На правах рукописи

ЦИБАЕВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ НЕГАТИВНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2020

Работа выполнена на кафедре разработки месторождений полезных ископаемых федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Научный руководитель	Ренёв Алексей Агафангелович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой РМПИ федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»
Официальные оппоненты	Фрянов Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геотехнологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»
	Казанин Олег Иванович, доктор технических наук, профессор РАН, декан горного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»
Ведущая организация	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Защита диссертации состоится «22» января 2021 г. в 11:00 ч. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.102.02 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28; телефон/факс: (384-2) 39-69-60, e-mail: kuzstu@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» и на сайте организации по адресу http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/

Автореферат разослан « » 2020 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Тюленев М. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время на угольных шахтах Кузбасса с пологим и наклонным залеганием угольных пластов ежегодно проводится свыше 250 км горных выработок. При этом анкерное крепление является доминирующим видом крепления горных выработок не только на шахтах Кузбасса, но и в целом по угольной промышленности России и во многих государствах с развитой угольной промышленностью. На большинстве шахт Кузбасса годовые объемы крепления горных выработок анкерным креплением составляют около 75 % от общего объема проведения горных выработок, а на отдельных шахтах эти объемы достигают 90 %.

Важнейшей проблемой безопасного длительного поддержания подземных горных выработок является оценка влияния техногенного воздействия на углепородный массив и элементы крепления (затопление горных выработок, воздействие сейсмических и ударных воздушных волн от массовых промышленных и неконтролируемых взрывов). За последние 20 лет на шахтах Кузбасса произошло 13 аварий с групповыми несчастными случаями со смертельным исходом. Большинство эпизодов связаны со взрывами газо-воздушной смеси и угольной пыли, сопровождаемые распространением сейсмических и ударных волн, а также резкому кратковременному повышению температуры в зоне взрыва. При ликвидации последствий техногенных аварий, вызывающих образование подземных пожаров, а также при консервации или ликвидации угольных шахт «мокрым» способом, вода заполняет сеть горных выработок на полное сечение. При этом сроки и режимы затопления и осушения зачастую неизвестны.

Следует также отметить, что в настоящее время, ввиду интенсивного процесса сближения границ горных отводов угольных шахт и разрезов Кузбасса, одной из наиболее актуальных научно-производственных задач является вопрос обеспечения безопасного поддержания подземных горных выработок, подвергающихся регулярному сейсмическому воздействию на участках открытых горных работ.

Вопросы сохранения подземных горных выработок угольных шахт в зоне сейсмического влияния массовых промышленных взрывов имеют низкую изученность и слабо представлены в научно-технической литературе. Исследования в данной области в большей степени относятся к сохранению выработок при массовой отбойке рудных полезных ископаемых без дифференциации по типу крепления.

Совместная разработка угольных пластов открытым и подземным способами ведет к организационным трудностям и в долгосрочной перспективе приводит к деформациям углепородного массива и нарушению работоспособности анкерной крепи. При этом на шахтах России отсутствуют опыт работы специализированных организаций по обеспечению безопасности технологических режимов работ, а также

единая отраслевая методика оценки допустимых уровней влияния сейсмических колебаний от взрывных работ на крепление подземных горных выработок.

Поэтому геотехнологическое обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, подвергшихся влиянию негативных техногенных факторов, является весьма актуальной и своевременной научной задачей.

Цель работы – обоснование способов расчета параметров анкерного крепления горных выработок, подвергшихся воздействию влаги или сейсмических волн, обеспечивающих устойчивость выработок.

Основная идея работы состоит в использовании установленных закономерностей изменения физико-механических свойств и смещений в приконтурном массиве пород при воздействии влаги или сейсмических волн для обоснования параметров расчета анкерного крепления.

Задачи исследования:

- установить закономерности изменения физико-механических свойств осадочных горных пород при различных сроках воздействия влаги;
- установить закономерности изменения смещений приконтурного массива горных пород вокруг подземных горных выработок при сейсмическом воздействии промышленных взрывов;
- обосновать основные расчетные параметры анкерной крепи горных выработок, подвергающихся длительному воздействию влаги;
- обосновать основные расчетные параметры анкерной крепи горных выработок, подвергающихся воздействию сейсмических волн от промышленных взрывов.

Методы исследования. Используется комплекс методов, включающий в себя:

- анализ и обобщение литературных данных по рассматриваемой проблеме;
- натурные исследования;
- лабораторные исследования;
- статистическую обработку результатов экспериментальных исследований.

Объект исследования:

область углепородного массива вокруг горных выработок.

Предмет исследования:

изменение деформационных свойств углепородного массива вокруг горных выработок, подвергшихся воздействию негативных техногенных факторов.

Научные положения, защищаемые автором:

- изменение прочностных свойств осадочных горных пород зависит от их петрографического состава и находится в логарифмической зависимости от фактического периода воздействия влаги;
- массовые промышленные взрывы приводят к увеличению абсолютных значений смещений $U_{кр}$ и их скоростей V_U в приконтурных слоях кровли подземных

выработок в 4,16-7 раз. Деформации носят знакопеременный характер и находятся в степенной зависимости от основных параметров промышленных взрывов;

- воздействие влаги выражается в увеличении смещений приконтурных слоев породного массива в контур выработки и увеличении нагрузки на крепь в зависимости от петрографического состава пород, глубины заложения и ширины горной выработки;

- расчетные параметры анкерной крепи подземных горных выработок - шаг установки рядов и длина анкерного стержня в условиях сейсмического воздействия массовых промышленных взрывов на поверхности, находятся в степенной зависимости от основных параметров массовых взрывов, геометрических параметров и срока службы горной выработки.

Научная новизна работы заключается:

- в установлении корреляционных связей между остаточной прочностью, периодом воздействия влаги и величиной водонасыщения при различных по петрографическому составу горных породах;

- в установлении корреляционной связи между смещениями приконтурного массива вокруг подземных горных выработок и основными параметрами массовых промышленных взрывов;

- в установлении степени воздействия влаги, а также величины коэффициента влияния $k_{вл}$ при расчете параметров анкерного крепления кровли выработок, учитывающих глубину расположения и проектную ширину выработок, прочностные характеристики и генезис горных пород;

- в установлении величин коэффициентов влияния $k_{сейсм}$ и k_L при расчете параметров анкерного крепления кровли выработок, учитывающих глубину расположения и проектную ширину выработок, основные параметры промышленных взрывов и срок службы выработки.

Достоверность научных результатов обеспечивается представительным объёмом шахтных (более 63 км исследованных подземных горных выработок), лабораторных и аналитических исследований, сходимостью теоретических и экспериментальных данных.

Личный вклад автора заключается в:

– обобщении и анализе отечественного и зарубежного опыта, нормативных документов в области эксплуатации и расчета параметров анкерной крепи;

- разработке методики проведения наблюдений за состоянием крепи и приконтурного массива в условиях воздействия негативных техногенных факторов;

- определении граничных условий, при которых воздействие влаги будет оказывать влияние на расчет параметров анкерной крепи выработок;

- разработке методики расчета параметров анкерного крепления кровли выработок, подвергающихся периодическому воздействию сейсмических волн;

- проведении натурных и лабораторных экспериментов;

- оценке результатов исследований.

Научное значение работы состоит в обосновании параметров анкерного крепления горных выработок, подвергшихся воздействию негативных техногенных факторов.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в комплексном подходе к решению проблемы расчета параметров анкерной крепи выработок, включающем: анализ механизмов воздействия негативных техногенных факторов на приконтурный массив, определении граничных условий воздействия этих факторов на основные расчетные параметры крепи, разработке корректирующих коэффициентов, обеспечивающих безопасное поддержание горных выработок.

Практическая ценность работы: разработаны способы расчета основных параметров анкерной крепи выработок, закрепленных анкерной крепью, повергшихся воздействию влаги и сейсмических волн, обеспечивающих безопасное поддержание выработок.

Реализация работы. Результаты работы используется при решении вопросов проведения, крепления и восстановления горных выработок на предприятиях ПАО «Распадская» (ш. «Распадская»), ОАО УК «Южный Кузбасс» (ш. «им. В. И. Ленина), АО «СУЭК-Кузбасс» (ш. «им. В. Д. Ялевского», ШУ «Талдинское-Западное»), АО ХК «СДС-Уголь» (ш. «Южная»)

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на: научно-практической конференции «Экспо-Уголь», Кемерово 2012г.; Международном научном симпозиуме «Неделя горняка», Москва, МИСиС 2015, 2019 гг.; Всероссийской, научно-практической конференции студентов, аспирантов, докторантов и преподавателей «Россия Молодая», Кемерово, КузГТУ 2012-2020 гг.; IX Китайско-Российском симпозиуме «Геотехнология, интеллектуальная техника и охрана окружающей среды», КНР, Циндао 2018.; IV Международном инновационном горном симпозиуме, Кемерово, КузГТУ, 2019 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 5 – в изданиях, индексируемых в БД Web of Science и Scopus

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, изложена на 157 страницах машинописного текста и содержит 94 рисунка, 22 таблицы, список литературы из 92 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе описывается состояние изученности вопроса устойчивости углепородного массива и элементов анкерного крепления в условиях водонасыщения, воздействия сейсмических и ударных воздушных волн. Анализируются действующие нормативные методики расчета параметров крепи при

воздействии вышеописанных факторов. Сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Проблема с обоснования расчетных параметров крепи находит широкое освещение в отечественной и зарубежной литературе начиная с 40-х годов 20 века с момента внедрения анкерной крепи для поддержания горных выработок в угольной промышленности.

В развитие теории анкерного крепления выработок внесли большой вклад известные отечественные учёные: К. А. Ардашев, В. Е. Ануфриев, И. В. Баклашов, А. А. Борисов, П. В. Васильев, В. М. Волжский, В. А. Волошин, О. И. Казанин, С. И. Калинин, Л. М. Коновалов, В. А. Лидер, В. И. Магдыч, В. В. Мельник, Н. И. Мельников, Г. П. Мирошников, А. С. Позолотин, А. В. Ремезов, А. А. Ренёв, М. А. Розембаум, В. Н. Семевский, О.В. Тимофеев, В. А. Федорин, В. Н. Фрянов, Н. В. Черданцев, С. В. Черданцев, А. П. Широков и зарубежные учёные: Бишофф, Доддс, Джекстон, А. Кост, Ланг, Л. Панек, Л. Рабцевич, А. Югон и др., многие из которых являются авторами существующих методов расчёта.

В настоящее время на угольных шахтах России методика расчета параметров и мероприятия по безопасному возведению и контролю анкерного крепления регламентируются тремя основными нормативно-правовыми документами, основным из которых является Инструкция («Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах»). В действующей нормативной Инструкции крайне слабо регламентируется порядок и методика проведения научно-исследовательских работ по оценке работоспособности элементов анкерной крепи и деформаций углепородного массива, подвергшихся воздействию влаги и сейсмических волн при длительном поддержании выработок:

– расчет параметров крепи, закрепляемой в обводненных породах, не учитывает ряд важнейших параметров: гидрогеологические свойства углепородного массива, размеры зоны водонасыщения пород, снижение удельного сцепления скрепляющего состава со стенками шпура, допустимый коррозионный износ. Не дифференцируется срок пребывания выработки в затопленном состоянии, а только констатируется факт – более 6 месяцев;

– отсутствуют научно обоснованные методы расчёта параметров анкерной крепи выработок, подвергающихся периодическим воздействиям сейсмических волн.

Анализ документации, описывающей состояние подземных горных выработок и элементов крепи после техногенных аварий (взрывы газо-воздушных смесей, горные удары), а также при периодических динамических воздействиях сейсмических волн (землетрясения, промышленных взрывы) позволяет сделать следующие выводы:

1. Анкерная крепь показывает высокую устойчивость к непериодичным динамическим воздействиям ударных и сейсмических волн, а также

кратковременному воздействию импульса высокой температуры, по сравнению с другими видами крепления выработок;

2. Проведение промышленных взрывов вызывает падение натяжения анкеров распорного типа вблизи забоя выработки, уменьшает реактивное сопротивление, оказываемое анкерами расслоению и прогибу пород кровли. Сейсмические волны, возникающие при взрывных работах, интенсифицируют процесс расслоения пород и смещение их внутрь выработки.

3. При выборе величин критических скоростей колебаний массива вокруг охраняемых подземных выработок следует руководствоваться сплошной упруго-пластической моделью среды и считать, что главным критерием должны служить предельные деформации в несущем элементе в процессе *многократного* воздействия взрывов. Достижение условий деформирования за пределами упругости наблюдается при относительных деформациях $\varepsilon_0 > (1 \div 5) \cdot 10^{-4}$. Этот уровень принят в качестве допустимого, гарантирующего устойчивость при многократном проведении взрывов.

Исходя из изученных материалов и анализа литературы по данной теме исследования, были сформулированы цель и поставлены задачи, которые приведены в общей характеристике работы.

Во второй главе проведены натурные и лабораторные исследования оценки влияния водонасыщения на состояние приконтурного углепородного массива.

Объектом исследования выступали подземные горные выработки ш. «Распадская», подвергшиеся воздействию стихийного затоплению. В результате натурных исследований было обследовано более 57 км горных выработок (рис. 1, 2). Более 20 км из общего количества были подвержены стихийному затоплению сроком от 6 до 30 месяцев.

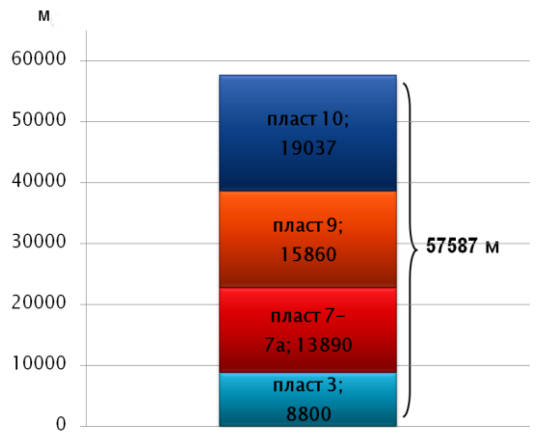

Рисунок 1 - Распределение протяженности обследуемых горных выработок ш. "Распадская" по пластам

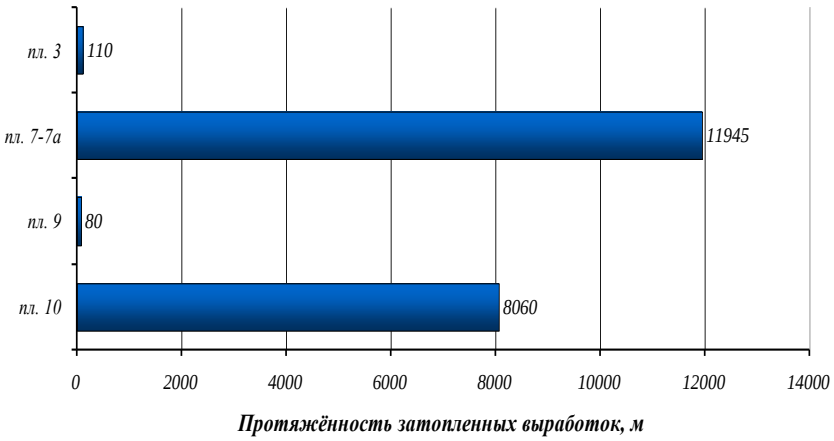

Рисунок 2 - Распределение протяженности затопленных горных выработок ш. "Распадская" по пластам

Методикой исследования предусматривалось проведение более 900 единичных испытаний проверки прочности закрепления анкерных стержней в шпурах. По результатам испытаний прочности закрепления анкерных стержней в шпурах построены статистические ряды для анкеров различного профиля в кровле и боках исследуемых выработок. При этом фактическую прочность закрепления анкерных стержней в шпурах можно выразить следующими зависимостями:

$$P_{ш} = \pi \cdot d_{ш} \cdot \tau_{ш}\, \ell_{з.а}; \quad (1)$$

$$P_{с} = \pi \cdot d_{ан} \cdot \tau_{с}\, \ell_{з.а}. \quad (2)$$

где $P_{ш}$ - усилие закрепления анкерного стержня в шпуре, кН; $P_{с}$ - усилие закрепления полимерного состава с поверхностью анкерного стержня, кН; $d_{ш}$ - диаметр шпура, м; $d_{ан}$ - диаметр анкера, м; $\tau_{ш}$ - удельное сцепление скрепляющего состава ампул со стенками шпура, характеризует состояние вмещающих пород, МПа; $\ell_{з.а.}$ – длина закрепления анкерного стержня в шпуре, м; $\tau_{с}$ – удельное сцепление скрепляющего состава ампул со стержнем анкера, МПа.

Используя известные величины удельного сцепления полимерной композиции с различными типами сухих и влажных пород, была произведена оценка влияния водонасыщения пород на величину фактического усилия закрепления анкерных стержней в шпурах (табл. 1). Установлено, что влияние влаги вызывает снижение удельного сцепления скрепляющего полимерного состава со стенками шпура на 37 % при закреплении в песчаниках и на 48 % при закреплении в алевролитах. Однако величина усилия закрепления в водонасыщенных породах при вышеуказанных значениях удельного сцепления превышает усилие разрыва анкерного стержня.

Таблица 1 - Значения усилия закрепления скрепляющего состава с различными поверхностями

Поверхность закрепления	Уд. сцепление состава с пов-тью τ, МПа	Длина закрепления $\ell_{з.а}$, м	Усилие закрепления состава с пов-тью P, кН	Разрывное усилие анкера, винтовой профиль d=20 мм. $N_а$, кН	Разрывное усилие анкера, круглый профиль d=20 мм. $N_а$, кН	Разрывное усилие анкера, винтовой профиль d=16 мм. $N_а$, кН
Сухой песчаник	3,3	1,0	310	164	100	110
Водонасыщенный песчаник (W=5 %)	2,1	1,0	197			
Сухой алевролит	4,0	1,0	376,8			
Водонасыщенный алевролит (W=8 %)	2,1	1,0	197			
Уголь	2,7	1,0	254			
Уголь	2,7	0,5	127			
Стальной анкерный стержень d=20 мм.	8,9	1,0	558			
Стальной анкерный стержень d=20 мм.	8,9	0,5	279,5			
Стальной анкерный стержень d=16 мм.	8,9	0,5	223,6			

Наиболее полно радиолокационным методом было произведено обследование выработок пласта 9 в блоке № 4. Увлажнение пород при затоплении сопровождается декомпрессионным расширением пород в связи с их разупрочнением. На увлажненных участках редко отмечается трещиноватость пород, увлажнение сопровождается декомпрессионным расширением пород в связи с их разуплотнением, происходит закрытие систем трещин. Но в то же время снижается сопротивления пород сжатию, растяжению, снижаются упругие свойства, а также сцепление и угол внутреннего трения пород.

При обследовании конвейерного уклона 4-9 (рис. 3) отмечалось, что высота увлажнения зависит от сформировавшегося на период обследования свода устойчивости пород. В обследуемых выработках высота интенсивно увлажненных слоев изменяется от 0,2 м до 2,5 м (среднее значение 1,5 м) и линейно зависит от фактической ширины выработки

$$h_c = (0{,}2 \div 0{,}25)\ B, \qquad (3)$$

где h_c – высота водонасыщенных слоев кровли, м; B - ширина выработки, м.

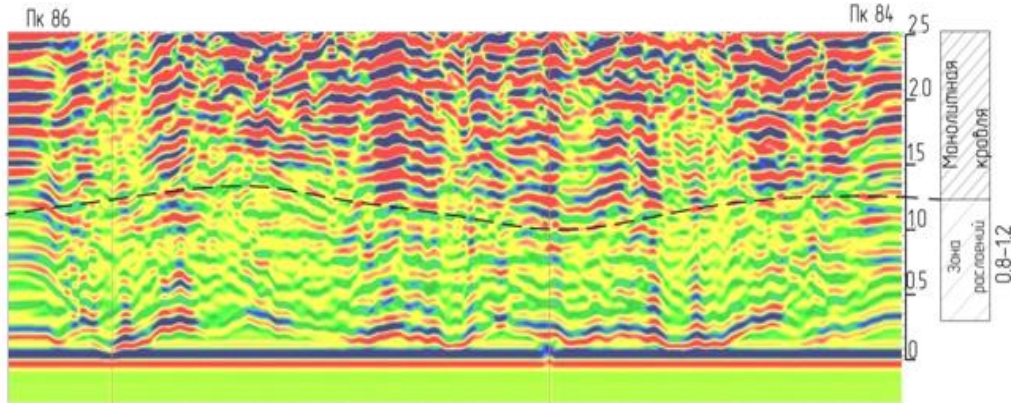

Рисунок 3 - Радарограмма обследования приконтурных слоёв кровли в конвейерном уклоне 4-9 на участке ПК86-ПК84

Проведенными обследованиями подготовительных и капитальных выработок по пластам 10, 9, 7-7а, 3-3а установлено, что высота интенсивно увлажненных слоев кровли, полученная при помощи радиолокационного обследования и высота свода давления пород, рассчитанная по теоретическим основам свода естественного давления имеют близкую сходимость (рис. 4), что подтверждает корректность инструментального обследования.

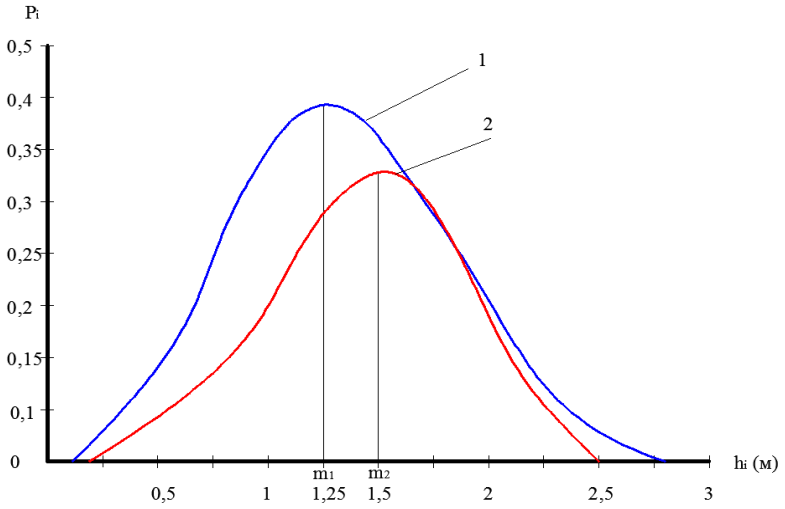

Рисунок 4 - Распределение вероятности высоты свода разрушения пород кровли в выработках: 1 – кривая вероятности высоты расслоения пород в кровле выработок, рассчитанная по теоретическим основам свода давления; 2 – кривая вероятности высоты увлажненных слоев в кровле выработок, полученная при помощи радиолокационного обследования

Для проведения лабораторных исследований было подготовлено 48 образцов осадочных горных пород: песчаники на кварцевом и глинистом цементах, гравелит, доломит, мергель, алевролиты и аргиллиты. Образцы делились на 5 групп по времени замачивания: на 2 дня, 7 дней, 14 дней, 30 дней и контрольная - без замачивания. Результаты оценки показателя остаточной прочности образца в сравнении с прочностью контрольного образца выражались как коэффициент остаточной прочности $k_{ост}$ (рис. 5, 6).

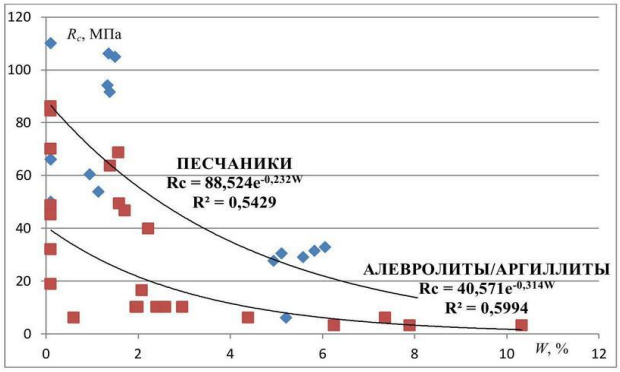

Рисунок 5 - Отношение прочности исследуемых образцов от степени их водонасыщения

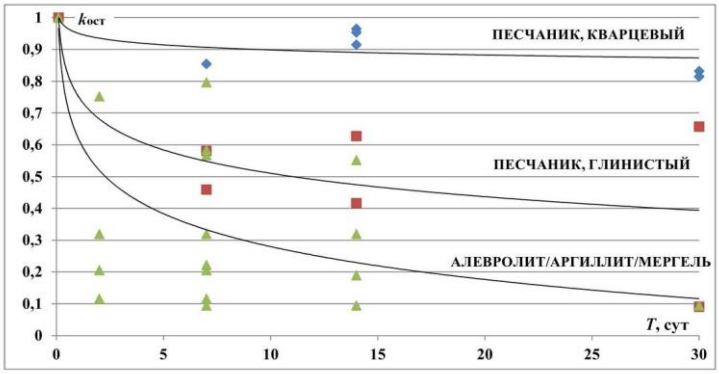

Рисунок 6 - Отношение коэффициента остаточной прочности образца от времени его водонасыщения

Лабораторными исследованиями установлено, что фиксированный срок в 6 месяцев, который устанавливает факт влияния влаги на прочностные свойства горных пород в нормативной документации, не является корректным без дифференциации по петрографическому составу пород и фактическому сроку затопления. Например, полное водонасыщение глинистых сланцев (аргиллиты, мергель) до 10 % происходит на 2 - 7 день с интенсивным снижением их остаточной прочности вплоть до полного пластического разрушения.

Установленные зависимости коэффициента остаточной прочности водонасыщенного образца $k_{ост}$ носят логарифмический характер от времени его водонасыщения *T:*

для песчаников на кварцевом цементе

$$k_{ост} = -0{,}023\ln(T) + 0{,}9513; \quad (4)$$

для песчаников на глинистом цементе

$$k_{ост} = -0{,}106\ln(T) + 0{,}7548; \quad (5)$$

для глинистых сланцев (алевролит, аргиллит, мергель)

$$k_{ост} = -0{,}149\ln(T) + 0{,}6233. \quad (6)$$

В третьей главе проведены натурные исследования оценки влияния сейсмических волн массовых промышленных взрывов на состояние приконтурного углепородного массива.

Объектом исследования выступали подземные горные выработки ш. «Талдинская-Западная 2», подвергшиеся воздействию массовых промышленных взрывов разреза «Заречный» (рис. 7), а также подземные горные выработки ш.

«Южная», подвергшиеся воздействию массовых промышленных взрывов разреза «Черниговский» (рис. 8, 9).

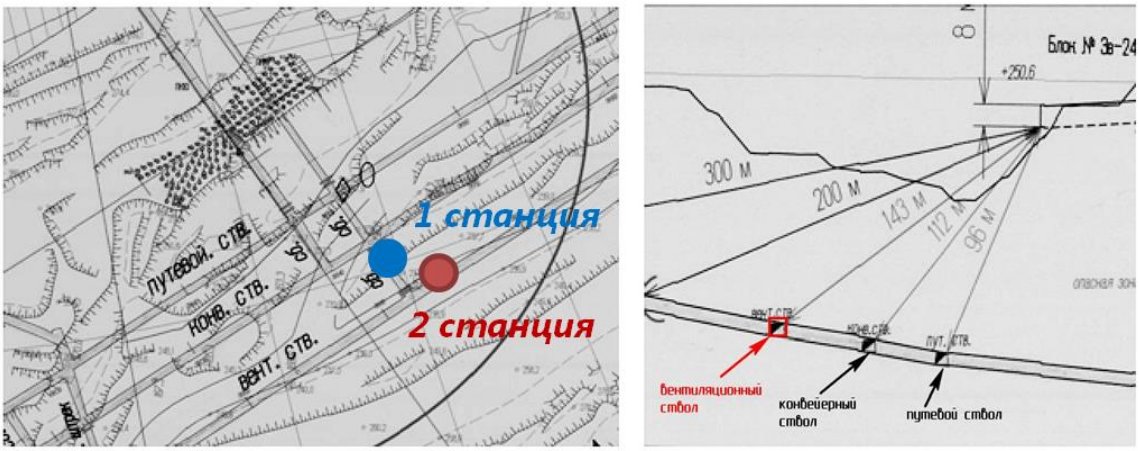

Рисунок 7 - Расположение взрываемого блока и подземных горных выработок, место заложения наблюдательных станции в условиях ш. «Талдинская-Западная 2»

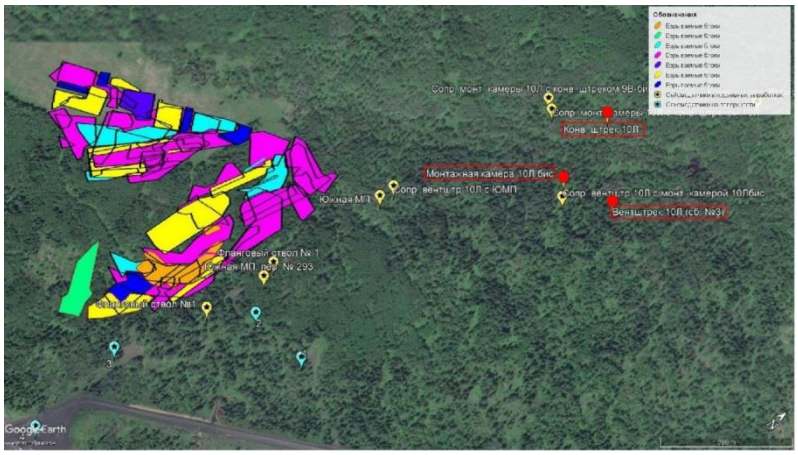

Рисунок 8 - Схема размещения взрываемых блоков р. «Черниговский» и точек наблюдения в подземных выработках ш. Южная»

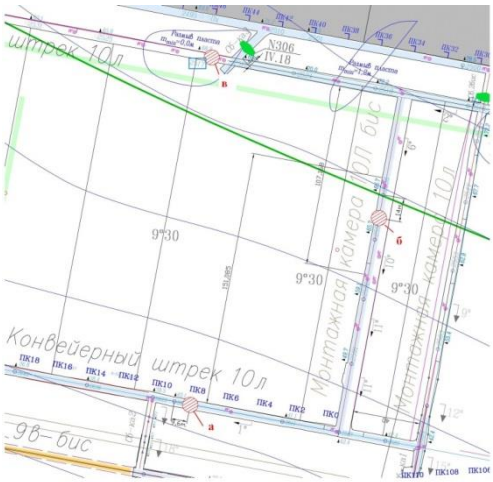

Рисунок 9 - Схема установки наблюдательных станций: а – станция в к/ш 10Л (со стороны МК 10Л-бис), б – станция в м/к 10Л-бис, в – станция в в/ш 10Л

Для оценки влияния массовых взрывов на наклонные стволы ш. «Талдинская-Западная 2» оборудованы две наблюдательные станции:

- 1-я - в сбойке между конвейерным стволом и вентиляционным стволом в створе с вентиляционным штреком 70-08;
- 2-я - в вентиляционном стволе выше пикета ПК150.

Исследования параметров сейсмических волн и величине деформаций приконтурных слоев кровли проводились с 28.02.2013г по 14.03.2013г. (рис. 10). В результате наблюдения за смещениями приконтурных слоев кровли наклонных стволов установлено, что взрывные работы на участке ОГР вызывают увеличение абсолютных значений смещений и скоростей смещений приконтурных слоев кровли. За период наблюдений (44 дня) смещения контрольных реперов достигли

12 мм, 10,7 мм и 8,75 мм для реперов *R*1, *R*2, *R*3 глубиной заложения 4,0 м, 3,0 м и 2,0 м соответственно. Средняя скорость смещений приконтурных слоев кровли составила 0,23 мм/сут, при максимальном значении 1,25 мм/сут в период производства массовых взрывов.

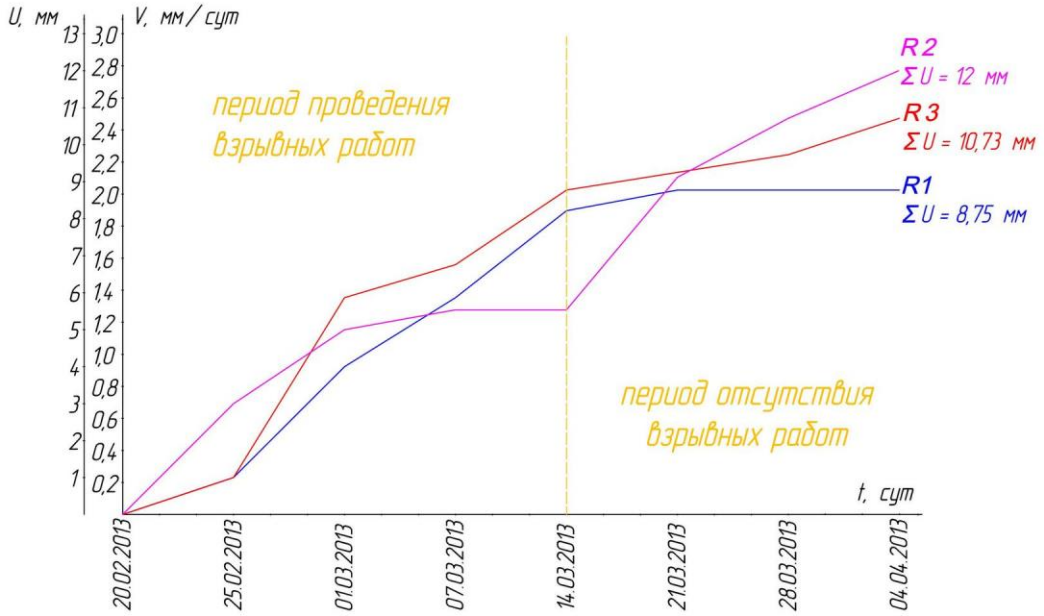

Рисунок 10 - Совмещённый график смещений и скорости смещения реперов R1, R2, R3 за период с 20.02.2013 г. по 04.04.2013 г. в наблюдательной станции ш. «Талдинская-Западная 2»

Для оценки влияния массовых взрывов на подземные горные выработки ш. «Южная» оборудованы четыре наблюдательные станции:

- 1-я - конвейерный штрек 10Л (по направлению от м/к 10Л "бис") – маркшейдерская точка 2617 - 9,6 м в сторону м/к 10Л "бис";
- 2-я - монтажная камера 10Л-бис - маркшейдерская точка 2606 - 12,4 м в сторону к/ш 10Л;
- 3-я - вентиляционный штрек 10Л – маркшейдерская точка 2517;
- 4-я - конвейерный штрек 10Л (по направлению от дренажного квершлага пл. Лутугинского) - маркшейдерская точка 2650 ПК150.

За наблюдаемый период (25.06.2018 – 31.10.2018 г.) было зарегистрировано 24 эпизода производства массовых взрывов на участке ОГР. Результаты зафиксированных смещений в кровле исследуемых выработок представлены на графиках (рис. 11 – рис. 13). Средняя скорость V_U смещений пород кровли составила: в конвейерном штреке 10Л – 0,13 мм/сут; в монтажной камере 10Л-бис – 0,24 мм/сут; в вентиляционном штреке 10Л – 0,1 мм/сут. Максимальная скорость смещений пород кровли была зарегистрирована в период с 31.08.2018 по 11.09.2018 гг. В это время на участке ОГР вблизи поля шахты «Южная» была произведена серия из 3 массовых промышленных взрывов. Максимальные скорости смещений V_U составили: в к/ш 10Л – 0,8 мм/сут; в м/к 10Л-бис – 1,0 мм/сут; в/ш 10Л – 0,7 мм/сут.

Таким образом, в период с 31.08.2018 по 11.09.2018 г. наблюдалось интенсивное увеличение скорости смещений пород кровли в местах заложения

наблюдательных станций, вызванное сейсмическим воздействием массовых взрывов.

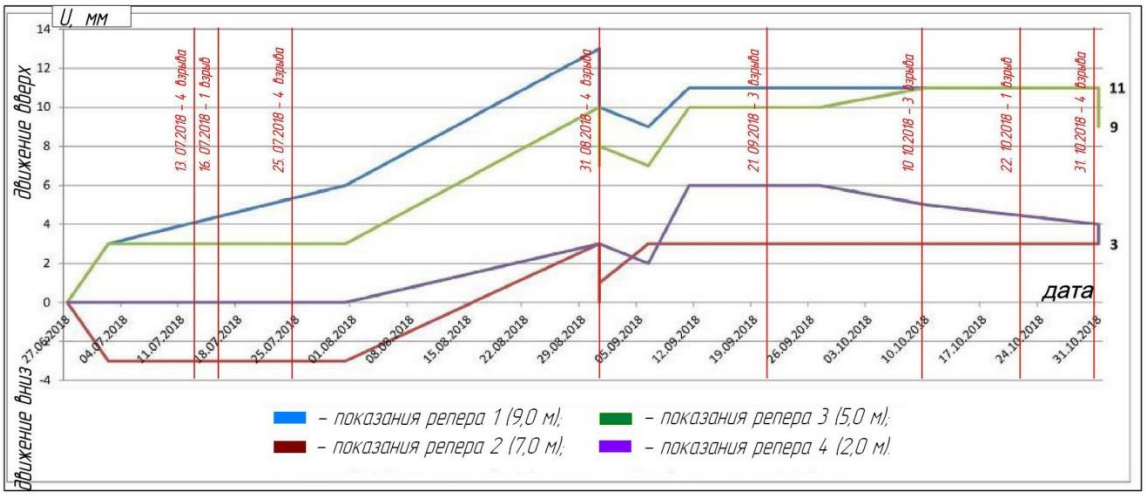

Рисунок 11 - График смещения глубинных реперов РГ-4 в кровле конвейерного штрека 10Л с привязкой к датам массовых промышленных взрывов в условиях ш. «Южная»

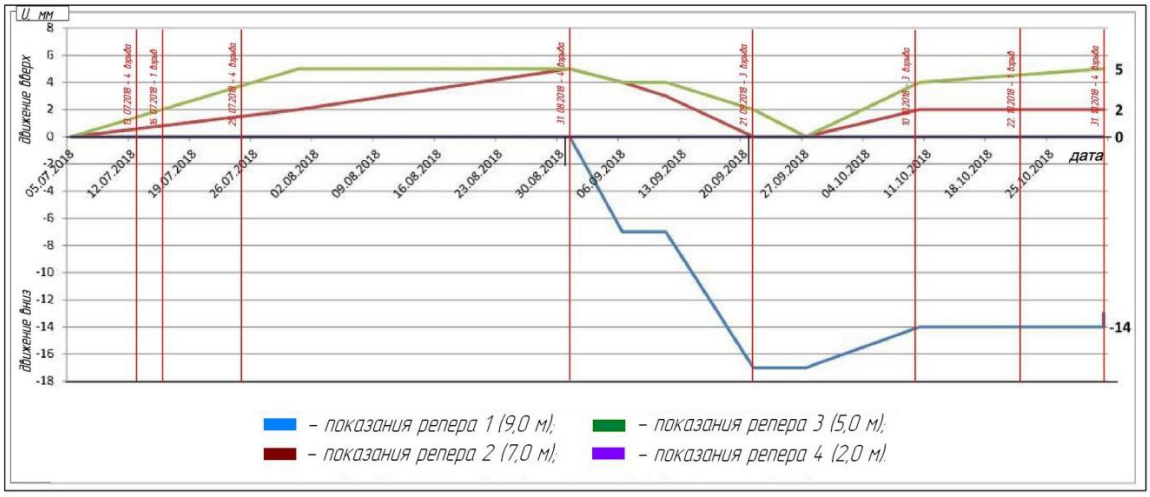

Рисунок 12 - График смещения глубинных реперов РГ-4 в кровле вентиляционного штрека 10Л с привязкой к датам массовых промышленных взрывов в условиях ш. «Южная»

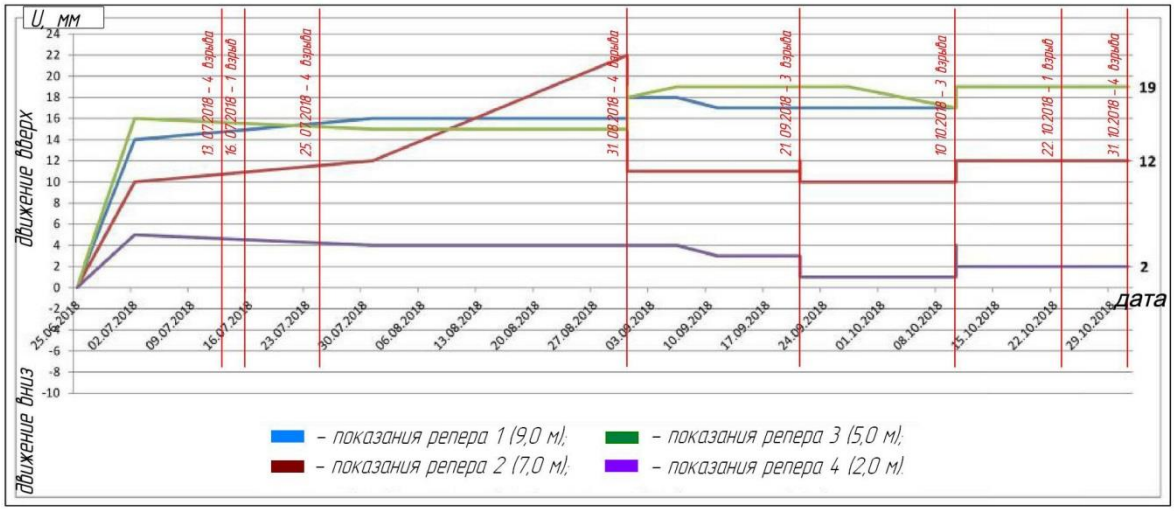

Рисунок 13 - График смещения глубинных реперов РГ-4 в кровле монтажной камеры 10Л-бис с привязкой к датам массовых промышленных взрывов в условиях ш. «Южная»

Результаты 24 эпизодов замеров смещений углепородного массива непосредственно перед и после массовыми взрывами приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Смещения приконтурных слоёв кровли подземных выработок, зарегистрированные непосредственно в момент проведения взрывных работ на поверхности

Масса ВВ в блоке $Q_{общ}$, кг	Кратчайшее расстояние R, м	Продолжит. Взрыва t, сек	Положение установки регистратора	Смещения пород кровли U, мм	Приведенное расстояние $R_{пр}$, м/кг$^{-1/3}$
64998	945	11,97	к/ш 10Л	9	0,043617
64998	848	11,97	м/к 10Л-бис	15	0,03914
64998	968	11,97	в/ш 10Л (размыв)	0	0,044678
27751	1037	5,65	к/ш 10Л	2	0,112104
27751	900	5,65	м/к 10Л-бис	3	0,097294
27751	1005	5,65	в/ш 10Л (размыв)	0	0,108645
33765	927	13,86	к/ш 10Л	0	0,082363
33765	799	13,86	м/к 10Л-бис	3	0,070991
33765	788	13,86	Сопр. м/к 10Л-бис и в/ш 10Л	0	0,070013
17646	1121	9,3	к/ш 10Л	0	0,190581
17646	976	9,3	м/к 10Л-бис	0	0,16593
17646	1078	9,3	в/ш 10Л	0	0,183271
32618	1203	13,89	к/ш 10Л	0	0,110644
32618	1085	13,89	м/к 10Л-бис	2	0,099792
32618	1186	13,89	в/ш 10Л	0	0,109081
55443	928	7,22	к/ш 10Л	0	0,050214
55443	834	7,22	м/к 10Л-бис	3	0,045127
55443	837	7,22	Сопр. м/к 10Л-бис и в/ш 10Л	0	0,04529
56743	995	4,69	к/ш 10Л	0	0,052606
56743	903	4,69	м/к 10Л-бис	4	0,047742
56743	1025	4,69	в/ш 10Л	0	0,054192
61187	892	10,45	к/ш 10Л	0	0,043735
61187	775	10,45	м/к 10Л-бис	4	0,037998
61187	886	10,45	в/ш 10Л	0	0,043441

На рисунке 14 представлена зависимость между смещениями пород кровли подземных выработок и основными параметрами массовых взрывов на поверхности.

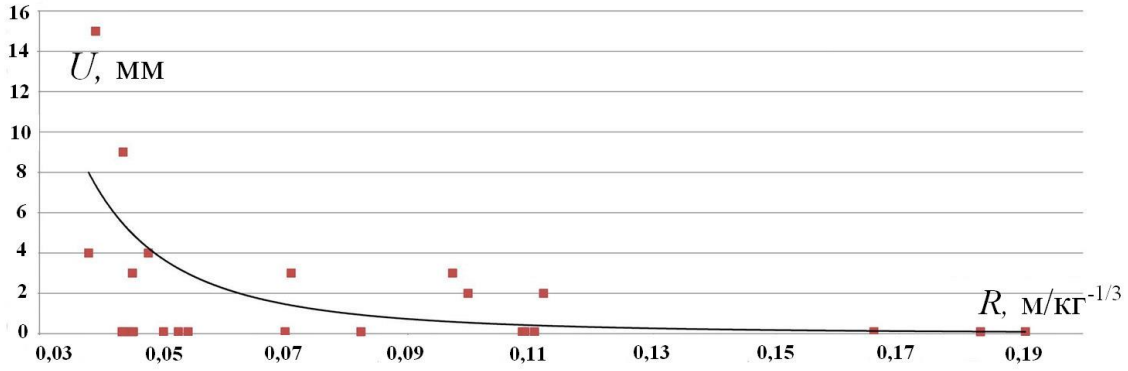

Рисунок 14 - Зависимость между смещениями пород кровли и приведенным эквивалентным расстоянием до границы взрываемого блока.

Результаты анализа (рис. 14) показывают, что зависимость между смещениями пород кровли подземных выработок и основными параметрами массовых взрывов на поверхности могут быть определены по формуле

$$U = 8{,}9 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2{,}782}, \qquad (7)$$

где U – смещения пород кровли, мм; R – кратчайшее приведенное эквивалентное расстояние от границы вызываемого на поверхности блока и подземной наблюдательной станцией, м/кг$^{-1/3}$; Q – масса ВВ в блоке, кг.

Результаты видеоэндоскопических исследований пород кровли выработок показывают, что непосредственно в наблюдаемый период производства массовых промышленных взрывов в серии зарегистрированы эпизоды расслоений пород на глубинах: 1,03 и 3,77 м. При длительном наблюдении за шпурами в кровле выработок наблюдается значительное увеличение протяженности деформируемых участков, вплоть до полного перекрытия сечения шпуров.

В четвёртой главе разработаны способы расчета параметров анкерной крепи выработок, подвергающихся воздействию влаги и сейсмических волн.

Основными расчетными показателями анкерной крепи горных выработок являются: шаг установки поперечных рядов крепи C, сопротивление крепи $P_{ак}$, длина анкера l,количество анкеров в поперечном ряду n, плотность установки крепи П. Зависимость и порядок расчета основного параметра – шага установки попречных рядов крепи C – схематично представлена на алгоритме (рис. 15).

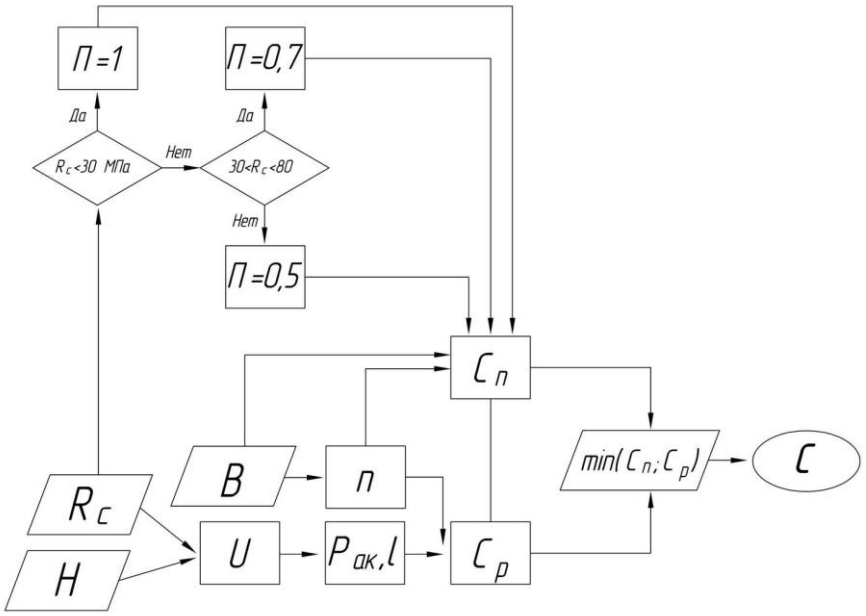

Рисунок 15 - Блок-схема алгоритма расчета шага установки поперечных рядов крепи C

Используя полученные во второй главе работы зависимости снижения прочностных свойств осадочных горных пород, была произведена оценка влияния влаги на значения шага установки попречных рядов крепи C для выработок, заложенных в диапазоне глубин H 100 - 550 м, с проектной шириной B от 3,0 до 7,0

м в породах прочностью R_c от 6,0 до 100 МПа при сроке воздействия влаги более 30 суток. Результаты расчетов приведены в виде матриц (рис. 16)

R_c	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
***B*=4,0 м.**										
30	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)
40	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
50	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
60	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
70	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
80	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
90	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9 (5 %)
100	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
***B*=5,0 м.**										
30	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)	1,0 (28 %)
40	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)
50	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)
60	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
70	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
80	2	2	2	2	2	2	2	1,9 (5 %)	1,8 (10 %)	1,7 (15 %)
90	2	2	2	2	2	2	1,9 (5 %)	1,8 (10 %)	1,8 (15 %)	1,6 (20 %)
100	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
***B*=6,0 м.**										
30	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)	1,1 (21 %)	1,0 (28 %)
40	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)	1,1 (21 %)
50	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)
60	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)
70	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
80	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8 (5 %)	1,8 (5 %)	1,7 (10 %)	1,6 (15 %)	1,5 (21 %)	1,5 (21 %)
90	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,6 (15 %)	1,6 (15 %)	1,5 (21 %)	1,4 (26 %)
100	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2	2	2	1,8 (5 %)	1,8 (5 %)
***B*=7,0 м.**										
30	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)	1,1 (21 %)	1,0 (28 %)	0,9 (35 %)
40	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)	1,1 (14 %)	1,0 (28 %)
50	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (7 %)	1,1 (21 %)
60	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)	1,2 (14 %)
70	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3 (7 %)
80	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,5 (6 %)	1,4 (12 %)	1,4 (12 %)
90	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5 (6 %)	1,5 (6 %)	1,4 (12 %)	1,3 (19 %)
100	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

отсутствует влияние на расчетный шаг;

уменьшение шага на 11-30%;

1,3 (7%) расчетный шаг установки рядов крепи, в скобках – изменение относительно сухого образца.

уменьшение шага на 7-10%;

уменьшение шага на 31-49%;

Рисунок 16 - Расчетный шаг установки поперечных рядов крепи в кровле выработок, закрепляемой в песчаниках на глинистом цементе

Анализ матриц показывает, что воздействие влаги не оказывает заметного влияния на шаг установки поперечных рядов крепи, закрепляемой в песчаниках на кварцевом цементе. Уменьшение шага *C* на 7 % потребуется лишь с глубины *H* заложения выработки в 500 м при проектной ширине выработки *B* от 6,0 м при закреплении в слабых песчаниках с $R_с$ = 30 МПа.

При расчете параметров крепи в песчаниках на глинистом цементе (рис. 16) воздействие влаги окажет влияние, начиная от глубины *H* = 500 м при проектной ширине выработки *B* = 4,0 м (уменьшение шага *C* на 7 %). С увеличением ширины выработки граница глубины, с которой влага будет оказывать влияние на корректировку шага, будет уменьшаться: для *B* = 5,0 м - с глубины *H* = 400 м, для *B* = 6,0 м - с глубины *H* = 300 м, для *B* = 7,0 м - с глубины *H* = 350 м.

Установленные зависимости и произведенная оценка граничных условий, при которых воздействие влаги будет оказывать влияние на расчет параметров анкерной крепи выработок позволяет использовать коэффициент влияния водонасыщения $k_{вл}$ (табл. 3) при расчете шага установки крепи

$$C_{анк}^{р} = \frac{n_{ак} \cdot N_{ак}}{B_{пр} \cdot P_{ак} \cdot (2 - k_{вл})}. \tag{8}$$

Таблица 3 - Значения коэффициента влияния водонасыщения $k_{вл}$

Тип горной породы	Срок водонасыщения, дней		
	7	14	30 и более
Песчаник на кварцевом цементе	0,95	0,92	0,83
Песчаник на кварцевом цементе	0,55	0,48	0,39
Глинистые сланцы	0,34	0,23	0,12

Используя установленные в третьей главе работы зависимости разового приращения смещений от параметров массовых взрывов, частоты сейсмического воздействия и срока службы подземной горной выработки, расчет шага установки поперечных рядов *C*, согласно алгоритму (рис. 15) примет следующий вид:

$$C_{анк}^{р} = \frac{n_{ак} \cdot N_{ак}}{B_{пр} \cdot P_{ак} \cdot k_{сесм}}. \tag{9}$$

Значение коэффициента влияния сейсмического воздействия $k_{сесм}$ определяется следующим образом:

$$k_{сейсм} = \left(\frac{n \cdot 8{,}9 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2{,}78} \cdot k_{шир}}{P} \right) + 1, \tag{10}$$

где n – частота сейсмических воздействий за срок службы выработки, шт; R – среднее расстояние от границы вызываемого на поверхности блока до подземной выработки, м.; Q – масса ВВ в блоке, кг; $k_{шир}$ – коэффициент влияния ширины выработки; P – требуемое сопротивление крепи, кН/м^2.

Значение частоты сейсмических воздействий за срок службы выработки n определяется следующим образом

$$n = (N_c \cdot N_{взр} \cdot 12) \cdot T, \tag{11}$$

где N_c –количество серий взрывов в мес; $N_{взр}$ –количество взрывов в серии; T – срок службы подземной горной выработки, лет.

Значение $k_{шир}$ – коэффициента влияния ширины выработки принимается согласно таблицы 4

Таблица 4 - Значения коэффициента влияния ширины выработки $k_{шир}$

Ширина выработки $B_{пр}$, м	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Значение коэф. $k_{шир}$	1,99	1,985	1,96	1,96	1,998	2,0	2,0	1,9	1,958

Требуемое значение длины анкеров крепления кровли выработки $l_{сейсм}$ определяется по формуле

$$l_{сейсм} = l \cdot k_L, \tag{12}$$

где l – нормативная длина анкера, м.; k_L – коэффициент запаса длины анкера.

$$k_L = \left(\frac{n \cdot 8{,}9 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-2{,}78} \cdot 0{,}012 \cdot B^{0{,}77}}{P} \right) + 1, \tag{13}$$

где n – частота сейсмических воздействий за срок службы выработки, шт; R – среднее расстояние от границы вызываемого на поверхности блока до подземной выработки, м.; Q – масса ВВ в блоке, кг; B – проектная ширина выработки, м; P – требуемое сопротивление крепи, кн/м^2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся научно-квалификационной работой, решена задача по обоснованию и выбору параметров анкерной крепи подземных выработок, включающая оценку влияния водонасыщения массива и сейсмического воздействия массовых промышленных взрывов на поверхности, на основе установленных зависимостей изменения деформаций и физико-механических свойств приконтурного массива от влияющих факторов, имеющая существенное значение для подземной геотехнологии.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Установлено, что научно обоснованные методы расчёта параметров анкерной крепи выработок, подвергающихся периодическим воздействиям сейсмических волн, отсутствуют. Существующие методы расчёта параметров анкерной крепи выработок, подвергшихся воздействию влаги, в том числе нашедшие отражение в нормативной документации, не дифференцируют породы по петрографическому составу и фактическому сроку затопления.

2. Установлено, что водонасыщение различных по петрографическому составу образцов осадочных горных пород значительно отличается как по скорости, так и по влиянию на остаточную прочность образца. Зависимости носят логарифмический характер. Песчаники на кварцевом цементе значительно более устойчивы к водонасыщению и сохранению остаточной прочности, по сравнению с песчаниками на глинистом цементе. Полное водонасыщение глинистых сланцев (аргиллиты, мергель) до 10 % происходит на 2-7 день с интенсивным снижением их остаточной прочности вплоть до полного пластического разрушения.

3. Установлено, что влагонасыщение пород вызывает снижение удельного сцепления скрепляющего полимерного состава со стенками шпура на 37 % при закреплении в песчаниках и на 48 % при закреплении в алевролитах. Однако величина усилия закрепления в водонасыщенных породах, при вышеуказанных значениях удельного сцепления, превышает усилие разрыва анкерного стержня, что подтверждается серией испытаний проверки прочности закрепления анкерных стержней в шпурах.

4. Обоснован способ расчета параметров анкерного крепления горных выработок, подвергшихся влиянию влаги, основанный на выборе параметров анкеров по смещениям пород кровли с закономерностями изменения прочностных свойств различных типов осадочных горных пород. Способ позволяет учитывать глубину расположения и проектную ширину выработок, прочностные характеристики и генезис горных пород, а также визуально по серии матриц определить граничные условия, при которых воздействие влаги начнет оказывать влияние на расчет параметров анкерной крепи.

5. Установлено, что воздействие влаги на массив осадочных горных пород приводит к увеличению смещений в контур выработки, росту нагрузки на крепь и уменьшению расчетного шага установки крепления: при закреплении в песчаниках с кварцевым цементом – на 7 % с глубины 500 м; при закреплении в песчаниках с глинистым цементом – на 5 - 28 % с глубины 300 м; при закреплении в глинистых сланцах (алевролит, аргиллит, мергель) – на 7 – 64 % с глубины 150 м.

6. Установленные закономерности показывают, что массовые промышленные взрывы на поверхности приводят к увеличению абсолютных значений смещений $U_{кр}$ и их скоростей V_U в приконтурных слоях кровли в 4,16-7 раз в период проведения

взрывов. Амплитуды деформаций приконтурных слоев кровли носят знакопеременный характер.

7. Обоснован способ расчета параметров анкерного крепления горных выработок, подвергающихся влиянию сейсмических волн, основанный на выборе параметров анкеров по увеличению смещений пород. Установленные коэффициенты влияния сейсмического воздействия $k_{сесм}$ и запаса длины анкера k_L позволяют нивелировать возрастающее значение требуемого сопротивления крепи P за счет уменьшения шага установки крепи и увеличения длины анкерных стрежней, с учетом проектной ширины, срока службы выработки, основных параметров и частоты массовых взрывов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

В изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. **Цибаев С. С.** Оценка влияния затопления горных выработок на состояние приконтурного массива горных пород и элементов анкерной крепи [Текст] / С. С. Цибаев, А. А. Ренев, Д. В. Зорков // ГИАБ. – 2015. – № 5. – С. 35-43.
2. Зорков Д. В. Геомеханическое обоснование выбора крепи предварительно подготовленной демонтажной выработки [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев, **С. С. Цибаев** // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 2 (108). – С. 49-56.
3. Зорков Д. В. Геомеханическое обоснование въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку [Текст] / Д. В. Зорков, А. А. Ренев, **С. С. Цибаев** // ГИАБ. – 2015. – № 4. – С. 12-21.
4. **Цибаев С. С.** Результаты оценки влияния затопления горных выработок на устойчивость анкерного крепления и деформации углепородного массива [Текст] / С. С. Цибаев, А. А. Ренев, С. И. Калинин, Д. В. Зорков, К. А. Филимонов // Вестник КузГТУ. – 2018. – № 1 (125). – С. 37-43.

В изданиях Scopus, Web of Science:

5. Renev A., **Tsibaev S.**, Kalinin S. The Evaluation of Negative Anthropogenic Factors Subjection on Bolts Stability and Surrounding Massif Deformations. 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection". – 2018. – pp. 359-364. – https://doi.org/10.2991/coal-18.2018.67
6. **Tsibaev S.** The analysis of the influence of rock massif water saturation on the mine workings anchoring design parameters / S. Tsibaev, A. Renev, E. Kudrin, D. Zaiatdinov // E3S Web of Conferences 105, 01027 (2019) https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501027
7. **Цибаев С. С.**, Ренев А. А., Позолотин А. С., Мефодьев С. Н. Оценка влияния динамических сейсмических воздействий на устойчивость подземных горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – No 2. – С. 101–111. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-101-111

8. **Tsibaev S.** Analysis of rock mass and anchor support elements deformations during the long-term maintenance of mine workings / S. Tsibaev, A. Renev, R. Zainulin, A. Kucherenko // E3S Web of Conferences 174, 01001 (2020) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401001
9. Filimonov K. Rock Pressure Manifestation in Development Workings Advanced in a Thick Coal Seam / K. Filimonov, D. Zorkov, **S. Tsibaev**, A. Kucherenko // E3S Web of Conferences 174, 01037 (2020) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401037

В прочих изданиях и материалах конференций:

10. **Цибаев С. С.** Виды анкерного крепления, применяемые для крепления горных выработок. отечественный и зарубежный опыт [Текст] / С. С. Цибаев, А. М. Мирошниченко // Сборник докладов магистров, студентов и аспирантов по материалам 52-ой и 53-ей научно-практической конференций, Кемерово, 2008 г. - С. 205-209
11. **Цибаев С. С.** Исследование состояния анкерной крепи в выработках, подвергшихся воздействию взрывной волны, высокой температуры и затопления [Текст] / С. С. Цибаев, С. И. Калинин, Д. Н. Дегтярев, Д. В. Зорков // Сборник трудов IV международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России». Прокопьевск, 2014г. - С. 245-250.
12. **Цибаев С. С.** Разработка методического руководства по исследованию состояния подземных горных выработок, закрепленных анкерной крепью по истечении 5 лет эксплуатации, а также подвергшихся влиянию негативных техногенных факторов [Текст] / С. С. Цибаев, С. И. Калинин, Д. Н. Дегтярев, Д. В. Зорков // Сборник докладов студентов, аспирантов и преподавателей. VI Всерос., 59 науч.-практ. конф. молодых ученых с международным участием «Россия молодая», 2014 г., Кемерово, 2014. – С. 72-76.
13. **Цибаев С. С.** Результаты оценки состояния подземных горных выработок ш. «Распадская», закрепленных анкерной крепью, оказавшихся в зоне влияния техногенной катастрофы [Текст] / С. С. Цибаев // Материалы VIII Международной научной конференции "Инновации в технологиях и образовании". Белово, Велико Тырново (Болгария), 2015. - С. 208-212.
14. **Цыбин И. О.** Анализ способов контроля деформаций углепородного массива и элементов анкерной крепи [Эл. ресурс] / И. О. Цыбин, **С. С. Цибаев** // Россия молодая. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2020. С. 10708.1

Подписано в печать 11.11.2020. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman». Уч.-изд. л. 1,37.
Тираж 100 экз. Заказ № 325
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А