process management and compliance with the technological parameters of the crushing and sorting unit is provided by the technical personnel working on the complex.

During the development of deposits, the following hazardous zones may occur:

- zones that arise under the influence of geomechanical processes: zones of rock movement; zones of increased mining pressure from pillars or edge parts;

- zones caused by geological factors: geological (tectonic) disturbances; zones of rock flow; karst voids;

- zones of water flow: zones located under water bodies on the earth's surface; zones located near flooded mine workings, including technical wells for various purposes;

- zones caused by mining and technical factors: fire-prone areas; gas-filled mine workings.

The chief engineer is responsible for developing and implementing measures for the safe conduct of mining operations in hazardous areas.

**Keywords:** deposit, limestone, fracturing, water content, production of building crushed stone and lime.

Участок Кривинского месторождения известняков расположен в 4 км к северу от г. Богданович одноименного городского округа Свердловской области (рисунок 1) на стыке приподнятой части Зауральского пенеплена (на западе) и континентальной морской цокольной равнины (на востоке).

По долинам рек Пышмы и Кунары на поверхность выходят палеозойские породы, поверхность которых к востоку полого погружается под рыхлые мезозойские и кайнозойские осадки. Район работ находится в пределах лесной зоны с широким развитием

сельскохозяйственных угодий. В северо-западной части района развиты смешанные леса, в долине реки Пышма преобладают сосновые леса, на остальной части территории преимущественно березовые [].

Кривинский участок приурочен к западной части субмеридиональной полосы карбонатных пород Исетской свиты каменноугольной системы и представлен известняками.

В результате проведенных работ установлено, что выявленная залежь довольно крупная, не выдержанная по строению, мощности и качеству полезного ископаемого. Карбонатная толща Кривинского месторождения состоит из известняков двух надгоризонтов Исетской свиты, среди которых выделяются следующие литологические разности: чистые по химическому составу, доломитизированные, слабо окремненные, редко известняковые брекчии.

Техническими решениями предусматривается использование, рекомендованного производителем, оборудования дробильно-сортировочного комплекса Wirtgen. Оборудование самоходное, работающие на электричестве.

Исходная горная масса известняка крупностью 0-500 мм из кузова автосамосвала грузоподъемностью 40 т поступает на склад сырья первичного дробления, далее подаётся в приёмный бункер роторной дробилки MR110Z фронтальным погрузчиком, где производится дробление.

Производителем рекомендована двух стадийная схема дробления (рисунок 2). Данная схема включает в себя следующие операции:

- приём и транспортировку исходной горной массы известняка крупностью 0-500 мм до установки роторной дробилки на MR110Z;
- стадию дробления исходных известняков в дробилке MR110Z, с последующей подачей по конвейеру до грохота;
- грохочение дробленого продукта стадии дробления на грохоте MS110Z с получением фракций: 40-70 мм, 0-40 мм и 70-200 мм, фракция 70-200 мм отправляется на повторное дробление в роторную дробилку, фракция 40-70 мм является готовой продукцией;
- дробление фракции 0-40 мм в роторной дробилке на гусеничном ходу MR110Z;
- грохочение дробленого продукта стадии дробления на грохоте MS19D с получением щебня фракций (готовой продукции): 20-40 мм, 5-20 мм и 0-5 мм.

Готовая продукция конвейерами подается на открытые склады конусного типа высотой не более 5 м. Откуда фронтальным колесным погрузчиком отгружается в автотранспорт для отправки потребителям и склады готовой продукции.



Управление технологическим процессом и соблюдение технологических параметров дробильно-сортировочной установки обеспечивается техническим персоналом, работающим на комплексе.

Количественному контролю подлежат следующие материалы:

- исходная горная масса известняка;
- фракции получаемого при переработке щебня.

Контроль качества готовой продукции ДСУ, осуществляется лабораторией предприятия. Режим работы ДСУ: в две смены по 8 часов, 250 рабочих дней в году.

С целью борьбы с пылью, предусматривается переход на рабочий горизонт карьера 146 м.

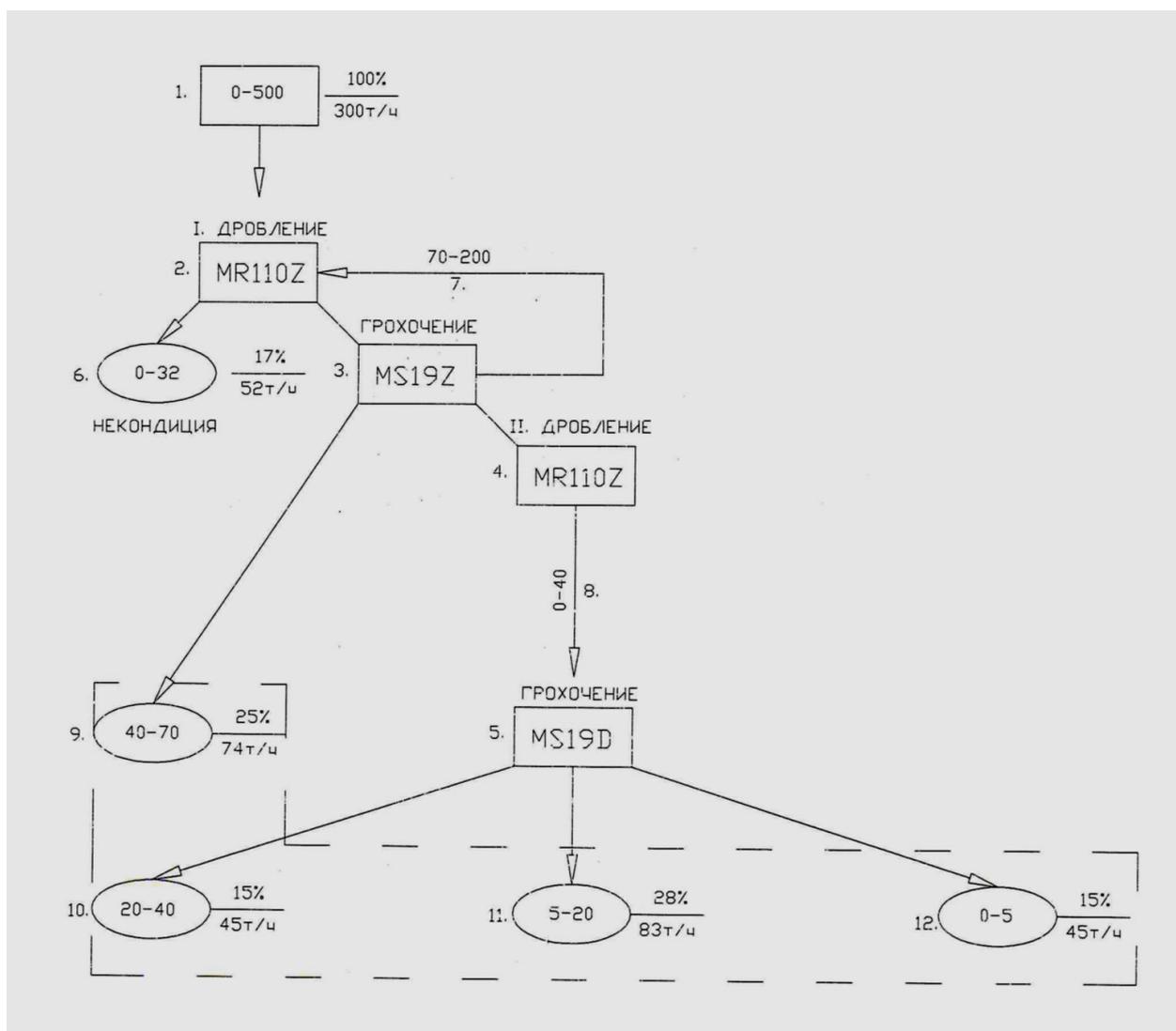


Рисунок 2 - Качественно-количественная схема ДСУ Кривинского месторождения.

Согласно геологическому заданию известняки Кривинского месторождения должны соответствовать требованиям промышленности к сырью и готовой продукции, быть

пригодными для производства строительного щебня, строительной извести, для чего они оценивались согласно действующих ГОСТов:

- для производства строительного щебня – ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ»;

- для строительной извести – ГОСТ 9179-77 «Известь строительная», а так же ОСТ 21-27-76 «Породы карбонатные для производства строительной извести».

Пески-отсевы оценивались согласно требованиям ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. ТУ».

Качество известняков для производства известняковой муки регламентируется:

- для известкования кислых почв – ГОСТом 14050-93 «Мука известняковая (доломитовая). ТУ»;

- для подкормки животных и птиц – ГОСТом 26826-86 «Мука известняковая для производства комбикормов и подкормки сельскохозяйственных птиц и животных. ТУ».

Требования к качеству известняков, используемых в других областях промышленности, регламентируются техническими условиями данных ведомств или предприятий в зависимости от конкретной области использования.

При оценке известняков в качестве строительного камня, определяющими являются физико-механические характеристики породы и получаемого щебня, однако для многих областей использования определяющим является их химический состав, хотя комплекс регламентируемых химических компонентов для разных областей использования является довольно близким.

Контроль качества известняков, отгружаемых на известковые заводы и для строительных целей, будет осуществляться геологической службой карьера и аккредитованной лабораторией карьера в соответствии с утвержденной методикой.

Отгружаемая продукция в автотранспорт потребителей обязана проходить весовой контроль на промплощадке, с выдачей паспорта на отгружаемую продукцию и ее массы.

Под опасной зоной понимается участок недр, в пределах которого при ведении горных работ требуется осуществить дополнительные меры безопасности, которые, как правило, предусматриваются специальными проектами.

При разработке месторождений могут встретиться следующие опасные зоны:

- зоны, возникающие под воздействием геомеханических процессов: опасные по сдвигениям; повышенного горного давления от целиков или краевых частей;

- зоны, обусловленные геологическими факторами: геологические (тектонические) нарушения; опасные по прорыву плавущих пород; карстовые пустоты;

- зоны, опасные по прорыву воды: расположенные под водными объектами на земной поверхности; расположенные вблизи затопленных выработок, в том числе у технических скважин различного назначения;

- зоны, обусловленные горно-техническими факторами: пожароопасные участки; загазованные выработки.

Ответственность за разработку и реализацию мероприятий по безопасному ведению горных работ в опасных зонах возлагается на главного инженера.

После установления опасной зоны руководитель службы, ответственный за отнесение участков к опасной зоне, обязан письменно уведомить об этом главного инженера, указав вид опасной зоны и ее местоположение.

Главный инженер издает письменное распоряжение, в котором указывает сроки и назначает конкретных лиц, ответственных за выполнение мероприятий, направленных на безопасное выполнение работ:

- составление проекта безопасного ведения горных работ в опасной зоне;
- ведение горных работ в опасной зоне с реализацией предусмотренных в проекте решений;
- контроль со стороны за выполнением намечаемых проектом мероприятий.

Начальник карьера (заместитель главного инженера по горным работам):

- осуществляет контроль исполнения отмеченного выше в распоряжении главного инженера;
- руководит составлением проекта безопасного ведения горных работ в опасной зоне;
- готовит в необходимых случаях проект горных работ в опасной зоне к утверждению в производственном объединении;
- знакомит с утвержденным проектом должностных лиц, ответственных за выполнение и контроль предусмотренных проектом мероприятий.

Главный маркшейдер:

- в случаях, предусмотренных выше, относит участки к опасным зонам и строит их границы;
- наносит границы опасных зон на планы горных выработок;
- представляет соответствующим службам маркшейдерскую документацию, необходимую для отнесения участков к опасным зонам, построения границ этих зон, составления проекта ведения горных работ в опасных зонах;
- разрабатывает мероприятия по маркшейдерскому обеспечению проведения горных выработок вблизи и в пределах границ опасных зон;

- участвует в разработке мероприятий по безопасному ведению горных работ в опасных зонах;

- не позднее чем за месяц до подхода горных выработок к границам опасных зон письменно (в Книге указаний и уведомлений маркшейдерской службы) уведомляет об этом главного инженера и начальника соответствующего участка, а также знакомит с содержанием этого уведомления горнотехнического инспектора, закрепленного за карьером;

- при подходе горных выработок к границе опасной зоны на расстояние не менее 20 м, но не позднее чем на трое уток до подхода к этой границе выдает начальнику участка под расписку эскиз выработок с указанием на нем границ входа и выхода, а также расстояний до них от маркшейдерских пунктов или от характерных элементов сопряжений горных выработок;

- ведет совместно с главным геологом книгу учета опасных зон.

Главный геолог карьера:

- в случаях, предусмотренных, относит участки к опасным зонам, строит их границы и наносит эти границы на планы горных выработок;

- представляет соответствующим службам геологическую документацию, необходимую для отнесения участков к опасным зонам, построения границ этих зон, составления проекта ведения горных в опасных зонах;

- ведет наблюдения за изменениями горно-геологической обстановки в процессе проведения горных работ в опасных зонах, следит за притоком воды в горные выработки;

- участвует в разработке мероприятий по безопасному ведению горных работ в опасных зонах;

- не позднее чем за месяц до подхода горных выработок к опасным зонам сообщает об этом главному инженеру и начальнику карьера, а также знакомит с содержанием уведомления горнотехнического инспектора, закрепленного за карьером;

- при подходе горных выработок к границам опасных зон на расстояние не менее 20 м, но не позднее чем за трое суток до подхода к этой границе выдает под расписку начальнику карьера эскиз выработок с указанием на нем входа и выхода, а также расстояний до них от маркшейдерских точек или от характерных элементов сопряжения горных выработок;

- ведет совместно с главным маркшейдером Книгу учета опасных зон.

Проект безопасного ведения горных работ в опасной зоне состоит из пояснительной записки и графических материалов. В пояснительной записке проекта приводятся:

- краткая горно-геологическая характеристика участка, расположенного в опасной зоне;

- данные, на основании которых участок отнесен к опасной зоне;

- обоснование целесообразности или производственной необходимости проведения горных работ в опасной зоне;

- сведения о построении границ опасной зоны (метод, использование методические материалы) и при необходимости, о запасах угля в границах опасной зоны;

- мероприятия по безопасному ведению горных работ в опасной зоне, в том числе связанные с приведением участка в менее опасное состояние;

- график выполнения намеченных в проекте мероприятий с указанием сроков и должностных лиц, ответственных за реализацию и контроль выполнения этих мероприятий;

- другие сведения, поясняющие и уточняющие мероприятия и направленные на повышение безопасности пребывания людей в опасной зоне и вблизи нее (укрытия, пути отхода, специальные меры безопасности и т.п.).

Графическая часть проекта включает:

- выкопировку из плана горных выработок масштаба 1:1000 или 1:2000, на которой изображаются границы опасной зоны, места установки охраняющих сооружений, в том числе направленные на приведение участка в менее опасное состояние;

- при необходимости вертикальные разрезы (в том числе геологические), выкопировки с плана земной поверхности с изображением объектов, связанных с опасной зоной;

- графические материалы, связанные с построением границ опасных зон;

- при разработке свиты пластов выкопировку с совмещенного плана горных выработок в едином с основной выкопировкой масштабе;

- схему расположения скважин и шпуров, служащих для приведения участка в менее опасное состояние.

Ответственность за соблюдение мероприятий, предусмотренных проектом безопасного ведения горных работ в опасной зоне. Начальник участка, кроме того, обязан провести с рабочими инструктаж по безопасным методам ведения работ в соответствии с проектом.

Горные работы в опасных зонах разрешается производить только в присутствии лица надзора карьера, к надзору участка относятся: начальник участка, заместитель начальника участка, механик участка, заместитель механика участка, помощник начальника участка, сменный инженер участка, сменный техник участка, старший горный мастер, горный мастер.

Контроль выполнения заложенных в проекте мероприятий осуществляется назначаемой главным инженером комиссией под руководством его заместителя по технике безопасности. Периодичность контроля устанавливается графиком, проводимым в проекте. До начала работ в опасной зоне эта комиссия составляет акт готовности к ведению работ в этой зоне, а по окончании – акт о снятии зоны с контроля, в котором дается критическая оценка

эффективности, проведенных мероприятий по безопасному ведению горных работ. Указанные акты подлежат утверждению главным инженером.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Власов Д.С., Запольских А.В. Проектная документация на разработку Кривинского месторождения известняка ООО «Форес» Карьерным комбайном WIRTGEN 2500. Том 1. Пояснительная записка.
2. Фуфалдина Д. Н, Елохин В. А. Геология Кривинского месторождения известняков /Безопасность технологических процессов и производств: Труды VI Международной научно-практической конференции. 4 апреля 2024 г., г. Екатеринбург / отв. редактор В. А. Елохин; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2024. – С116-122.