

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт–Петербургский горный университет»

На правах рукописи

Тхан Ван Зуи



РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ ВЫЕМКИ ПЛАСТОВ С
НИЗКИМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ УГЛЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ
ШАХТ КУАНГНИНСКОГО БАССЕЙНА (ВЬЕТНАМ)

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Зубов В.П.

Санкт–Петербург – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ШАХТНОГО ФОНДА ВЬЕТНАМА.....	10
1.1 Современное состояние и перспективы развития шахтного фонда угольной промышленности Вьетнама	10
1.2 Характеристика угольных пластов с низкими прочностными характеристиками и горно–геологических условий их отработки.....	15
1.3 Анализ специфики горно–геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов на шахте «Хечам»	19
1.4 Выводы по Главе 1	28
ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКОГО ОПЫТА ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ УГЛЯ С НИЗКИМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ШАХТАХ ВЬЕТНАМА И ДРУГИХ СТРАН МИРА.....	30
2.1 Обзор опыта применения технических решений для увеличения сцепления угля и породы с низкими прочностными характеристиками на шахтах угледобывающих стран мира.....	30
2.2 Анализ опыта применения технических решений для увеличения сцепления угля и породы с низкими прочностными характеристиками на угольных шахтах Вьетнама.....	39
2.3 Анализ причин самопроизвольного обрушения угля из кровли и из забоя лавы.....	47
2.4. Выводы по Главе 2	50
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ОСНОВ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МОЩНЫХ ПЛАСТОВ УГЛЯ С НИЗКИМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	51
3.1 Анализ особенностей деформирования угольного массива впереди забоя лавы.....	51
3.2 Анализ модели механического взаимодействия между угольным пластом, крепью и породой кровли.....	55

3.3 Научные основы повышения устойчивости мягкого угля (силы сцепления) впереди забоя лавы при его увлажнении.....	61
3.4 Выводы по Главе 3	66
ГЛАВА 4 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ РАЗРУШЕННОГО УГОЛЬНОГО МАССИВА ВПЕРЕДИ ЗАБОЯ ЛАВЫ НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ	68
4.1. Исследование физико–механических свойств угля с низкими прочностными характеристиками.....	68
4.2. Методика исследования влияния степени увлажнения угля впереди забоя лавы на устойчивость на его устойчивость.	82
4.3 Выводы по Главе 4	93
ГЛАВА 5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМЫ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ ПЛАСТОВ УГЛЯ С НИЗКИМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	96
5.1 Базовые положения при разработке рекомендуемых технологий	96
5.2. Технологические схемы увлажнения угольного пласта	97
5.3 Определение параметров способа нагнетания воды в угольный массив впереди забоя лавы	102
5.4 Рекомендуемая технологии увлажнения угольных пластов и ее технические параметры для условий шахты «Хечам»	106
5.5 Оценка технико–экономических целесообразности применения рекомендованной технологии в условиях шахты «Хечам».....	110
5.5 Выводы по Главе 5	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	143
ПРИЛОЖЕНИЕ А Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт о внедрении результатов.....	150

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Вопросами, связанными с разработкой эффективных способов управления состоянием горного массива, обеспечивающих повышение экономической эффективности и безопасности подземной отработки угольных пластов, занимаются многие научно–исследовательские организации практически во всех угледобывающих странах.

В связи с характерной для большинства угледобывающих стран мира тенденцией истощения качественных запасов угля на современном этапе развития технологий подземной угледобычи шахты сталкиваются с необходимостью вовлечения в отработку запасов в сложных горно–геологических условиях. Это накладывает труднопреодолимые ограничения на возможности повышения технико–экономических показателей работы шахт при выполнении требований по факторам «потери» и «безопасность работ». К числу проблемных вопросов для шахт Вьетнама, России, Китая и др. стран относятся вопросы, связанные с отработкой пластов угля с низкими прочностными характеристиками.

На угольных шахтах Куангнинского бассейна Вьетнама такие пласты называют пластами с «мягкими углями», их доля в общем объеме запасов достигает 10–30%.

Степень разработанности темы исследования

На современное состояние и перспективы совершенствования технологий управления состоянием горного массива при подземной угледобыче значительное влияние оказали результаты исследований Борисова А.А., Кузнецова С.Т., Громова Ю.В., Зубова В.П., Шика В.М., Ермакова А.Ю., Клишина В.И., Махно Е.Я., Казанина О.И., Шундулиди И.А., Мельника В.В., Соловьева А.С.

Вместе с тем рассматриваемые вопросы являются недостаточно изученными при отработке мощных пологих и наклонных угольных пластов с низкими прочностными характеристиками. При этом особого внимания заслуживает перспективная технология очистных работ с выпуском угля из подкровельной угольной пачки на завальный конвейер. Комплексно–

механизированная технология очистных работ с выпуском подкровельной толщи за последнее 10–15 лет получила наибольшее развитие на шахтах КНР (шахты "Сунлоу", "Жэнган", "Люцзяян" и др.), Вьетнама (шахты "Халам", "Вангзань", "Хечам", "Нуибео", "Монгзыонг", "Уонгби" и др.) с применением крепей поддерживающе–оградительного типа с активным управлением завальным конвейером и ограждением.

Характерной особенностью ведения очистных работ по пластам с низкими прочностными характеристиками является повышенная интенсивность обрушений угля в призабойном пространстве лав подсечного слоя, что оказывает существенное отрицательное влияние на технико–экономические показатели шахт и безопасность горных работ.

Объект исследования – технологии выемки мощных пологих пластов с низкими прочностными характеристиками угля.

Предмет исследования – процесс разрушения подкровельной угольной пачки и забоя лавы при отработке мощных пластов с низкими прочностными характеристиками угля.

Цель работы – обоснование параметров технологии выемки мощных пологих пластов с низкими прочностными характеристиками угля, позволяющей уменьшить интенсивность самопроизвольных обрушений угля из забоя лавы и подкровельной угольной пачки в призабойное пространство лавы.

Идея заключается в том, что для снижения интенсивности самопроизвольных обрушений угля в призабойное пространство лав при разработке пологих пластов угля с низкими прочностными характеристиками с определенным опережением лавы в угольный пласт необходимо нагнетать жидкость, например, на основе шахтной воды, что позволит увеличить силы сцепления между отдельными частицами разрушенного угля и повысить устойчивость угольных обнажений в течение времени передвижки крепи.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач** исследований:

1. Установление факторов, влияющих на технико–экономические

показатели лав при отработке пластов угля с низкими прочностными характеристиками угля.

2. Оценка влияния стадии деформирования основной кровли на интенсивность обрушения угля из забоя лавы и подкровельной пачки.

3. Определение физико–механических свойств «мягких» углей при их различной влажности.

4. Определение параметров зон разрушения угля, формирующихся впереди забоя лавы при отработке пластов с низкими прочностными характеристиками.

5. Определение основных параметров технологии нагнетания воды в угольный пласт с опережением забоя лавы.

Научная новизна работы:

1. Установлена параболическая зависимость предельно допустимой площади обнажения забоя лавы и подкровельного слоя от степени увлажнения угля.

2. Установлены зависимости основных параметров разработанной технологии, включающей увлажнение угля впереди забоя лавы, от горнотехнических факторов.

3. Установлена параболическая зависимость влияния продолжительности увлажнения разрушенного горным давлением угольного массива на силу сцепления угля, имеющего различную влажность.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Экспериментально доказан факт повышения устойчивости угольного массива впереди забоя лавы при его увлажнении.

2. Использование разработанной технологии выемки пологих мощных пластов с низкими прочностными характеристиками угля позволяет повысить производительность труда и безопасность очистных работ.

3. Результаты исследований используются угольной компанией «Хечам» (Вьетнам) при проектировании технологий подземной разработки пологих пластов с низкими прочностными характеристиками угля для шахт Куангнинского угольного бассейна. Имеется акт внедрения результатов

диссертации угольной компанией «Хечам», Вьетнам от 06.04.2023 г. (приложение Б).

Методология и методы исследования – для решения поставленных задач применён комплексный метод исследований, включающий анализ практического опыта разработки пластов с низкими прочностными характеристиками угля; лабораторные исследования влияния влажности угольного массива на его устойчивость; аналитические исследования влияния горнотехнических факторов на характер и интенсивность обрушения угля в призабойном пространстве лавы.

Положения, выносимые на защиту:

1. При разработке мощных пластов угля, характеризующегося низкими прочностными характеристиками, с использованием известных технологий, включающих выпуск угля из подкровельной пачки на завальный конвейер, основной причиной низких технико–экономических показателей очистных работ и повышенной их опасности являются практически непредсказуемые самопроизвольные высыпания угля из забоя лавы и обрушения подкровельной пачки в призабойное пространство.

2. Устойчивость разрушенного горным давлением угольного массива повышается при увеличении степени его увлажнения до определенной величины, после чего начинается снижение устойчивости угольного массива до полного его обрушения. Для условий отработки «мягких» углей на шахтах Куангнинского бассейна максимальная устойчивость угольного массива наблюдается при степени его увлажнения, равной 12–18%.

3. Использование разработанной технологии выемки мощных (5–12м) пластов угля с низкими прочностными характеристиками, включающей увлажнение угля впереди забоя лавы, позволяет уменьшить частоту самопроизвольных обрушений угля из подкровельной угольной пачки и его высыпаний из забоя, следствием чего является сокращение продолжительности простоя лавы и увеличение объемов добычи не менее, чем на 15–20%

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается применением апробированных методов шахтных и лабораторных исследований;

удовлетворительным совпадением основных результатов моделирования с данными шахтных наблюдений; опытно промышленной проверкой основных выводов и рекомендаций в производственных условиях.

Апробация результатов – основные результаты выполненных исследований докладывались на шахте «Хечам» Куангнинского угольного бассейна (Вьетнам); обсуждались на международных и всероссийских конференциях, в том числе: IV Международной научно–практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (г. Санкт–Петербург, 2021 г.); Международной научно–практической конференции «Концепции устойчивого развития науки в современных условиях» (г. Новосибирск, 2022 г.).

Личный вклад автора заключается в обосновании цели и задач диссертационного исследования; обосновании методики и проведения лабораторных, аналитических и натурных исследований; определении основных параметров рекомендуемой технологии отработки пластов с низкими прочностными характеристиками угля.

Публикации. Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 4 печатных работах (пункты списка литературы № 18, 19, 48 и № 56), в том числе в 3 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 1 статье – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (приложение А).

Структура работы. Диссертация включает оглавление, введение, пять глав с выводами, заключение, список литературы из 139 наименований. Диссертация изложена на 150 страницах машинописного текста, содержит 72 рисунка и 20 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору Зубову Владимиру Павловичу за большую

помощь при определении основных направлений исследований и подготовке диссертации, сотрудникам кафедры РМПИ и лаборатории моделирования Горного университета за помощь в организации и проведении лабораторных исследований, к.т.н. Фунг Мань Дак и сотрудникам угольной компании «Винакомин» за предоставленные информационные материалы и содействие при проведении шахтных исследований.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ШАХТНОГО ФОНДА ВЬЕТНАМА

1.1 Современное состояние и перспективы развития шахтного фонда угольной промышленности Вьетнама

Во Вьетнаме имеется 4 основных типа угля с соответствующим распределением по территории Вьетнама: антрацитовый уголь расположен в Северо-Восточном бассейне в основном в провинции Куангнин; битуминозный уголь - в провинциях Тхайнгуен, Лангшон и Хоабинь; суббитуминозный уголь - в бассейне дельты Красной реки; торфяной уголь - в торфяном бассейне в дельте реки Меконг. История добычи угля во Вьетнаме насчитывает более 100 лет и осуществляется в настоящее время в основном в угольном бассейне Куангнин.

Согласно плана развития угольной промышленности Вьетнама до 2030 года [27, 53, 75, 93], общий объем угольных запасов и ресурсов Вьетнама составляет 48,9 миллиардов тонн. Промышленные запасы, залегающие на глубинах до –800 метров, оцениваются в 2,26 миллиарда тонн, преимущественно сосредоточенных в угольном бассейне Куангнин, где находится 1,8 миллиарда тонн, что составляет 80% от общего объема. При этом подземная добыча составляет 83% (1,87 миллиарда тонн). Таким образом, можно утверждать, что запасы угля в угольном бассейне Куангнин станут основными объектами разработки в ближайшем будущем. Распределение геологических запасов угля в угольных бассейнах Вьетнама приведено в таблице 1.1 и на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Схема расположения угольных провинций бассейна Куангнин

Таблица 1.1 – Общие запасы угля Социалистической Республики Вьетнам

Район	Промышленные запасы (млн. тонн.)	Геологические запасы по категориям (млн. тонн.)			
		Всего	A+B	C1+C2	P
Всего	2.255				
– Открытый способ	379	48.878	2.421	3.824	42.632
– Подземный способ	1876				
Угольный бассейн Куангнин	1.817				
– Открытый способ	288	6.287	2.328	1.980	1.979
– Подземный способ	1530				
Угольный бассейн дельты Красной реки	235				
– Открытый способ	0	42.011	0	1.479	40.531
– Подземный способ	235				
Угольный бассейн Нойдиа	126				
– Открытый способ	90	206	93	106	7
– Подземный способ	36				
Торфяные и угольные шахты в провинциях	77				
– Открытый способ	2	373	0	258	115
– Подземный способ	75				

Промышленные запасы 12 перспективных шахт угольного бассейна Куангнин (Вангзань, Маохе, УонгБи, Наммау, Нуйбео, Халам, Куангхань, Тхонгнат, Монгзыонг, Хечам, Дуонгзуй и Халонг) составляют около 1,6 млрд тонн. Из них запасы в мощных пластах с углами падения разрабатываемых пластов 5 – 35 градусов превышают 60 % [75, 77].

Годовой объём добычи угля во Вьетнаме за последние 10 лет колеблется от 40 до 47 млн. тонн (Рисунок 1.2). При этом добыча угля подземным стабильно росла с 21,5 до 36,2 млн тонн в год, а добыча открытым способом постепенно снижалась с 20,6 до 15 млн тонн в год [42, 36, 75]. Этот результат обусловлен применением технологий добычи с использованием гидравлических крепей в лаве.

В лавах осуществляются очистные работы преимущественно с применением буровзрывного способа (89%) и комбайнов (11%). Крепление призабойного пространства лав осуществляется с помощью комплектных крепей типа XDY, ZH, GK.

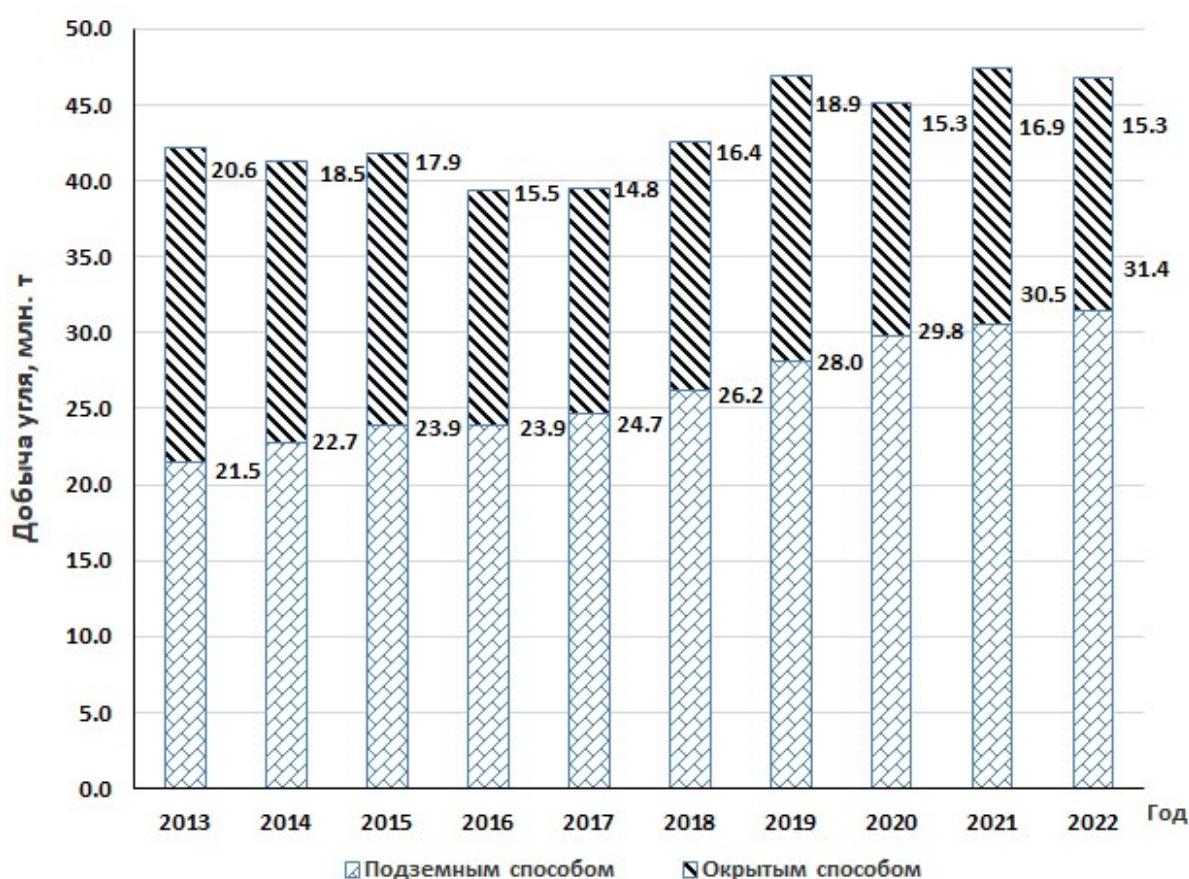


Рисунок 1.2 – Объемы добычи угля в отрасли за период 2013–2022 г.

С 2013 г. по 2022 г. удельный вес подземной добычи угля из лав (Рисунок 1.3), оснащенных механизированными очистными комплексами, увеличился с 2,6 % до 17,5%; оснащенных индивидуальными комплектными крепями типа ZH, GK увеличился с 22,1% до 64,2%; оборудованных индивидуальными

гидравлическими стойками снизился с 21,1% до 4,2 %; оборудованных индивидуальными мобильными стойками XDY снизился с 29,2 % до 5,2 % (2022 г.) [36].

Основная система разработки пластов – длинными столбами (более 80 %) с длиной выемочных столбов от 200 до 800 м; длина лавы от 50 до 150 м. Средние темпы увеличения глубины горных работ составляют 10,7 м в год; скорости подвигания лав - 6,0–73,8 м/мес; углы падения разрабатываемых пластов 5 – 35 градусов; мощности пластов 3–20 м; глубина работ 300–650 м.

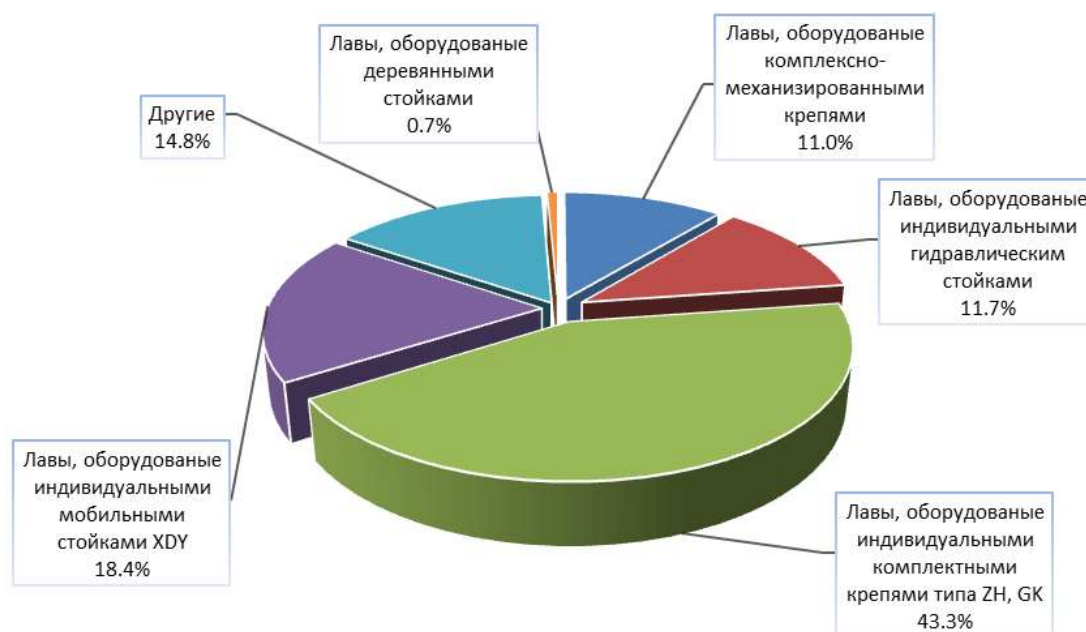


Рисунок 1.3 – Соотношение различных видов средств крепления лав при подземной добыче угля в период с 2013 по 2022 год

По плану развития угольной промышленности Вьетнама в период от 2020 до 2025 года и прогноз до 2030 г. [42, 43] ежегодный прирост добычи не будет существенно увеличиваться: с 1,2% до 3% в период 2021–2024 г.г. и от 0,5% до 2% в период 2025–2030 г.г. Добыча угля подземным способом увеличится с 36 млн. тонн в 2020 году до 48,3 млн. тонн в 2025 году и с 51,3 млн. тонн в 2026 году до 56. 7 миллионов тонн к 2030 году. Это соответствует среднегодовому росту добычи на уровне 6,1%. Добыча угля открытым способом снизится с 22 млн. тонн в 2020 году до 11,3 миллионов тонн в 2025 году, а затем до 6,28 миллионов тонн в 2030 году. Среднегодовое сокращение добычи составляет 14,4% (Рисунок 1.4).

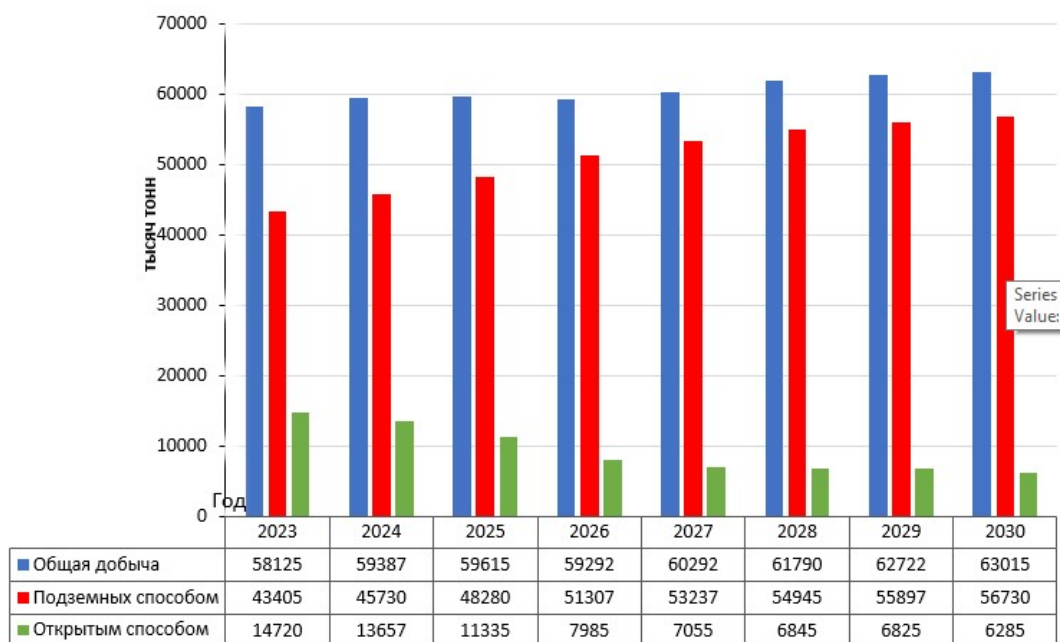


Рисунок 1.4 – План развития угольной промышленности Вьетнама на период с 2020 по 2025 год и прогноз до 2030 года

С 2015 года Вьетнам постепенно превратился из экспортера угля в импортера (Рисунок 1.5). Поэтому экономический рост и растущий спрос на уголь, в основном в энергетическом секторе, не могут быть полностью удовлетворены только за счет внутреннего производства. Помимо энергетики, промышленность также обеспечивает углем металлургическую, химическую и строительную отрасли и т.д.

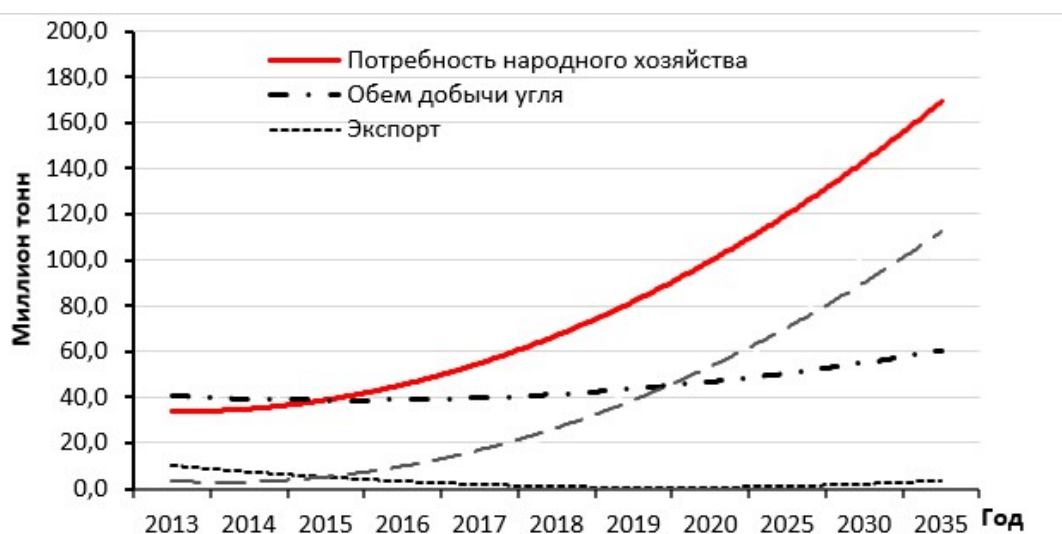


Рисунок 1.5 – Состояние и план потребности в угле, добычи и экспорта–импорта Вьетнама к 2035 г.

В работах [42, 43, 50] показано, что зарубежные поставки угля уменьшились с 12,8 млн тонн в 2013 г. до 2,1 млн тонн в 2017 г. Импорт угля Вьетнама в первом полугодии 2020 года составил 31–32 млн. тонн, а по плану на период с 2030 по 2035 год спрос на импорт угля увеличится более чем на 160 млн тонн. Это большая проблема для горнодобывающей промышленности Вьетнама, потому что, с 2015 по 2050 г. в основном будет реализован переход от открытой добычи угля к подземной.

В настоящее время угольные шахты во Вьетнаме эксплуатируются на глубине от –300 до –400 м относительно уровня моря. Максимальные глубины расположения продуктивных пластов от поверхности достигают 650 м [20]. Горно–геологические условия ведения горных работ сложные и очень сложные [9, 14, 118]: много тектонических дислокаций; строение угольных пластов неустойчиво (нестабильная мощность и углы наклона пластов); много геологических нарушений, больших складок, разветвленной формы угольных пластов различной мощности; высокое горное давление и т.д. Многие потенциальные риски для безопасности представляют собой серьезную проблему для горнодобывающей промышленности Вьетнама.

1.2 Характеристика угольных пластов с низкими прочностными характеристиками и горно–геологических условий их отработки

При переходе горных работ на более глубокие горизонты появляется проблема отработки угольных пластов с низкими прочностными характеристиками [52, 85, 124]. К числу таких пластов относятся, в частности, пласт 9 (шахта Маохе), пласты 7 и 10 (шахта Халам), пласт 14–5 (шахта Хечам III), пласт 7 (шахта Монгзыонг) с балансовыми запасами угля более 165 млн т., что составляет около 50 % общих балансовых запасов угля на указанных шахтах, добывающих 9,6 млн. тонн угля в год [55].

Таблица 1.2 – Запасы угольных пластов с «мягкими углями» на перспективных шахтах Куангнинского бассейна

Шахта	Проектная мощность шахты, млн. т/год	Общие балансовые запасы угля, млн. т	Угольные пласты с низкими прочностными характеристиками.	
			Номер пласта	Балансовые запасы, млн.
Маохе	2,0	71,9	9	30,4
Трангбах	1,2	29,9	11	12,3
Халам	2,4	110,3	7	66,8
			10	13,9
Хечам	2,5	76,8	14–5	24,1
Монгдыонг	1,5	41,1	7	18,1
Всего	9,6	330,0	-	165,6

Отличительными признаками пластов с «мягкими углями» являются: углы падения разрабатываемых пластов 5 – 35 градусов, мощности пластов 3–20 м, угольный массив представлен большим количеством тонких слоёв (0,5–5,0 см) с низким коэффициентом трения между ними, низкая влажность угля (0,8–1,3 %), низкая устойчивость угольного массива при его обнажении очистными работами [52, 65, 85]. Поэтому в процессе проведения подготовительных выработок и отработки запасов в очистном забое часто проявляется самопроизвольное обрушение угля из кровли и высыпание из забоя выработки (Рисунок 1.6), которое приводит к снижению темпов проведения очистных работ [33, 52, 55, 85].



Рисунок 1.6 – Самопроизвольное обрушение угля из кровли и высыпание из забоя лавы

Основная система разработки пластов с «мягкими углями» – длинными столбами с выемкой лавами по простиранию пласта с длиной выемочных столбов от 200 до 800 м, длина лавы от 50 до 150 м (Рисунок 1.7). При выемке мощных пластов угля применяют систему разработки с выпуском угля подкровельной толщи, крепление призабойного пространства лав осуществляется с помощью механизированных или комплектных крепей типа ZH, GK [7, 56, 107, 121].

За период с 1995 по 2019 год на угольных шахтах Вьетнама произошло 466 аварийных ситуаций, в результате которых травмировано 614 человек [19, 42, 76]. При этом, доля несчастных случаев, связанных с обрушениями угля и пород, составила 35–37% (Рисунок 1.8).

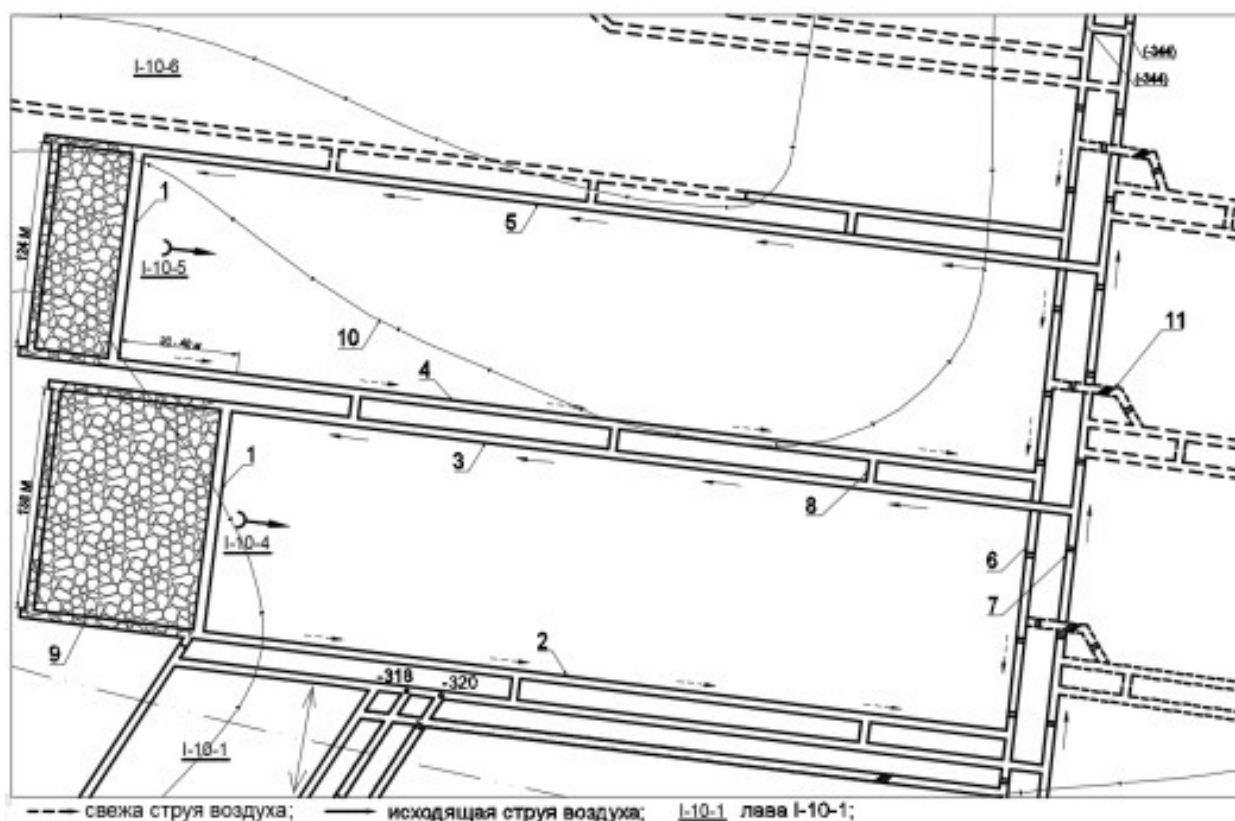


Рисунок 1.7 – Типовая система разработки угольных пластов длинными столбами, применяемая на перспективных шахтах Вьетнама [19]

На рисунке 1.7: 1 – лава; 2 и 4 – вентиляционные штреки; 3 и 5 – транспортные штреки; 6 и 7 – соответственно откаточный и вентиляционный бремсберг; 9 – обрушение породы; 10 – стратоизогипсы; 11 – вентиляционная выработка.

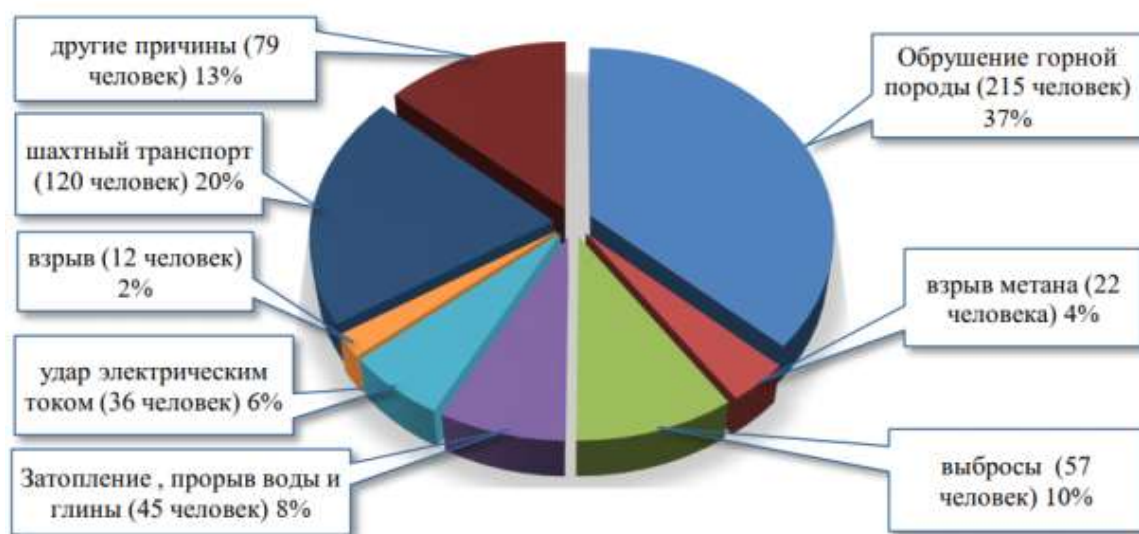


Рисунок 1.8 – Основные причины травматизма на шахтах Вьетнама [19, 42]

1.3 Анализ специфики горно–геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов на шахте «Хечам»

Общие сведения о шахте

Поле шахты Хечам расположено примерно в 22 км от центра города Камфа – Куангнин (Вьетнам) (Рисунок 1.1).

Шахта «Хечам» состоит из двух шахтных участков – «Хечам I» и «Хечам III», включающих 7 угольных пластов. Угольные пласты детально разведаны до уровня –350 м с общими промышленными запасами 77 млн. тонн [19, 43, 120]. Характеристика промышленных запасов угля приведена в таблице 1.3. Соотношения запасов угля по мощности и углу падения пласта показаны на рисунке 1.9.

За последние 5 лет (2018–2022 г.г.) среднегодовая производственная мощность шахты составляет около 1,8 млн. тонн в год.

Таблица 1.3 – Промышленные запасы угля на шахте «Хечам» [19]

№ пласта	Мощность пласта угля, м	Угол падения пласта угля, град.	Запасы по пластам	
			млн. тонн	в процентах от общего объёма, %
14–5	6,7	26	24,121	31,41
14–4	2,4	26	8,187	10,66
14–2	2,8	24	12,983	16,91
14–1	1,8	24	2,738	3,57
13–2	3,3	24	13,895	18,10
13–1	2,6	25	10,149	13,22
12	1,4	26	4,710	6,13
Сумма			76,783	100

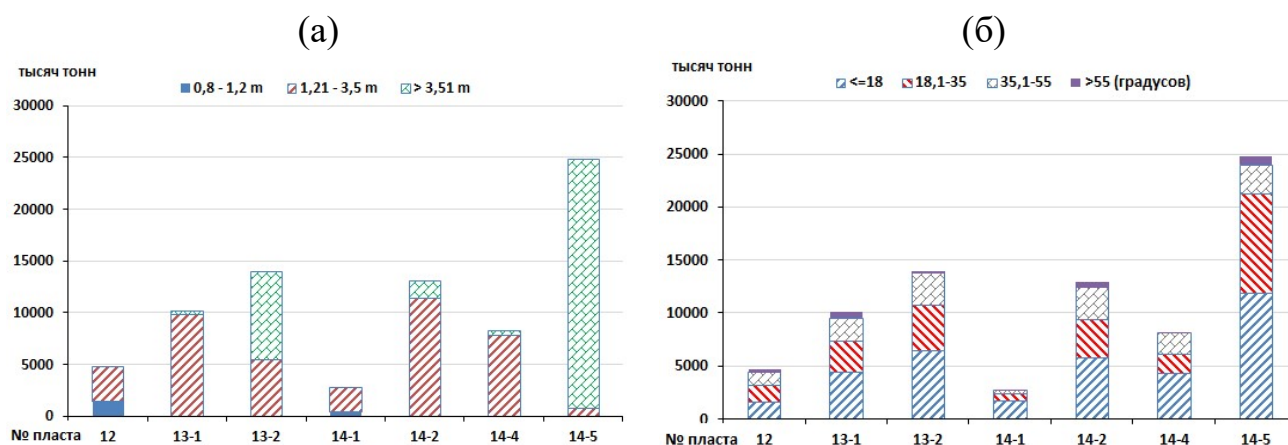


Рисунок 1.9 – Гистограммы распределения запасов угля шахты «Хечам»: а – по мощности пласта; б – по углам падения пластов

Горно–геологические условия залегания пластов

В шахте «Хечам» на северо–востоке Вьетнама горизонтальные пласты угля расположены в пределах угольной толщи «Хонгай» (Т3п–rhg), её толщина составляет около 500–700 метров [1, 120].

Толща горных пород в области шахты Хечам состоит из конгломерата (15,3%), песчаника (47,7%), алевролита (25,4%), аргиллита (3,4%), угольного сланца (0,5%) и угольными пластами с вкраплениями со слоями горных пород (Таблица 1.4).

Основные геологические разломы на угольной шахте «Хечам» включают F–L, F3 и F–E [27, 37].

– Обращённый сброс F–L: появляется на северо–западном углу, простирается до юго–восточного угла на протяжении около 7,3 км. Обращённый сброс L имеет зону разрушения от 30–50 метров, разлом ориентирован в юго–западном направлении, угол наклона 50–70 градусов.

– Обращенный сброс F.3: расположен на северо–западе шахты «Хечам», развивается по направлению СВ–ЮЗ, нарушение длиной около 1000 м. Разлом F.3 ограничен F.L в области между линиями VI и VIB, направлен на юго–восток, амплитуда смещения 100–150 м, зона разрушения составляет от 10 до 15 метров.

– Сброс F.E: Появляется с южной стороны Т. XI и развивается в направлении ЮВ–СЗ, затухая в середине Т. VIIIб и Т. VIII. Разлом F.E простой,

направлен на юго–запад. Максимальная амплитуда смещения на Т. X и Т. XI более 150 м.

Геологическая структура шахтного поля «Хечам» описывается следующими складками [27, 37].

– Западная антиклинальная складка: имеет направление оси СЗ–ЮВ, крылья складки асимметричны, уклон на южном крыле составляет от 10 до 35 градусов, а на северном – около 15–40 градусов.

– Юго–восточная синклиналь: простирается в направлении Ю–С, крылья синклинали относительно симметричны, средний угол наклона около 30 градусов.

Характеристики угольных пластов, распределенных на границе шахты «Хечам», следующие [27, 37]:

– Пласт №12: имеет сложную структуру, мощность пласта 0,3 – 4 м, средняя мощность 1,4 м.

– Пласты №13–1 и №13–2: с относительно сложной структурой, средняя мощность пластов составляет 2,8 м и 3,6 м соответственно. Углы падения пластов 5 –63 градусов (в среднем 25 градусов).

– Пласт 14–1: относительно простую структуру, средняя мощность пласта 1,8 м. Угол падения пласта 5 –70 градусов (в среднем 24 градуса).

– Пласты №14–2 и №14–4: имеют относительно сложную структуру. Средняя мощность пластов 2,8 м. Углы падения пластов 5 –60 градусов (в среднем 26 градуса).

Пласт №14–5, являющийся объектом детального изучения, характеризуется следующими данными:

– Мощность пласта 14–5 варьируется от 0,73 до 15,48м, в среднем 6,62м. В пласте от 1 до 4 слоев породы, мощность слоев от 0,0÷2,08м, в среднем 0,28м. Угол падения пласта от 5⁰ до 60⁰, в среднем 26⁰. Мощность пласта 14–5 постепенно уменьшается с юга на север. уголь – полуантрацитовый черный, металлический блеск, тонкослойная структура (0,5–5,0 см), мягкий, рыхлый; плотность угля 1,31 т/м³; Аналитическая влажность (W_{рт}) составляет от 0,88 до 1,3%; глубина разработки 260 ÷ 300 м.

– Породы кровли и почвы, прилегающие к угольному пласту 14–5, обычно представлены угольными планцами или аргиллитами, имеют мощность 0,5–1,5 м

и часто обрушаются в процессе добычи. Далее идут алевролиты, песчаники, конгломераты, песчаники, конгломераты, песчаники и алевролиты со средней мощностью 8,5м, 14,4м, 4,8м, 9,2м, 9,6м, 18,6м и 14м соответственно.

Песчаник желтовато–серый, зеленовато–серый или пепельно–серый, размер зерна от мелкого до крупного. Средняя прочность песчаников основной кровли на сжатие 1023 кгс/см^2

Средняя прочность алевролитов непосредственной кровли на сжатие $\sigma_{\text{сж}} = 480 \text{ кгс/см}^2$

Аргиллиты: Основной компонент – глина темно–серый или пепельно–серый, размер зерна от мелкого до среднего, тонкослойный. Средняя прочность аргиллитов почвы на сжатие $\sigma_{\text{сж}} = 310 \text{ кгс/см}^2$

Физико–механические свойства пород и типичный инженерно–геологический разрез месторождения «Хечам» по линии Т.Іхс приведены в таблице 1.4 и на рисунках 1.10 и 1.11

Таблица 1.4 – Физико–механические свойства горных пород [19, 28, 56, 94, 121]

Тип пород	Прочн. при одноосном сжатии (кгс/см ²)	Проч. при растяж. (кгс/см ²)	Об. вес (г/см ³)	Уд. вес (г/см ³)	Сила сцеп. (кгс/см ²)	Угол внутр. трения (φ°)
Конгломерат	$\frac{2862-219}{1237}$	$\frac{2211-23}{125}$	$\frac{2,8-2,3}{2,6}$	$\frac{2,9-2,6}{2,7}$	$\frac{905-94,0}{438,3}$	34°28'
Песчаник	$\frac{3215-71}{1023}$	$\frac{1314-1,2}{104}$	$\frac{3,2-2,3}{2,7}$	$\frac{3,2-2,6}{2,7}$	$\frac{1129-67}{371,0}$	34°16'
Алевролит	$\frac{3172-21}{480}$	$\frac{788-2}{56}$	$\frac{3,3-1,8}{2,7}$	$\frac{3,4-2,44}{2,8}$	$\frac{1036-39,0}{147,2}$	32°36'
Аргиллиты	$\frac{1485-20}{310}$	$\frac{271-11}{42}$	$\frac{3,5-2,4}{2,7}$	$\frac{3,5-2,5}{2,8}$	$\frac{335,5-27,5}{87,2}$	31°48'
Полуантрациты	$\frac{130-300}{145}$	–	1,45	1,4–1,8	50–60	20–25
«Мягкие угли»	11 – 48	3,4 – 18,7	0,8–1,3	–	7 – 20	16,8

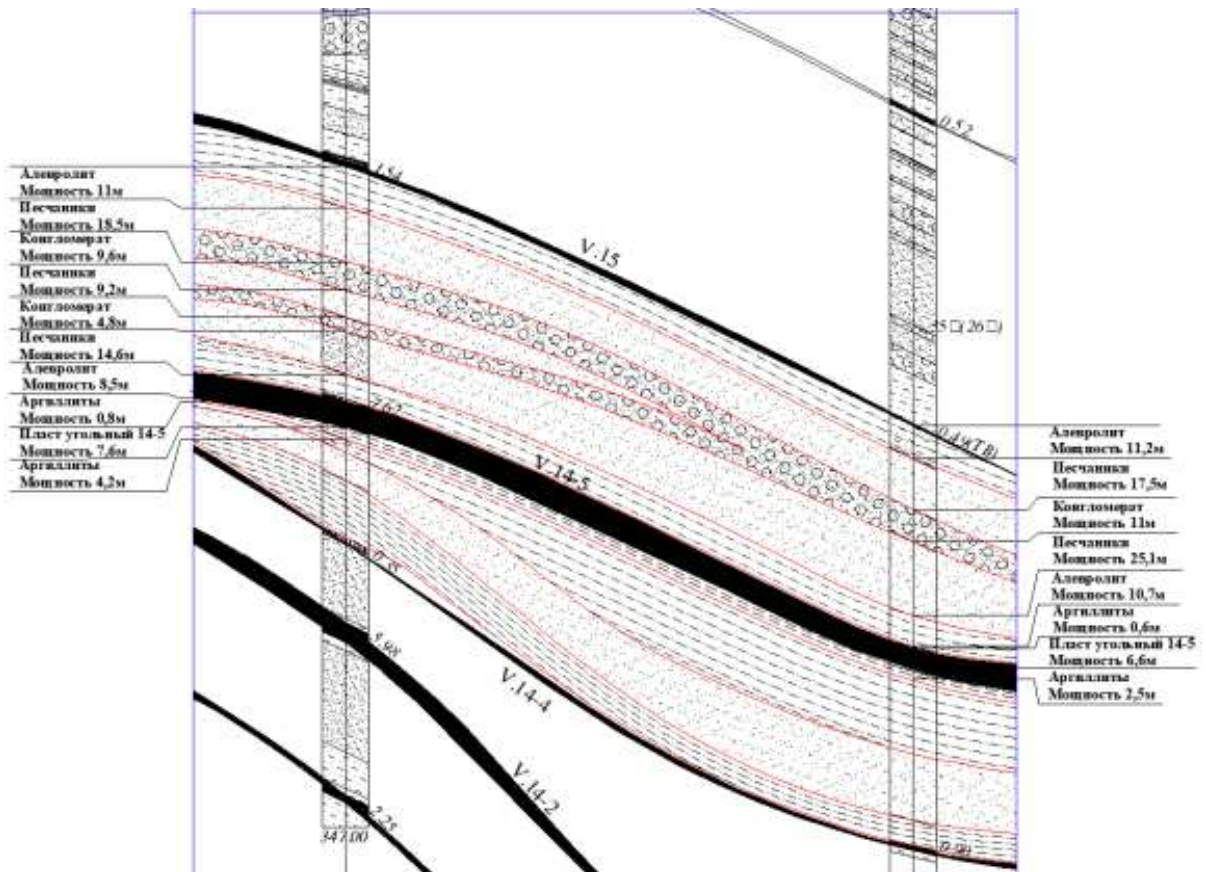


Рисунок 1.10 – Типичный инженерно–геологический разрез месторождения «Хечам» по линии Т.Іхс [19]

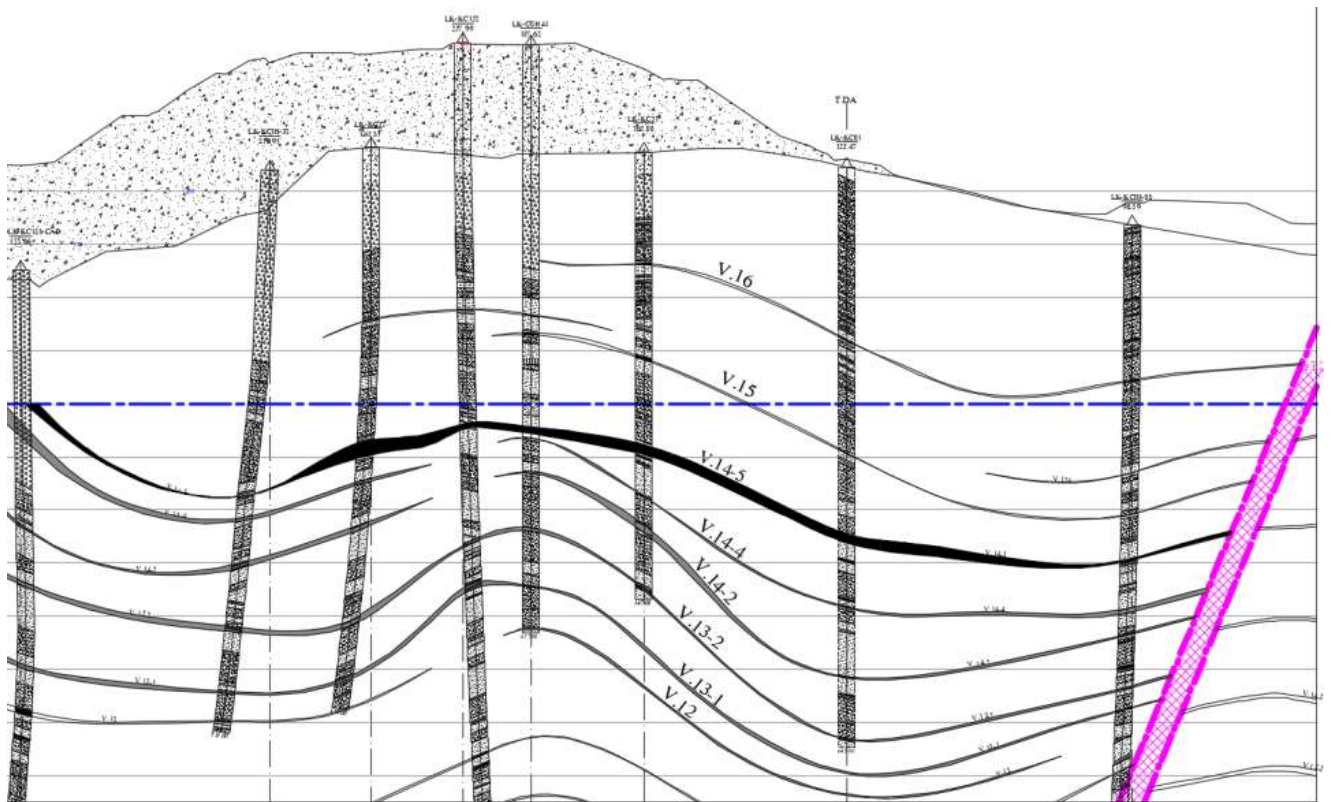


Рисунок 1.11 – Геологический разрез месторождения «Хечам» по линии Т.Іхс

Анализ фактического состояния технологической схемы шахты «Хечам»

Вскрытие шахтного поля: На шахте "Хечам" были выполнены работы по вскрытию месторождения (Рисунок 1.12) с использованием наклонных стволов, в том числе:

Два наклонных ствола пройдены от отметки +25 до отметки –300 метров в непосредственной близости от северной границы шахтного поля. Угол наклона стволов составляет 12 градусов. В главном стволе установлен ленточный конвейер для транспортировки угля, а во вспомогательном стволе установлена шахтная лебедка для транспортировки материалов, оборудования и горных пород.

Два вентиляционных ствола пройдены от отметки +30 и +112 до –100 метров соответственно. Угол наклона стволов составляет от 17 до 23 градусов.

Подготовка шахтного поля (Рисунок 1.13) выполняется с использованием метода добычи от границы до центра шахтного поля согласно следующему принципу: на каждом уровне добычи сначала отрабатывается верхний пласт, а затем нижний пласт. В угольного пласта процесс начинается с отработки верхнего этажа (или стратификации), после чего переходят к отработке нижнего этажа (или стратификации).

Шахтная вентиляция реализуется по схеме с использованием метода всасывающей вентиляции.

На основании анализа состояния горных работ на шахте «Хечам», можно сделать вывод о том, что система разработки, показанная на рисунке 1.14, длинными столбами с выемкой лавами по простиранию представляет собой единственный на данный момент рациональный метод отработки пологих и наклонных пластов угля. Длина выемочных столбов – от 200 до 800 м; длина лав 50–150 м;



Рисунок 1.12 – Схема вскрытия шахты «Хечам»: 1 – главный наклонный ствол; 2 – вспомогательный наклонный ствол; 3, 4 – вентиляционные стволы; 5 – конвейерный ходок; 6 – околоствольный двор (–300 м);

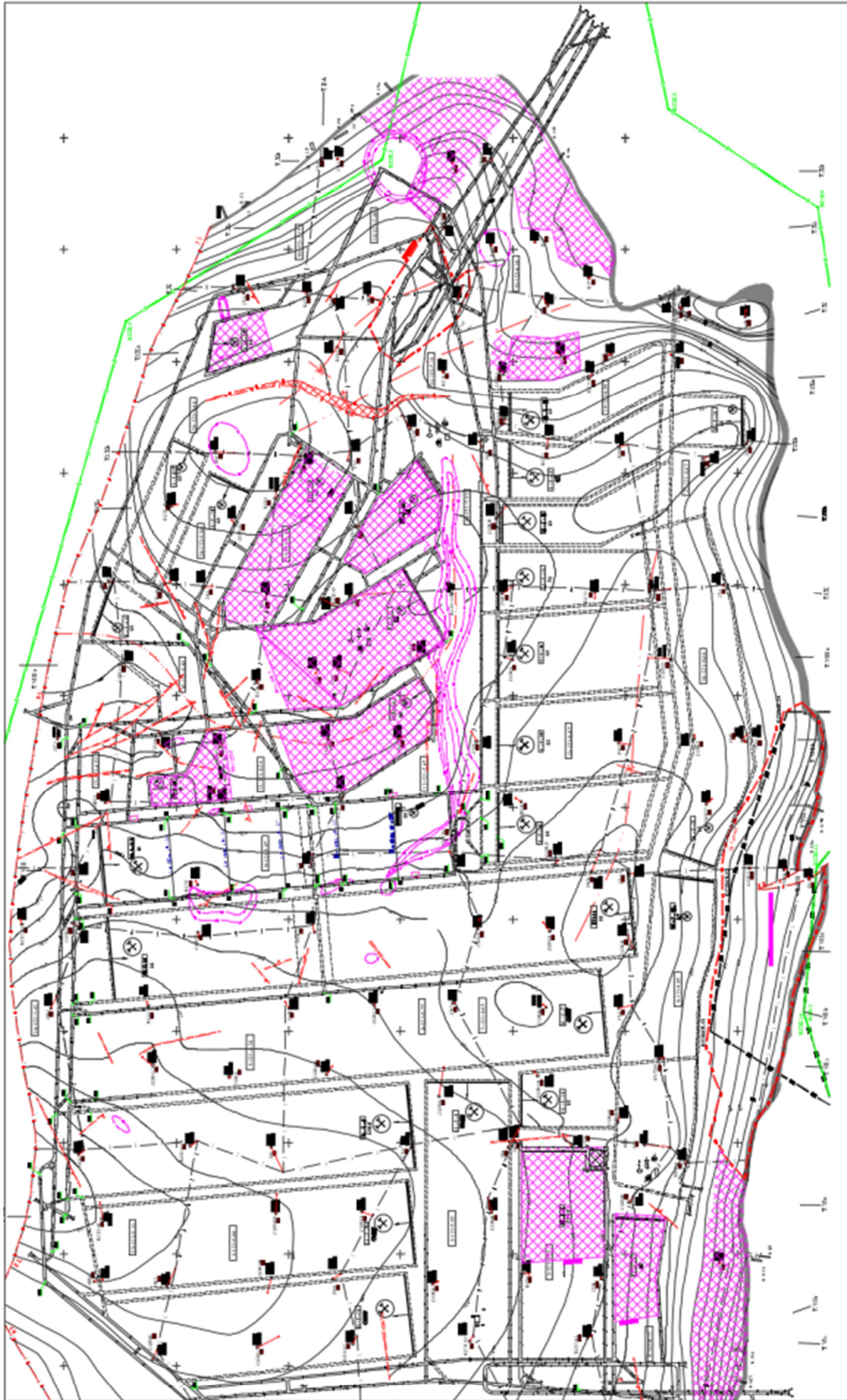


Рисунок 1.13 – Выкопировка из плана горных выработок по угольному пласту 14–5 (шахта «Хечам»)

По статистике последних 10 лет (Рисунок 1.14), очистные работы в лавах ведут с использованием буровзрывных работ (79%) и комбайнов (21%) [36]. Для крепления призабойного пространства лав применяют комплектные крепи типа GK, ZH, XDY и механизированного типа (Рисунки 1.15 и 1.16).

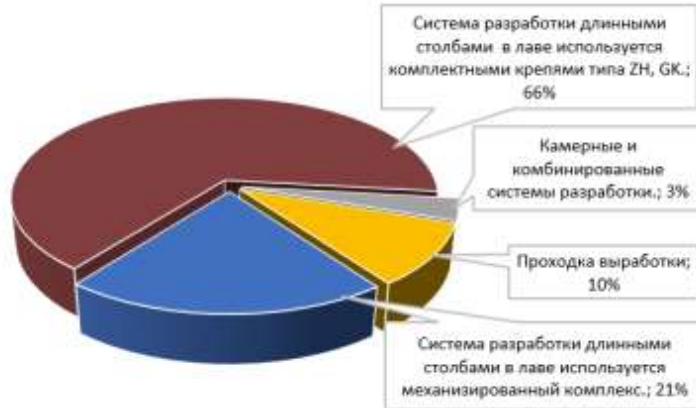


Рисунок 1.14 – Соотношение различных категорий средств крепления лав шахты «Хечам» в период с 2013 по 2022 год

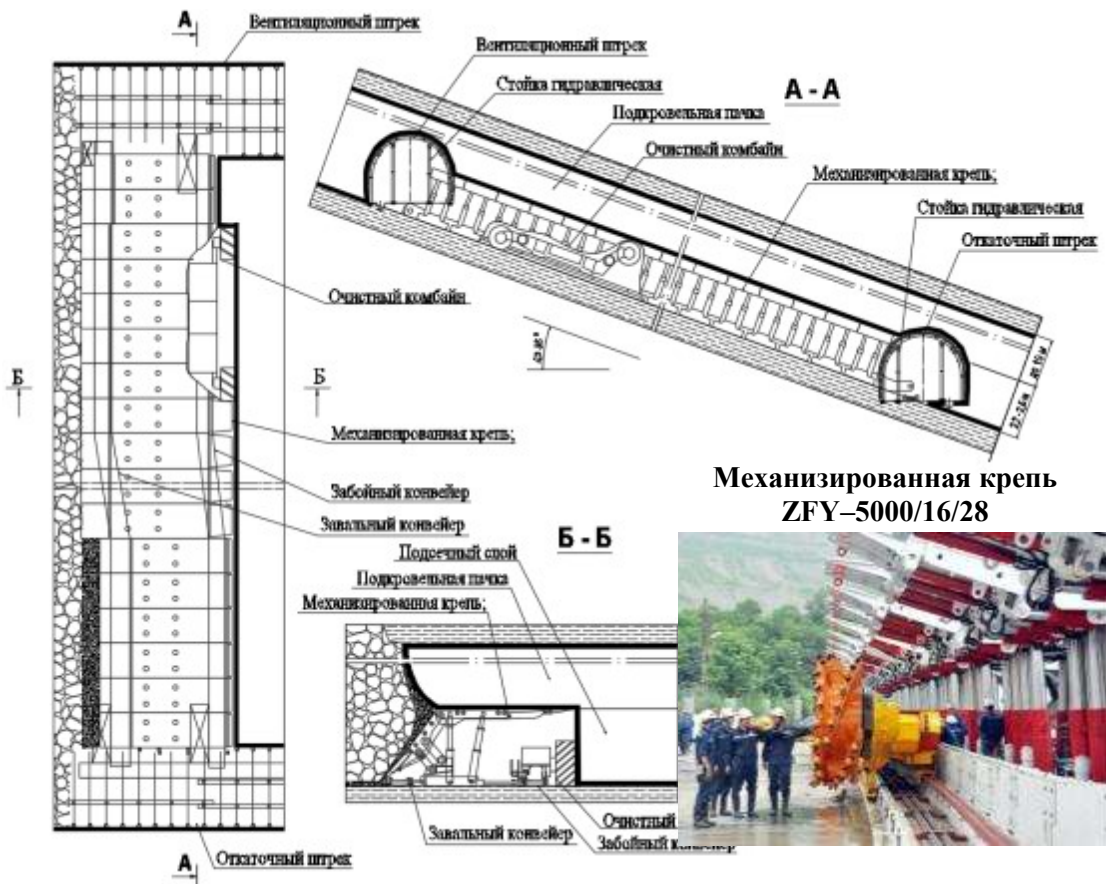


Рисунок 1.15 – Прогрессивная технологическая схема разработки мощного наклонного пласта механизированным комплексом ZFY-5000/16/28 с выпуском угля подкровельной толщи на завальный конвейер [19]

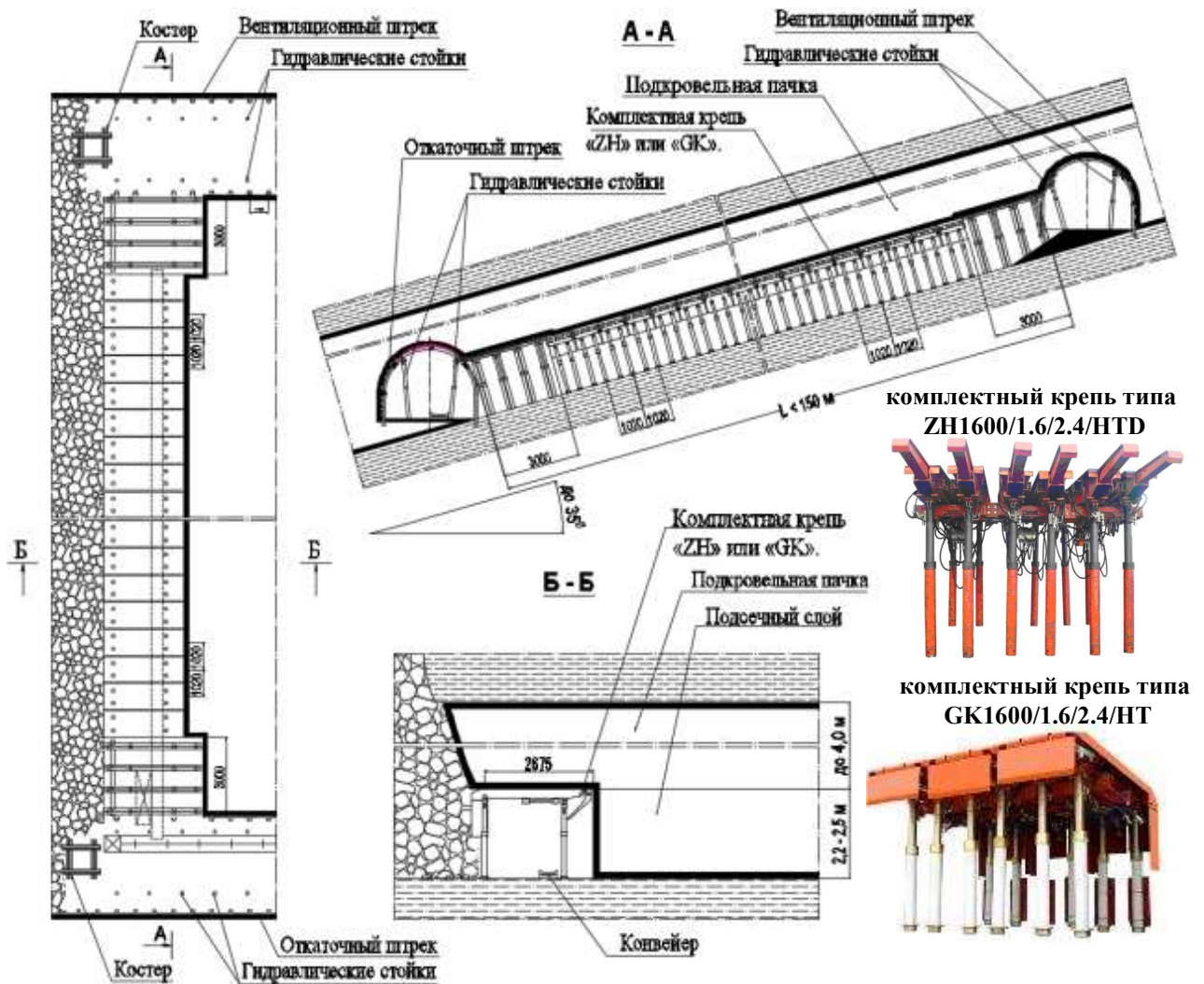


Рисунок 1.16 – Система разработки с выпуском угля подкровельной толщи с использованием гидравлической комплектной крепи ZH или GK

1.4 Выводы по Главе 1

1. В соответствии с планом развития угольной промышленности, ежегодная добыча угля к 2030 году вырастет до 69 миллионов тонн, из которых 90% планируется добывать подземным способом. В значительной степени выполнение этих планов связывают с освоением угольного бассейна Куангнин, в котором сосредоточено около 71% общих балансовых запасов угля во Вьетнаме.

2. 13 перспективных шахт угольного бассейна Куангнин имеют промышленные запасы около 1,6 млрд тонн, из них 60% - запасы мощных пластов с углами падения 5 – 35 градусов. В лавах очистные работы осуществляются преимущественно с применением буровзрывного способа (89%) и комбайнов

(11%). Крепление призабойного пространства лав осуществляется с помощью комплектных крепей типа XDY, ZH, GK.

3. При переходе горных работ на более глубокие горизонты все большую актуальность на шахтах бассейна Куангнин приобретают вопросы, связанные с отработкой пластов с «мягкими углями», характеризующихся низкими прочностными характеристиками. К числу таких пластов относятся, в частности, пласт 9 (шахта Маохе), пласты 7 и 10 (шахта Халам), пласт 14–5 (шахта Хечам III), пласт 7 (шахта Монгзыонг) с балансовыми запасами угля более 165 млн т., что составляет около 50 % общих балансовых запасов угля на указанных шахтах, добывающих 9,6 млн. тонн угля в год. Отличительными признаками пластов с «мягкими углями» являются: угольный массив представлен большим количеством тонких слоёв (0,5–5,0 см) с низким коэффициентом трения между ними, низкая влажность угля (0,8–1,3 %), низкая устойчивость угольного массива при его обнажении очистными работами.

4. Шахта «Хечам» является одной из наиболее крупных и перспективных шахт Вьетнама. За последние 5 лет (2018–2022 г.г.) среднегодовая производственная мощность шахты составляла около 1,8 млн. тонн в год. Пласт 14–5 с низкими прочностными характеристиками угля, являющийся объектом детального изучения, имеет промышленные запасы 24,1 млн т, что составляет около 32 % общих балансовых запасов шахты.

5. На угольных шахтах Вьетнама за период с 1995 по 2019 год произошло 466 аварийных ситуаций, в результате которых травмировано 614 человек. При этом, доля несчастных случаев, связанных с обрушениями угля и пород, составила 35–37%.

Поэтому необходимо иметь соответствующие технические решения при разработке угольных пластов с низкими прочностными характеристиками для повышения производительности труда и безопасности горных работ.

ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКОГО ОПЫТА ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ УГЛЯ С НИЗКИМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ШАХТАХ ВЬЕТНАМА И ДРУГИХ СТРАН МИРА

2.1 Обзор опыта применения технических решений для увеличения сцепления угля и породы с низкими прочностными характеристиками на шахтах угледобывающих стран мира

Способ нагнетания цементного раствора

Данный способ использован на шахте «Киевская» в Донецком угольном бассейне в Украине при проходке штрека № 28 через тектоническую зону с водоносным горизонтом (Рисунок 2.1). Дебит подземных вод в этой зоне из скважины диаметром 112 мм составлял 180 м³/час. Для предотвращения этого притока воды и обеспечения безопасной проходки штрека № 28 в зоне разлома была проведена бентонито–цементная цементация. Результаты применения метода показали, что после нагнетания цемента водопритоки, поступающие в штрек № 28, снизились до 3,5 м³/час [115]. Трещины в зоне водопродуктивного разлома были заполнены уплотненным бентонито–цементным раствором.

В процессе проходки штрека пласта 9 в ЗАО «Шахта «Костромовская» (Кузбасс) произошло самопроизвольное обрушение угля из кровли, сопровождаемое выпуском пород непосредственной кровли [35]. Для заполнения полости вывала с поверхности земли нагнетался цементный раствор на расстояние 44,5 метров [35].

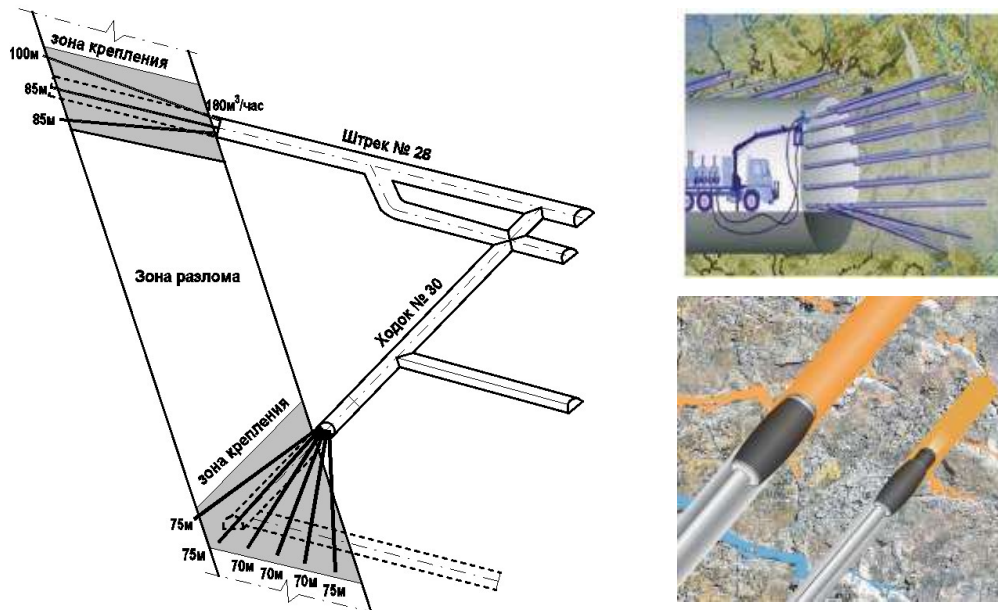


Рисунок 2.1 – Предотвращение внезапного притока воды в штреках угольной шахты «Киевская» в Украине [115]

Общая упрощенная схема ведения работ представлена на рисунке 2.2. Для формирования защитной «подушки» затрачено 15 т сухой смеси УГМ [35].

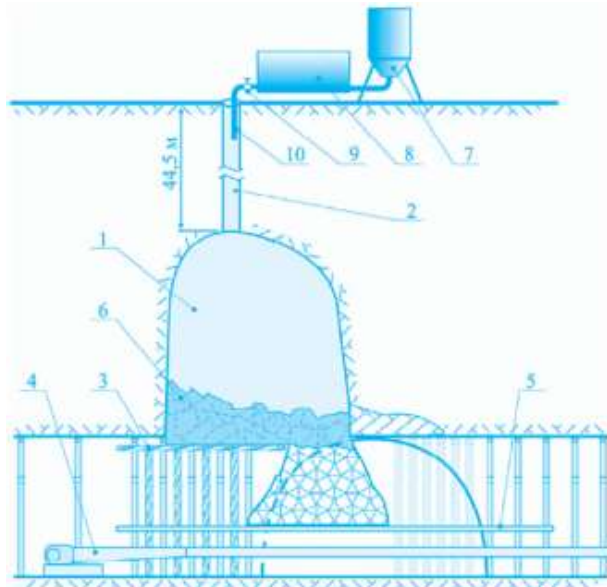


Рисунок 2.2 – Схема технологии нагнетания цементного раствора в полость вывала с дневной поверхности [35]

Метод использования цементного раствора широко применяется в горнодобывающей промышленности для укрепления горного массива при проходке выработок через тектонические зоны, разломы и другие [25, 82, 114].

Суть этого метода заключается в нагнетании смеси цементного раствора

под высоким давлением через скважины для заполнения трещин в области массива, требующих усиления. Этот метод эффективен в скальных породах с разрывами, обладающими водопоглощением не менее 0,05 л/мин. Однако, если водопоглощение не соответствует указанному требованию, фактическое цементирование будет неэффективным. Кроме того, данный метод не эффективен в случае кислотности минеральной воды, наличия каменистой почвы с коэффициентом проницаемости менее 1 см/с, трещин шириной менее 0,1 мм или наличия воды под давлением [82, 114].

Схема технологии нагнетания цементного раствора для опережающего укрепления горных пород при проходках выработок представлена на рисунке 2.3.

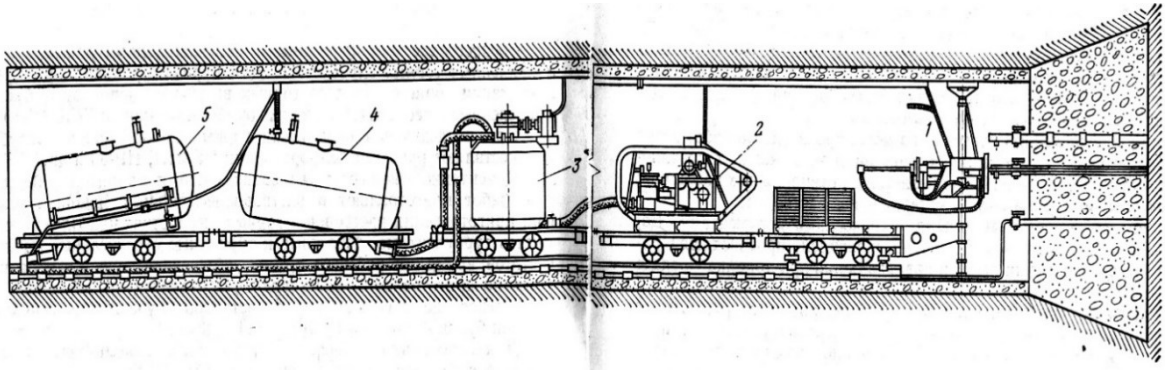


Рисунок 2.3 – Технология нагнетания цементного раствора из проходимой горной выработки: 1 – насос для цементного раствора; 2 – цементный раствор; 3 – мешалка; 4 – цементный резервуар; 5 – бак для воды.

При строительстве вертикальных стволов в горной промышленности применяется метод нагнетания цементного раствора через скважины с поверхности земли или путем их бурения в соответствии с ходом строительства. В этом методе вертикальные скважины пробуривают вдоль внешнего контура ствола в направлении проходки до проектной глубины, затем нагнетают раствор цемента через скважины. Скважины пробуривают из забоя. Количество скважин зависит от диаметра вертикального ствола и стратиграфических характеристик выработки. Опыт шахт Польш показывает [83], что длина скважин обычно составляет от 10 до 25 м, диаметр от 30 до 100 мм. Опыт в России показывает [2, 10], что длина скважин составляет около 12 м, а угол наклона скважины к горизонтальной плоскости контролируется таким образом, чтобы дно скважины

находилось от внешней границы ствола на расстоянии от 1,5 до 2,0 м. Расстояние между скважинами составляет от 0,8 до 1,5 м. Перед цементированием забоя необходимо создать подпорную стенку из бетона для защиты фундамента скважины и поддержания давления нагнетательного раствора.

Достоинствами метода цементирования являются возможность упрочнения слабых пород в больших масштабах и простота реализации.

Способ использования глиняного раствора

На шахте «Нагольчанская I-2» (Донбасс) при проходке околоствольных Использован [106] на шахте «Нагольчанская I-2» (Донбасс) при проходке околоствольного двора в водоносном песчанике мощностью 43 м на глубине 960 м. Прогнозируемый приток воды в выработку составил 1430 м³/час, давление воды >2,5 МПа (Рисунки 2.4 и 2.5). После нагнетания раствора приток в выработку околоствольного двора составлял около 3м³/ч.

Применение длинного позволило: сократить время строительства на 24 месяца; снизить стоимость строительства на 19,5% (Рисунок 2.5); получить значительную экономию затрат на возврат капитальных вложений.

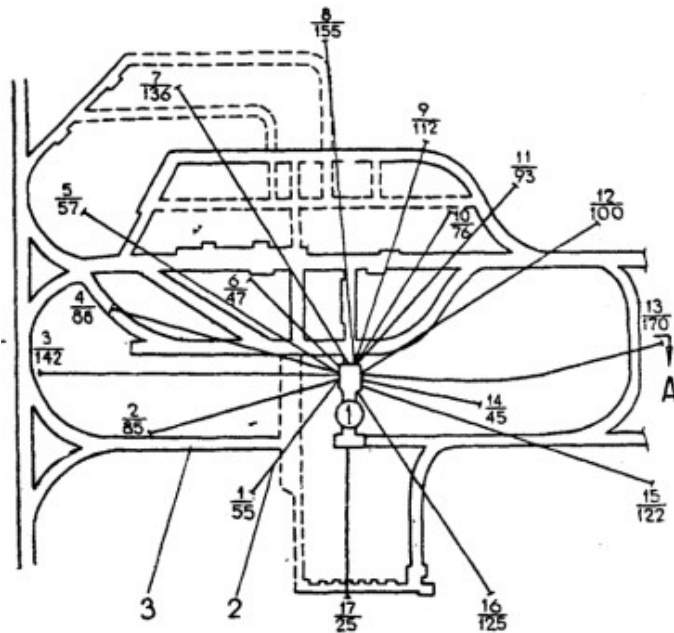


Рисунок 2.4 – Схема расположения глиноцементных скважин в шахтной двора на уровне 960 м [106]: 1 – главный ствол; 2 – скважины; 3 – проходка выработок в массиве, укрепленном глиноцементной смесью

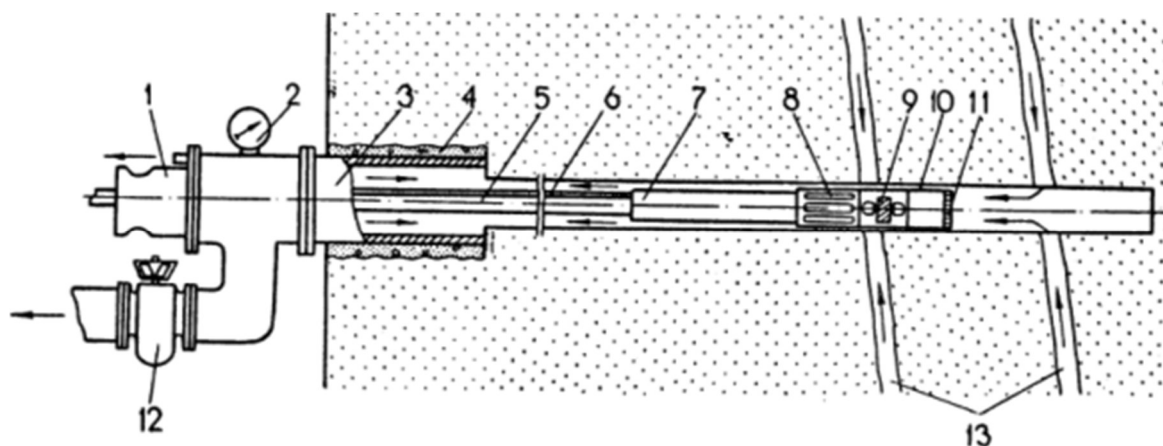


Рисунок 2.5 – Схема оборудования скважин, используемых в способе глинирования [106]: 1 - печать головы; 2 - манометр; 3 - снаряды; 4 - цемент; 5 - бурильная труба; 6 - кабель; 7 - сцепление; 8 - скользящая канавка; 9 - роторное оборудование; 10 - сенсорное устройство; 11 - головка фильтра; 12 - выпускной клапан; 13 – трещины.

Метод использования глинистых растворов применяется при проходке выработок и подземных сооружений в каменистых грунтах с крупными трещинами. По этому методу используют раствор глины (55% воды), сделанный из глиняной смеси с содержанием песка менее 5%. Добавляют растворы электролитов (2-5%), таких как хлорид кальция (CaCl_2), хлорид магния (MgCl_2) или жидкое стекло (Na_2SiO_2).

Преимуществами этого метода являются низкая стоимость и хорошая защита крепи, в том числе выработок в зонах, подверженных воздействию воды под высоким давлением. Недостатком метода является его высокая трудоёмкость.

Способ нагнетания битумного раствора

В 1998 году железнодорожный тоннель «Нью Юнг Чунг» в Илане (Тайвань) был пройден в водоносном мраморном массиве, ограниченном слабыми трещиноватыми породами с большим количеством выкрошившегося материала. Высокое давление воды в окружающей среде примерно 50 бар (750 psi) и её приток до 4 м³/сек вызвали серьезное обрушение тоннеля. Программа горячей битумной цементации, проведенная в тоннеле «Нью Юнг Чунг», привела к

снижению гидравлической проницаемости пород, окружающих главный тоннель, примерно на 95%. Это была первая в истории программа битумной водоизоляции, проводимая полностью изнутри туннеля [101].

Метод битумизации применяется для укрепления подземных сооружений или земляных туннелей через каменистую почву с большими трещинами и большим количеством проникновения грунтовых вод. При данном способе в породу вводится жидкий битумный раствор, температура которого поддерживается в диапазоне от $+18^{\circ}$ до $+220^{\circ}\text{C}$. Наиболее эффективным является раствор, поддерживаемый при температуре $+200^{\circ}\text{C}$ [101, 109].

При нагнетании битумного раствора он попадает в трещины, смешивается с водой и затвердевает, закрывая трещины и тем самым предотвращая притоки воды. Отличительной особенностью битумного раствора является высокая скорость схватывания, ограничивающая его пределы применения. Практическое использование показывает, что битумный раствор перемещается примерно до 7,0 м, в то время как цементный раствор может распространяться в радиусе до сотен метров от места инъекции.

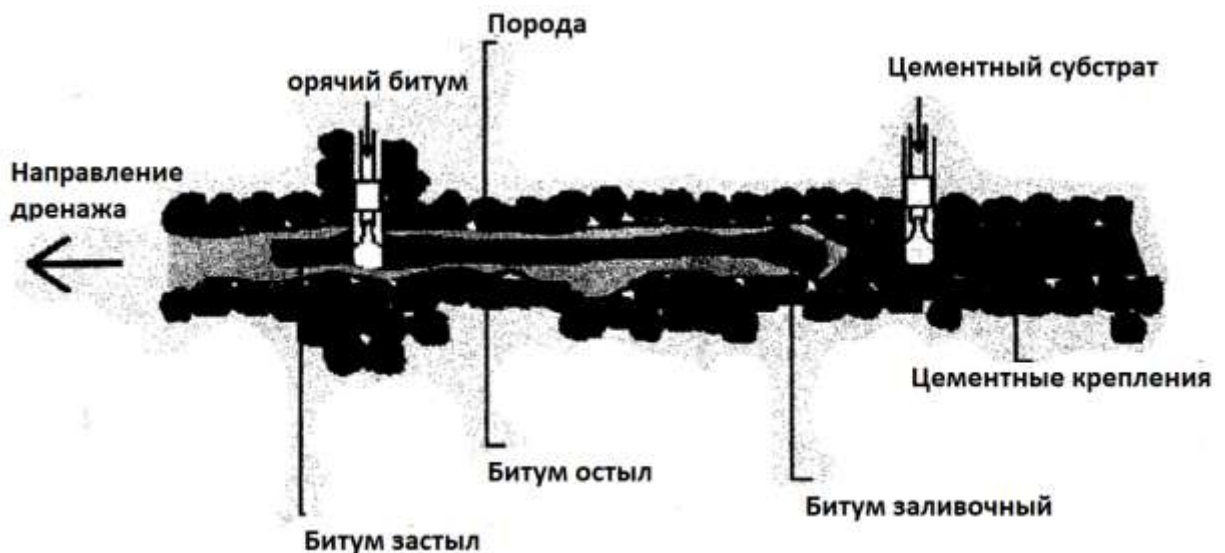


Рисунок 2.6 – Принципиальная схема укрепления грунта и породы жидким битумом

Для исключения выдавливания битума из трещин в битумные растворы добавляют асбестовые минералы (5–15%), торф, опилки и т. д. [104, 105, 109].

Преимущество метода битумизации заключается в высокой скорости схватывания. Данный метод можно применять для заполнения больших трещин и отверстий; пустот в крупнозернистых валунах; трещин в почве, содержащих воду. Недостатками метода являются невысокая устойчивость и малый радиус распространения.

Метод замораживания

В нестабильных водоносных пластах, встречающихся на Китайских угольных шахтах, для строительства вертикальных стволов в водоносном аллювии применяется метод замораживания (Рисунок 2.7). За последние 50 лет в угольной промышленности Китая пройдено около 500 вертикальных стволов общей протяженностью до 100 км, в которых применялся метод замораживания горных пород. Максимальная длина вертикального ствола, пройденного методом замораживания, составляет 702 м на шахтах «Гочжуан» в провинции Шаньдун [133, 136].

Суть метода заключается в снижении температуры вокруг участка сооружения выработки ниже температуры замерзания воды. При этом образуют блок пород с высокой механической прочностью. Этот метод в основном применяется при строительстве вертикальных стволов через фрагментированные, трещиноватые каменистые грунты с низкой механической прочностью и содержащие много воды [131].

В работах [61, 67, 84, 110, 131] при сооружении вертикальных стволов методом замораживания за пределами контура сечения ствола бурят скважины. В каждой скважине имеются две трубы: труба для охлаждающего раствора и труба для замораживания воды и вмещающих пород. Раствор для замораживания обычно представляет собой солевой раствор. Указанный раствор охлаждает рыхлые отложения, преимущественно песок, содержащий воду, взвесь или мелкий гравий до температуры от -10 до -15°C . Порода, замерзшая при данной температуре, обладает высокой прочностью. Например, насыщенная водно-песчаная смесь, замерзшая при -10°C , имеет прочность на сжатие около 115 кг/см^2 , при температуре -20°C может составлять до 180 кг/см^2 . Песчано-

глинистый песок, насыщенный водой, замерзшей при температуре -10°C , также устойчив к сжатию в диапазоне от 70 кг/см^2 до 90 кг/см^2 .

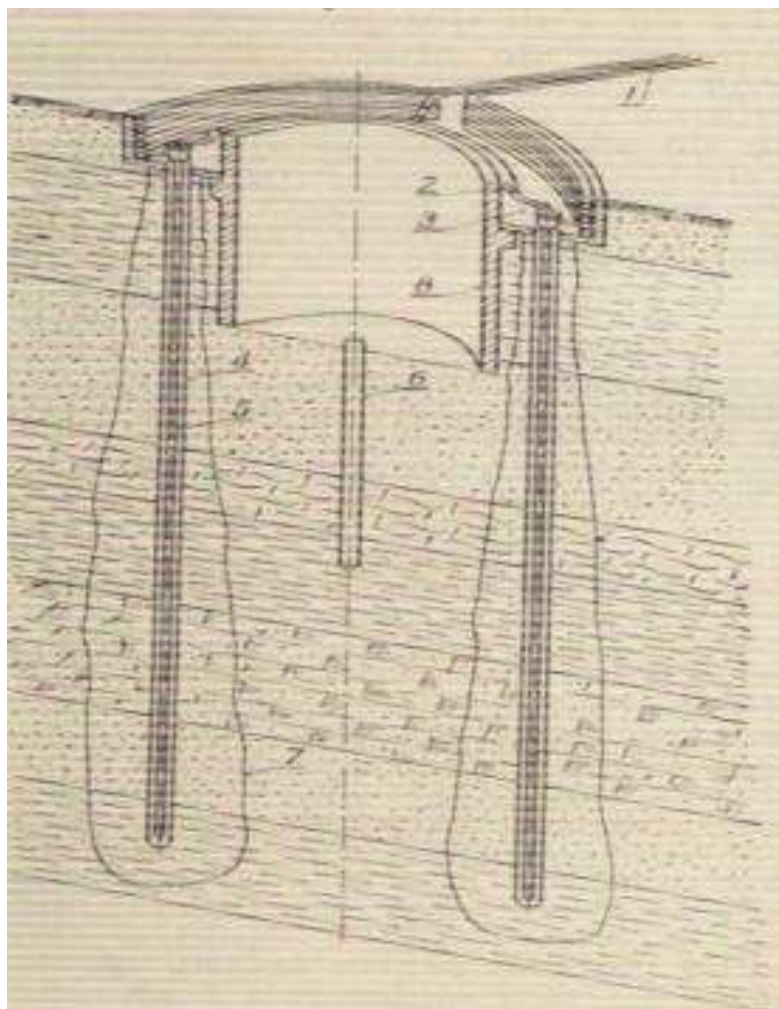


Рисунок 2.7 – Принципиальная схема метода замораживания [133]: 1 – труба для щелочного раствора; 2 – морозильная камера; 3 – камера для морозного ворса; 4 – трубопровод (заморожен); 5 – входная труба (щелочное вещество); 6 – отверстие для контроля температуры; 7 – морозильная лента; 8 – крепь ствола

Преимуществами метода замораживания вмещающих пород являются надежность и высокая эффективность, при проходке вертикальных стволов различных размеров и с разной глубиной заложения.

Способ использования химической смеси

В 1950–х годах в США была изобретена акриламидная смесь, обладающая очень низкой вязкостью, близкой к вязкости воды, и регулируемым временем

гелеобразования. В конце 1950–х годов были созданы эпоксидные смолы и метилметакрилатные цементировочные материалы; к концу 1970–х годов появились полиуретановые цементировочные материалы; после 1980–х годов в различных проектах в той или иной степени использовались эластичный полиуретан, водорастворимый полиуретан, акрилаты, ненасыщенный полиуретан, горячий асфальт, лигнин и мочевино–формальдегидные смолы [116, 130, 126].

Это прогрессивная технология применяется во всех странах с развитой горнорудной промышленностью, таких как Китай, ФРГ, Польша, США, Россия и др. [78, 102, 116, 130].

В феврале 2017 года в лаве 1262 шахты «Динцзи» в Китае в процессе разработки угля в очистном забое обрушения угля из подкровельного слоя происходили на высоту 2,5 – 3,0 м, глубина зоны разрушенного угля впереди очистного забоя составляла 2–2,5 м на участках лавы длиной 8–10 м [15]. Использование полимерного материала Marisan N и Roxburgh для цементации участка проходки и для упрочнения кровли и забоя лавы позволило получить положительный эффект [81].

С 2004 года на шахте «Чжанцунь» при разработке мощных угольных пластов с «мягкой кровлей, мягким углем и мягкой почвой» для укрепления угольного массива впереди забоя лавы эффективно применяют растворы различных химических смесей [129, 132] (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Укрепление угольного массива химической смесью в лаве [78]:

а – заполнения куполов кровли и впереди забоя лавы; б – укрепление впереди забоя лавы; в – укрепление боковых выработок;

В большинстве случаев основными компонентами используемых химических веществ являются: расширяющиеся, вспенивающиеся и замерзающие добавки, а также адгезивные пластиковые компоненты. Перед применением эти компоненты смешиваются специальным насосным оборудованием и нагнетаются под высоким давлением в скважину [18, 116, 130].

2.2 Анализ опыта применения технических решений для увеличения сцепления угля и породы с низкими прочностными характеристиками на угольных шахтах Вьетнама

Способ нагнетания цементного раствора

В 1997 – 1998 годах метод цементирования впервые был применен на шахте «Маохе» при проходке квершлага Северо–Запад I на отметке – 80 через зону разлома F.A после аварии с обрушением горных пород и прорывом воды. Технологическая схема нагнетания цементного раствора была применена для заполнения полости вывала с поверхности земли [70, 76].

В 2010 году на угольной шахте «Донгвонг» при проходке квершлага на отметке +131 область Донг Вангданх через зону разлома F.1 длиной около 50 м. Было проведено бурение 152 скважин длиной $7 \div 9$ м из забоя выработки. Общий объем использованного цементного раствора составил 1145,5 м³. В растворе содержалось 870,5 тонн цемента, 17,4 тонны добавок и 870,5 м³ воды [72].

В 2013 году на шахте Хечам был применен метод нагнетания цементного раствора для увеличения прочности пород при сооружении выработки находящейся в зоне влияния разлома Бакдуй. Вмещающие породы в месте проходки выработки были мягкие и легко оползневые. Для укрепления выработки впереди её забоя бурились скважины длиной 6 м. Время ожидания для затвердевания цемента за один цикл проходки 6 м составило около 14 дней [70].

Результаты применения метода нагнетания цементного раствора в подземных угольных шахтах в регионе Куангнин показывают, что этот метод является простым и экономически эффективным. При его использовании

увеличивается устойчивость пород вокруг выработки, уменьшается давление на выработку.

Использование химических смесей для упрочнения горного массива

Во Вьетнаме для предотвращения самопроизвольного обрушения угля из кровли и высыпания угля из забоя выработки применяют в основном два способа установки деревянной (костровой) крепи в полостях вывалов [89, 96]; заполнение куполов и пустот расширяющейся химической смесью [122, 125].

Проведение мероприятий по устранению негативных последствий внезапных обрушений угля из подкровельных пачек и забоя лавы (Рисунок 5, д) обычно приводят к простоям лав и невозможным потерям добычи. По статистике, время, необходимое для устранения последствий аварии составляет 15–50% от времени смены (при подготовительных работах около 15–25% и от 30–50% в очистном забое) [76, 92, 89].

Авторами [90, 96] исследовалась эксплуатация угольных пластов с низкими прочностными характеристиками на различных шахтах: пласты № 7 и № 11, шахта "Халам"; пласт № 8, шахта "Вангзань"; пласт № 9, шахта "Маохе"; пласт № 14–5, шахта "Хечам". В ходе исследования было выявлено, что в очистном забое часто наблюдается самопроизвольное обрушение угля из кровли и высыпание из забоя лавы, что оказывает существенное влияние на продолжительность технологических процессов [52]. Высота полостей над перекрытием крепи достигает мощности подкровельного слоя, равной 2,5 м и более. Кроме того, глубина интенсивного разрушения и отжима угля впереди забоя лавы составляет от 1,4 до 3,5 м на участках лавы длиной до 40 м [18]. В ряде случаев в аварийной ситуации находилось 40–60% длины лавы. Чтобы исключить вышеупомянутые инциденты в процессе разработки, на практике применяются традиционные решения, показанные на рисунке 2.9.

Авторами [90, 96] исследовалась эксплуатация угольных пластов с низкими прочностными характеристиками на различных шахтах: пласты № 7 и № 11, шахта "Халам"; пласт № 8, шахта "Вангзань"; пласт № 9, шахта "Маохе"; пласт №

14–5, шахта "Хечам". В ходе исследования было выявлено, что в очистном забое часто наблюдается самопроизвольное обрушение угля из кровли и высыпание из забоя лавы, что оказывает существенное влияние на продолжительность технологических процессов [52]. Высота полостей над перекрытием крепи достигает мощности подкровельного слоя, равной 2,5 м и более. Кроме того, глубина интенсивного разрушения и отжима угля впереди забоя лавы составляет от 1,4 до 3,5 м на участках лавы длиной до 40 м [18, 89, 96]. В ряде случаев в аварийной ситуации находилось 40–60% длины лавы. Чтобы исключить вышеупомянутые инциденты в процессе разработки, на практике применяются традиционные решения, показанные на рисунке 2.9.

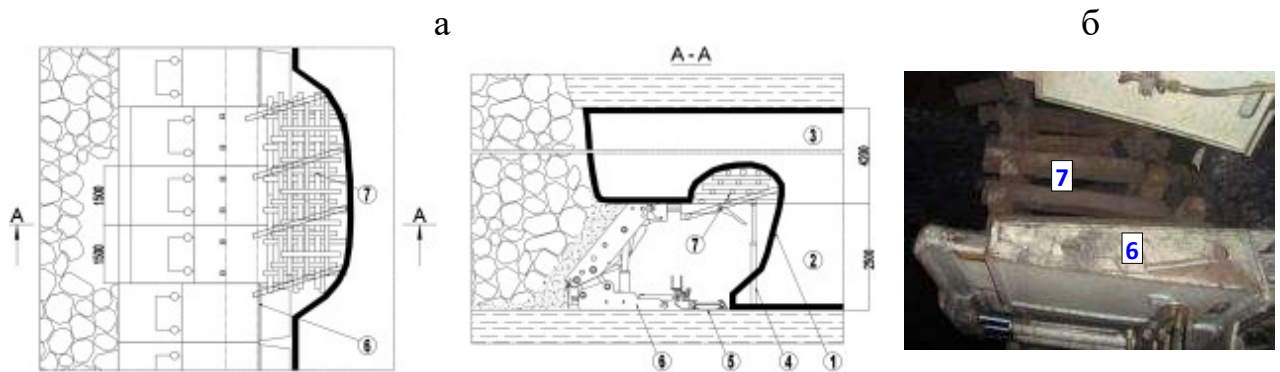
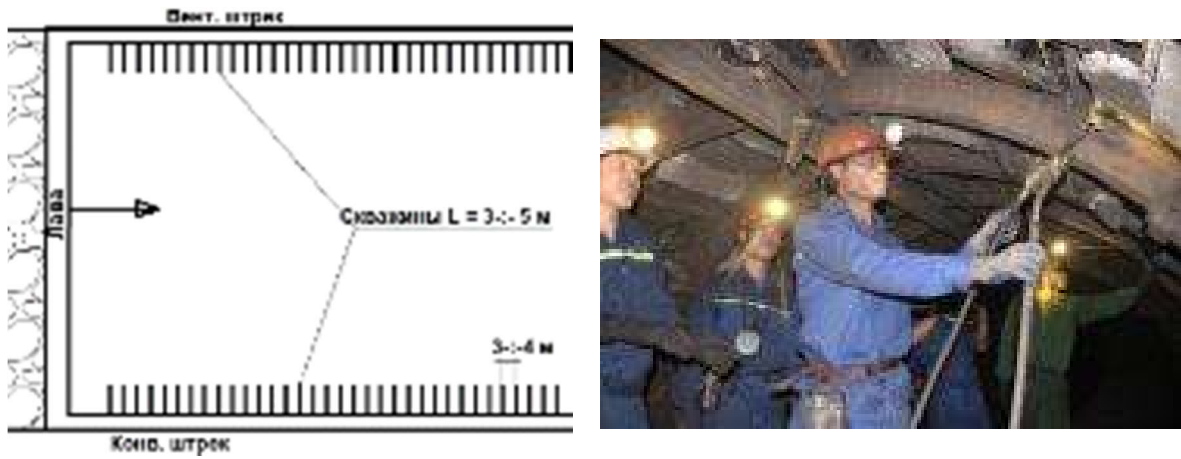


Рисунок 2.9 – Технологии повышения устойчивости подкровельного слоя и забоя лавы путём установки деревянной (костровой) крепи [18]:

1 – забой лавы; 2 – подсечный слой; 3 – подкровельная пачка; 4 – гидравлическая индивидуальная стойка; 5 – забойный конвейер; 6 – механизированная крепь ZZ–3200/16/26; 7 – костер из деревянных стоек;

В последние годы полимерные материалы, используемые в угольных шахтах Вьетнама, играют важную роль в ликвидации последствий аварий. Для повышения устойчивости угля впереди забоя лавы и укрепления штреков применяют короткие скважины (длиной 4–6 м, диаметром 42 мм), пробуренные из забоя призабойного пространства или боков штреков. Расстояние между скважинами 3–4 м. По скважинам производят закачку химической смеси в ослабленный угольный массив (Рисунок 2.10).



б

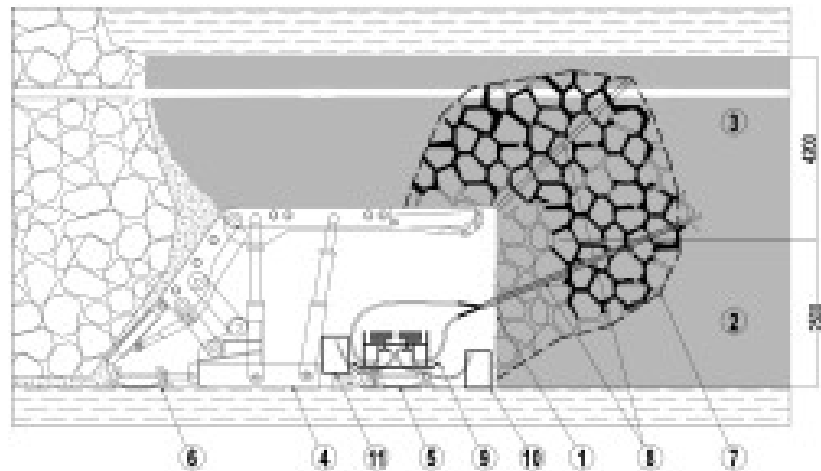


Рисунок 2.10 – Технологии укрепления угольного массива в лаве смесью химикатов: а – из боков штреков; б – впереди забоя лавы:
 1 – забой лавы; 2 – подсечный слой; 3 – подкровельная пачка; 4 – механизированная крепь ZF 8400/20/32 ; 5 – забойный конвейер; 6 – завальный конвейер; 7 – зона укрепления; 8– скважины; 9– химический насос; 10, 11– ёмкости для химикатов.

О трудности решения вопросов предотвращения самопроизвольных обрушений (высыпаний) «мягких» углей убедительно свидетельствует также практический опыт проходки подготовительных выработок по пласту 14–5 на шахте «Хечам». Применение металлических решеток с размерами ячеек 10×10 см в качестве затяжки не исключало интенсивного высыпания угля из кровли выработки. Положительный эффект был достигнут только после прокладки

между кровлей и металлическими решетками бамбукового полотна, как показано на рисунке 2.11 [18].



Рисунок 2.11 – Затяжка, применяемая при проходке подготовительных выработок по угольям с низкими прочностными характеристиками (пласт 14–5, шахта «Хечам») [18]: а – общий вид кровли выработки; б – затяжка; в – металлическая решетка

В течение трехмесячного периода наблюдений в лаве 14–5 постоянно происходили самопроизвольные высыпания угля из забоя лавы на глубину от 1,0 до 2,5 метров, сопровождаемые обрушениями подкровельного слоя на высоту от 0,8 до 1,8 метров. Суммарная длина участков, в пределах которых происходили опасные обрушения угля, составляла до 40–60% от общей длины лавы (Рисунки 2.12 и 2.13). На практике проблему с обрушениями решают путем установки в образовавшихся пустотах костров из деревянных стоек. Устранение последствий крупных обрушений проводилось в течение 8–12 смен [18].

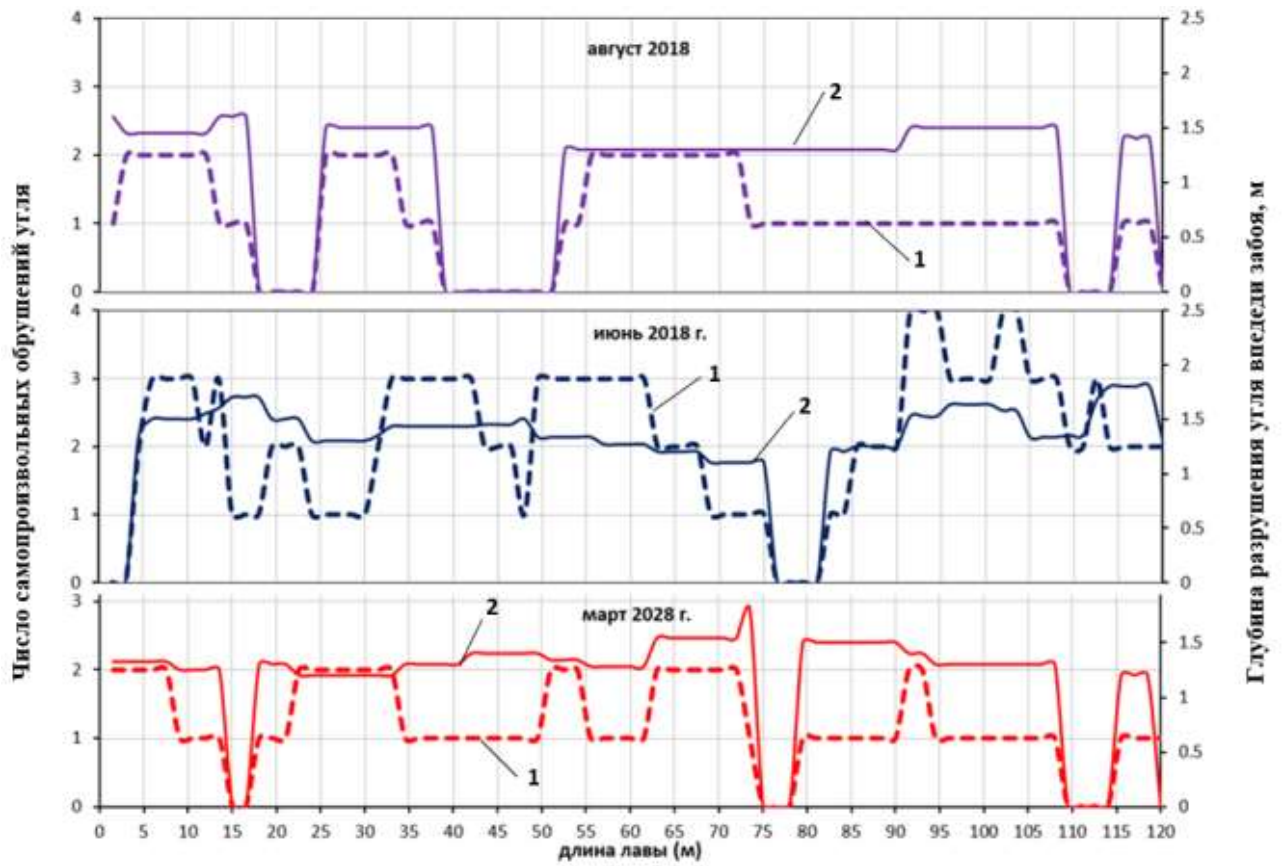


Рисунок 2.12 – Самопроизвольные обрушения угля в марте, июне и августе 2018 г. по длине лавы 14–5.5 шахты «Хечам»

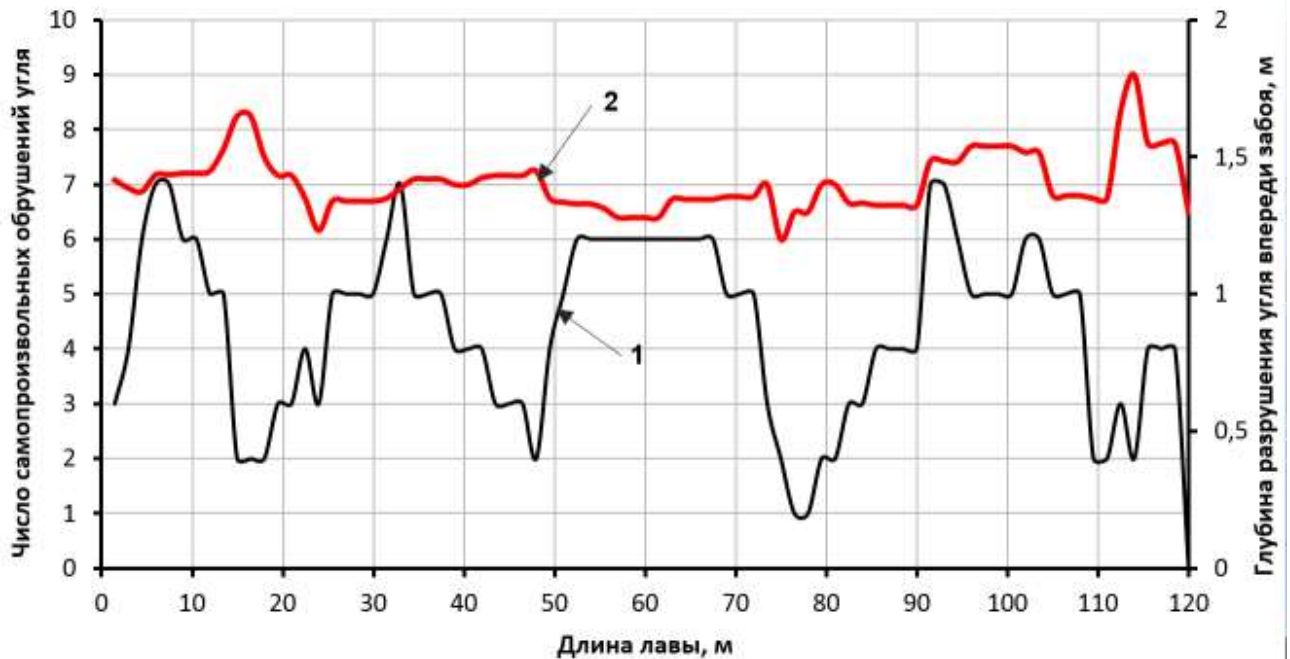


Рисунок 2.13 – Распределение параметров самопроизвольных обрушений угля по длине лавы 14–5.5 угольной шахты «Хечам» за 3 месяца 2018 г [19]:

1– число самопроизвольных обрушений угля; 2– глубина разрушения угля впереди забоя, м.

В третьем квартале 2019 года в лаве пласта №11 угольной шахты «Халам» произошло высыпание угля из кровли и забоя лавы на площади примерно равной 100 м². Для устранения последствий аварии лава была остановлена на две недели, что привело к экономическим потерям в размере около 140 000 долларов США в день [96].

При проходке подготовительных выработок технологии с использованием химических смесей для повышения устойчивости висящих пород характеризуются обычно [73,122] следующими параметрами: длина скважин от 3 до 5 м; диаметр скважин 42 мм; расстояние между скважинами 1,5-2,5 м; угол наклона скважин 30°-35° (рисунок 2.14).

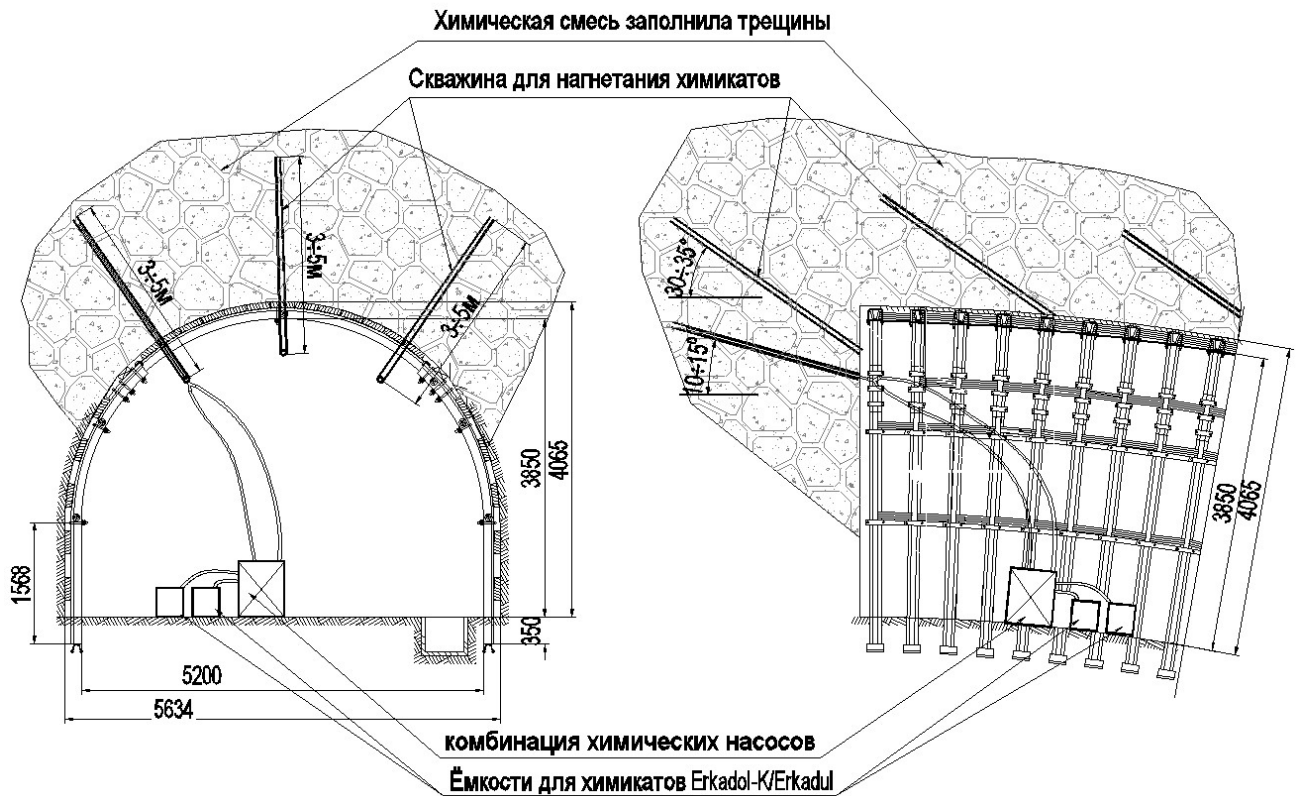


Рисунок 2.14 – Укрепление угольных и каменных массивов химической смесью в проходке выработки

Эти мероприятия опробованы и применяются в выработках [70, 71, 72]: откаточном уклоне +3/+120 пласта 10 шахты «Чангхе»; вентиляционном штреке – 50 (пласт 5) шахты «Наммау»; вентиляционном уклоне –300/–260 и

вентиляционной сбойке –90 шахты «Хечам». Время нагнетания химической смеси в каждую скважину составляет от 2 до 15 минут. Дальнейшее проведение выработки после нагнетания химреагента производят через 4 – 5 часов. Применение рассматриваемого способа позволяет увеличить скорость проходки выработок за счёт повышения устойчивости вмещающего массива, уменьшить частоту самопроизвольного обрушения угля, снизить затраты на крепление и перекрепление, увеличить производительность труда (Таблица. 2.1).

Таблица 2.1 – Результаты применения метода повышения устойчивости выработок химической смесью в процессе их проходки на некоторых шахтах Вьетнама [70, 71, 72]

Выработки	Площадь сечения выработки, м ²	Технология проходки выработки	Тип крепи	Скорость подвигания забоя выработки, м/сутки	
				до нагнетания химикатов	после нагнетания химикатов
Откаточный уклон +3/+120, шахта «Чангхе»	8,5	Буровзрывные работы	<u>арочная крепь СВП–27</u>	3,2 (угольный пласт имеет низкую прочность)	4,87
Вентиляционный штрек –50, шахта «Наммау»	10,8	Буровзрывные работы	<u>арочная крепь СВП–22</u>	2,8 (угольный пласт имеет низкую прочность)	5,1
Вентиляционный уклон –300/–260, шахта «Хечам III»	18,1	Буровзрывные работы	<u>арочная крепь СВП–27</u>	часто проявляется самопроизвольное обрушение угля из забоя выработки	3,2

В качестве смесей обычно используется польский Erkadol–K / Erkadur, состоящий из двух основных компонентов, смешанных в соотношении 1:1, для

получения полиуретановой коллоидной смеси с трехкратной степенью расширения и силой сцепления от 200 до 215 МПа, с временем реакции около 2 минут (Таблица 2.2). Для закачки химической смеси в угольный пласт под давлением 15 МПа используется комбинация насосов JWPD.

Таблица 2.2 – Физико–химические свойства компонентов клея системы Erkadol–K/Erkadur

Характеристики	Единица изм.	Показатели	
		Erkadol	Erkadur
Температура замерзания	°С	–30	–24
Клейкость	МПа	200	215
Время начала реакции	секунд	30 ÷ 60	–
Время окончания реакции	секунд	60 ÷ 140	–
Увеличение объёма	–	1 ÷ 3	–
Срок хранения	год	1	1

В настоящее время химические вещества не могут производиться во Вьетнаме и должны импортироваться по высокой цене, что ограничивает возможность их использования на шахтах. Следует отметить, что использование химикатов для укрепления угольного массива забоя лавы существенно повышает себестоимость добычи угля и снижает его качество.

2.3 Анализ причин самопроизвольного обрушения угля из кровли и из забоя лавы

Изучение мирового опыта применения различных технических решений для повышения устойчивости угля и породы с низкими прочностными характеристиками показало, что при проходке по породе в основном используются такие методы, как цементация, битумизация, нагнетание глинистых растворов и замораживание. При проходке подготовительных выработок и при

очистных работах для увеличения сцепления угольной массы в основном применяется метод нагнетания химикатов. Для заполнения полостей вывалов устанавливают деревянные (костровые) крепи.

На основании результатов выполненных исследований [18] и данных других исследователей [16, 21, 34, 113] определены группы основных факторов, влияющих на интенсивность обрушений угольных обнажений в лавах. К их числу относятся:

- Горное давление (опорное впереди забоя лавы, связанное с различными стадиями деформирования основной и непосредственной кровли).

- Факторы геологических условий: угольные пласты характеризуются сложным строением, включающим множество складок, разломов и других структурных нарушений. Массив угля представлен большим количеством тонких слоев с низкими коэффициентами трения между ними [54], что приводит к образованию множества трещин и разрывов в угле.

- Скорость движения лавы.

- Конструкция крепи очистного забоя и её несущая способность.

Для предотвращения самопроизвольного обрушения угля в призабойное пространство лавы могут быть использованы пассивные и активные способы, приведенные на рисунке 2.15:

- Укрепление зоны обрушения угля с помощью установки костровой крепи или заполнения полостей полимерным составом [46, 69, 86, 100];

- Управление горным давлением [79, 96];

- Выбор конструкции крепи очистной выработки, соответствующей горно–геологическим условиям, и расчёт технических параметров рациональной системы разработки (длина лавы, высота добычи, скорость движения лавы и т.д.) в соответствии с геологическими условиями [32, 57, 63, 74].

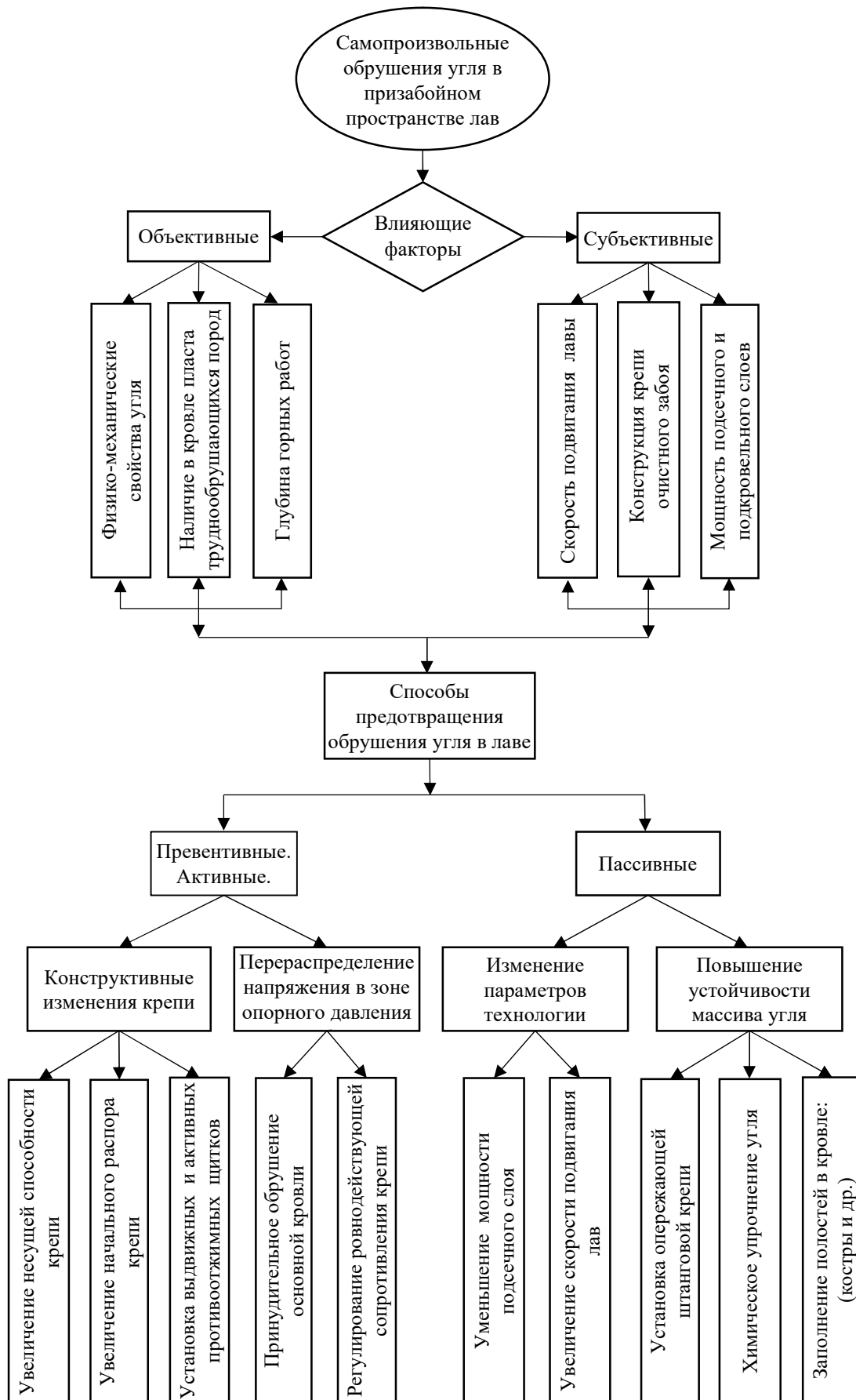


Рисунок 2.15 – Самопроизвольные обрушения угля в призабойном пространстве лав: причины и способы их предотвращения [18]

2.4. Выводы по Главе 2

На основе анализа опыта применения различных решений для увеличения устойчивости углей и пород с низкими прочностными характеристиками установлено, что при проходке выработок по породе в основном используются такие методы, как цементация, битумизация и замораживание породы. При проходке подготовительных выработок по углю и при ведении очистных работ для увеличения сцепления угольной массы в основном применяется метод нагнетания в угольный массив скрепляющих химических составов.

1. К числу особенностей самопроизвольного обрушения (высыпания) угля при отработке пластов с низкими прочностными характеристиками относятся: отсутствие явных предупредительных признаков начала процесса обрушения; обрушения угля происходят в короткие промежутки времени; низкая влажность обрушившейся угольной массы (0,8–1,3 %); обрушившийся уголь в навале характеризуется фракциями до 2–4 мм (не менее 95%). Высота полостей над перекрытием крепи достигает мощности подкровельного слоя (до 2,5 м и более), глубина интенсивного разрушения и отжима угля впереди забоя лавы составляла 1,4 – 3,5 м, на участках лавы длиной до 40 м. В ряде случаев в аварийной ситуации находилось 40–60% длины лавы. Устранение последствий крупных обрушений проводилось 8–12 смен.

2. Принимая во внимание особенности формирования аварийной ситуации и характеристику угольной массы, поступающей в призабойное пространства лавы, сделан вывод о том, что предотвратить эти опасные события путем совершенствования крепей очистного забоя практически невозможно. Положительный эффект может быть достигнут при применении превентивных мер, позволяющих повысить устойчивость угольного массива (как конструкции), перешедшего в предельное состояние, впереди забоя лавы.

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ОСНОВ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МОЩНЫХ ПЛАСТОВ УГЛЯ С НИЗКИМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

3.1 Анализ особенностей деформирования угольного массива впереди забоя лавы

Анализ напряженного состояния угля подкровельной пачки

К перспективным технологиям отработки мощных (5–12 м) пологих и наклонных угольных пластов относятся технологии очистных работ с выпуском угля из подкровельной угольной пачки на завальный конвейер [11, 18, 23, 24, 41, 60, 80]. При применении данной технологии пласт отрабатывают на полную мощность. При этом его разделяют на два слоя: подсечной мощностью h_1 , расположенный у почвы пласта, и подкровельный мощностью h_2 (Рисунок 3.1). Мощность подсечного слоя обычно принимают равной 2,2–2,5 м, мощность подкровельного слоя – до 10 м [18, 19]. Эта технология была впервые применена в 1940–х годах в России, а затем использовалась во Франции, Югославии, Венгрии, Румынии, бывшей Чехословакии и Турции. С 1980–х годов эта технология используется в Китае и Индии [48].

Как следует из практического опыта работы шахт России (шахты "Ольжерасская–Новая", "Имени В.И. Ленина", и др.), КНР (шахты "Люцзялян", "Жэнган", "Сунлоу" и др.), Вьетнама (шахты "Вангзань", "Халам", "Хечам", "Нуибео", "Уонгби", "Монгзыонг" и др.), Казахстана и Румынии по сравнению с разработкой пластов наклонными слоями данная технология позволяет существенно **снизить** объемы подготовительных работ, капитальные и эксплуатационные затраты [8, 18, 108].

Вместе с тем с увеличением глубины горных работ актуальны технические решения, связанные с предотвращением опасных самопроизвольных обрушений угля в призабойном пространстве лав подсечного слоя. Наибольшую актуальность эти вопросы приобретают при отработке угольных пластов с низкими

прочностными характеристиками [18, 93, 124].

Под влиянием горного давления, при проведении очистных работ внутри угольного массива впереди забоя лавы и в подкровельной пачке возникают зоны неупругих деформаций и разрушения, образуя области разрушенного угля [48, 62, 66]. Наличие таких областей приводит к самопроизвольному обрушению угля из кровли и высыпанию угля из забоя лавы [52].

В работах [48, 64, 66, 119], указывается на формирование в угольном массиве впереди забоя 4-х зон напряженного состояния (рисунок 3.1), зона I – с естественным напряженным состоянием массива; зона II – влияния временного опорного давления; зона III – циклического нагружения; IV зона – зона выпуска [2].

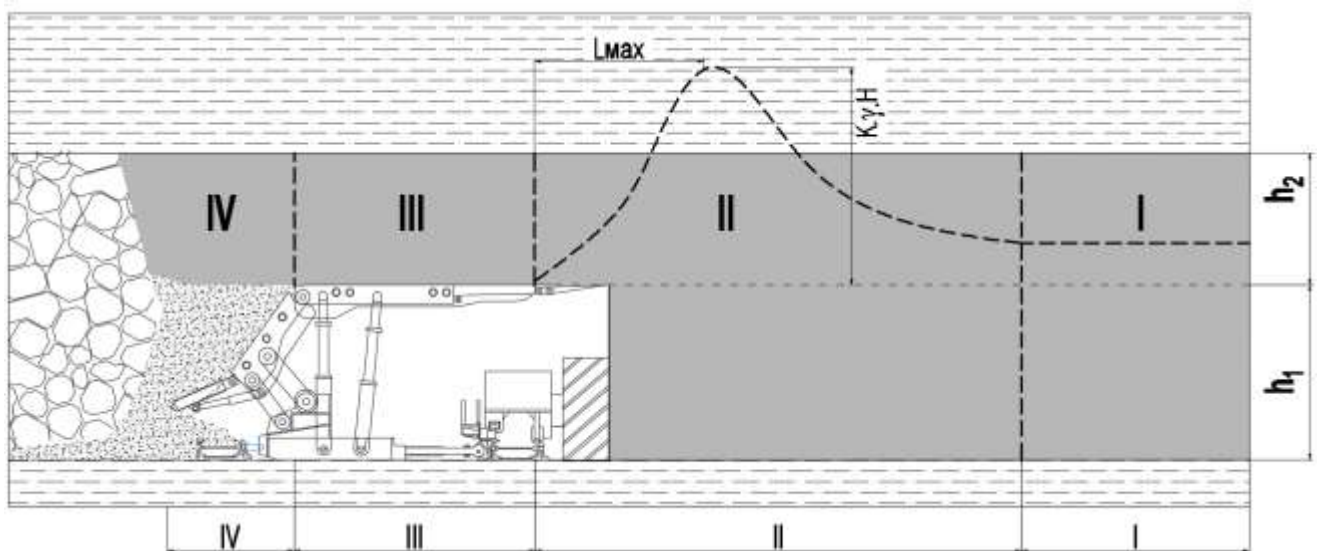


Рисунок 3.1 – Характерные этапы нагружения подкровельной пачки угля до ее выпуска на завальный конвейер [14, 64]

В зоне IV подкровельная пачка при сходе с верхняка крепи под влиянием гравитационных сил дополнительно расслаивается и деформируется, после чего она выпускается на завальный конвейер.

Наибольшие напряжения и деформации подкровленная пачка угля испытывает во второй зоне в области максимума временного опорного давления, а также в третьей зоне, где подвергается циклическому характеру нагрузки.

Переменные напряжения приводят к деформациям угля в пачке, что в конечном итоге приводит к ее полному разрушению [14].

Анализ типовых форм обрушения угля в лавах

Следует отметить, что рисунок 3.1 является концептуальной моделью напряженного состояния подкровельной пачки, но он варьируется в зависимости от многих факторов, таких как прочностные характеристики угольного пласта и окружающих горных пород, параметров лавы, глубины залегания пласта и других факторов [62]. Схема взаимодействия подкровельной пачки угля с крепью и породами кровли пласта достаточно детально рассмотрена в работах [98, 199].

Согласно [125] в Китае почти половина несчастных случаев со смертельным исходом в 2012 г. была вызвана обрушением пород в очистных и подготовительных выработках. Во Вьетнаме доля несчастных случаев, связанных с обрушениями угля и пород, составляет 35–37% (Рисунок 1.8).

В условиях шахты Халам повышенная частота обрушений угля постоянно наблюдалась в лавах 7–3.1 и 11–1.14. Высота образовавшихся в кровле полостей достигала 1,2 м, глубина интенсивного разрушения и отжима угля впереди забоя лавы составляла 1,4 – 3,5 м, длина участков лавы с данными проявлениями горного давления – до 6 м [91, 96].

В лаве I–8–1 угольной шахты Вангзань, обрушения угля из подкровельной кровли происходили на высоту 0,3–1,2 м, глубина зоны разрушенного угля впереди очистного забоя составляла 1–2 м на участках лавы длиной от 3–6 м [96].

В лаве 14–5 угольной шахты Хечам III самопроизвольные обрушения угля из кровли и очистного забоя происходили на участках лавы длиной до 40 м. В ряде случаев в аварийной ситуации находилось 40–60% длины лавы. При этом высота обрушений в кровле достигала 2,5 м, а ширина зоны разрушенного угля впереди забоя лавы составляла 0,8–2,5 м [72].

При отработке угольных пластов 12 шахты Панбэй и 81 шахты Волонгху в Китае [98, 135], цепочка происшествий "откол – обрушение кровли – неустойчивость крепи" возникала несколько раз с разной степенью впереди забоя

лавы, угрожая безопасности персонала и работе оборудования. Крупномасштабные обрушения груди очистного забоя обычно происходили в средней и верхней части лавы и реже в нижней её части.

Результаты анализа практического опыта отработки пологих и наклонных угольных пластов [91, 92, 99, 135], а также данных производственных исследований авторов статьи в условиях шахт угольного бассейна Куангнин позволили выделить 5 типовых форм разрушения угольного массива впереди забоя лавы (Рисунок 3.2).

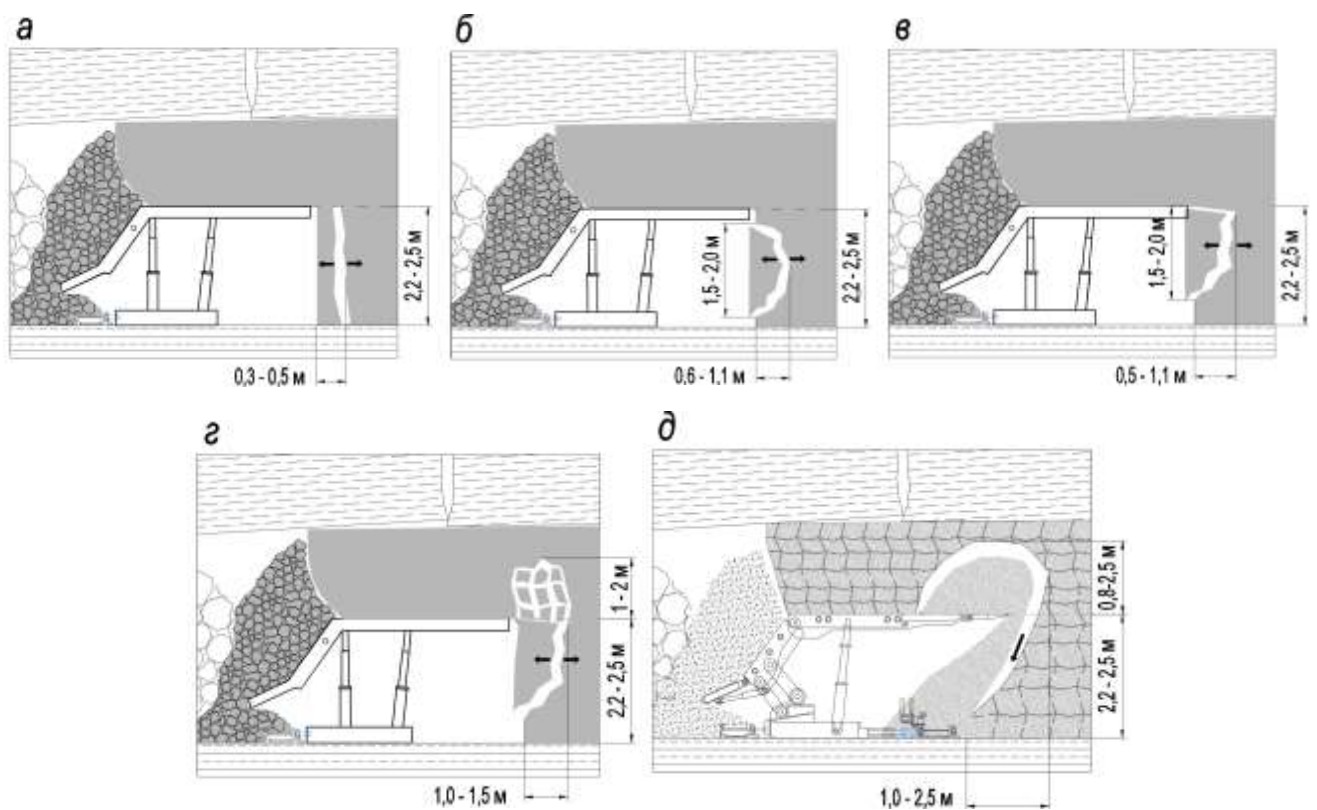


Рисунок 3.2 – Типовые формы полостей, формируемых при обрушении угля из кровли и груди очистного забоя [18]

- Формы разрушения а, б, в (Рисунок 3.2) являются характерными для пластов с пределами прочности угля на одноосное сжатие более 15 МПа. Причина разрушения угольного массива впереди забоя в виде отрыва в основном связана с воздействием опорного горного давления, в результате чего в угле появляются растягивающие напряжения в горизонтальном направлении. При достижении

растягивающих напряжений предела прочности на растяжение угольный массив разрушается [72, 128].

- При разработке мощных угольных пластов с относительно низкими прочностными характеристиками (прочность угля на одноосное сжатие менее 10–12 МПа) обрушение угля впереди забоя лавы происходит в средней и верхней части угольного забоя в виде дугообразного оползня (Рисунок 3.2, г). При этом над зоной отжима наблюдается частичное разрушение подкровельной пачки угля.

- Разработка пластов с «мягкими углями» со значениями предела прочности угля на одноосное сжатие менее 1,1–4,8 МПа характеризуется высокой вероятностью внезапных обрушений (высыпаний) угля из забоя и подкровельной пачки (Рисунок 3.2, д) с развитием полости вывала на высоту 0,8–2,5 м. Под действием горного давления и собственного веса угольной массы в угле появляются растягивающие напряжения, приводящие к обрушению угля [72, 97]. Данный процесс начинается, как правило, с высыпания угля из груди очистного забоя. При этом происходит обнажение подкровельной пачки угля впереди забоя лавы на глубину до 1,5–2,5 м и ее самопроизвольное обрушение [17].

3.2 Анализ модели механического взаимодействия между угольным пластом, крепью и породой кровли

Для того чтобы проанализировать условие сохранения устойчивости угля впереди забоя лавы, а также для расчета высоты обрушения угольного массива впереди забоя лавы, создана механическая модель, показанная на рисунке 3.3. Согласно принципу предельного равновесия, можно получить предельную несущую способность угольного массива [87, 88, 99].

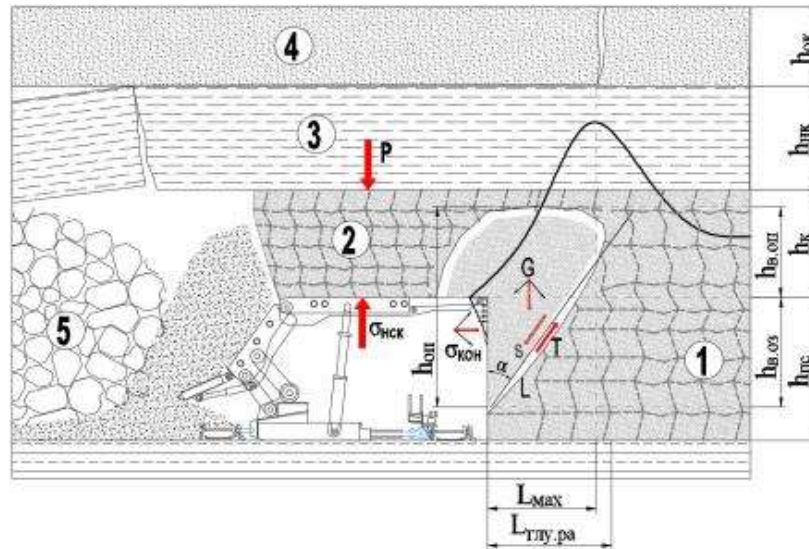


Рисунок 3.3 – Механическая модель взаимодействия между угольным пластом, крепью и породой кровли: 1 – мощность подсечного слоя; 2 – подкровельная пачка; 3 – непосредственная кровля пласта; 4 – основная кровля; 5 – обрушение породы

Для отрыва угольного массива впереди забоя лавы должно выполняться условие (3.1-3.3):

$$k = \frac{T}{S} = \frac{(P \cdot \sin \alpha + G \cdot \sin \alpha + \delta_{\text{кон}} \cdot \cos \alpha) \cdot \tan \varphi + C \cdot \frac{L_{\text{глу.па}}}{\sin \alpha}}{P \cdot \cos \alpha + G \cdot \cos \alpha - \delta_{\text{кон}} \cdot \sin \alpha}$$

$$= \frac{[(P + G) \sin \alpha + \delta_{\text{кон}} \cdot \cos \alpha] \tan \varphi + C \cdot \frac{L_{\text{глу.па}}}{\sin \alpha}}{(P + G) \cos \alpha - \delta_{\text{кон}} \sin \alpha}, \quad (3.1)$$

где T – задерживающая сила, кН;

S – сила тяга, кН;

P – действующая нагрузка, кН;

$$P = P_{\text{ок}} + P_{\text{нк}} + P_{\text{к}} - \delta_{\text{нск}}, \quad (3.2)$$

где $P_{\text{ок}}$, $P_{\text{нк}}$, $P_{\text{к}}$ – вес основной кровли, непосредственной кровли и подкровельной угольной пачки, кН;

G – собственный вес угольного массива, кН;

$$G = \frac{1}{2} \cdot h_{\text{оп}} \cdot L_{\text{глу.па}} \cdot \gamma_{\text{уг}}; \quad h_{\text{оп}} = \frac{L_{\text{глу.па}}}{\tan \alpha}$$

$$\Rightarrow G = \frac{L_{\text{глу.па}}^2 \cdot \gamma_{\text{уг}}}{2 \tan \alpha}. \quad (3.3)$$

где $h_{\text{оп}}$ – высота расслоения угольного массива, м;

$\sigma_{\text{кон}}$ – защитная сила щита угольной стенки, кН;

φ – угол внутреннего трения угля, град;

α – угол охвата зоны расслоения, град;

C – сила сцепления угля, МПа;

$\gamma_{\text{уг}}$ – плотность угля, т/м³;

$L_{\text{глу.па}}$ – глубина расслоения в массиве, м;

Из уравнений (3.1) – (3.3) получаем (3.4):

$$K = \frac{\left[\left(P + \frac{L_{\text{глу.па}}^2 \cdot \gamma_{\text{уг}}}{2 \tan \alpha} \right) \sin \alpha + \delta_{\text{кон}} \cdot \cos \alpha \right] \tan \varphi + C \cdot \frac{L_{\text{глу.па}}}{\sin \alpha}}{\left(P + \frac{L_{\text{глу.па}}^2 \cdot \gamma_{\text{уг}}}{2 \tan \alpha} \right) \cos \alpha - \delta_{\text{кон}} \sin \alpha}. \quad (3.4)$$

Если $K < 1$ происходит обрушение угля в призабойном пространстве лавы, в противном случае (при $K \geq 1$) призабойный участок устойчив. Угол поверхности разрушения и высота зонального отжима могут быть рассчитаны по уравнению (3.4).

Глубину обрушения угольного массива впереди забоя лавы можно определить по расстоянию от кромки забоя подсечного слоя до максимума опорного давления в пласте $L_{\text{мах}}$, которое определяется по формулам 3.5 - 3.11:

$$L_{\text{глу.па}} = K \cdot L_{\text{мах}}, \text{ м}. \quad (3.5)$$

Удаление максимума опорного давления от линии забоя подсечного слоя определяем по формуле 3.6 [51]:

$$L_{\text{мах}} = (C_1 + C_2) \times h_{\text{п.с}}, \text{ м}. \quad (3.6)$$

где C_1 и C_2 – вспомогательные функции:

$$C_1 = k_{\text{р.у}} - (k_{\text{р.у}} - 1) \times e^{-a_1 \times t_{\text{в}}}. \quad (3.7)$$

$$C_2 = 2,8 \times e^{-0,3 \times -f_{10}}. \quad (3.8)$$

где $k_{\text{р.у}}$ – коэффициент разрыхления угля в зоне отжима, принимаем равным 1,1 ÷ 1,3;

a_1 – реологический параметр;

$$a_1 = (0,7 \div 0,6) \times f_y, \quad (3.9)$$

где f_y – коэффициент крепости угля по шкале М.М. Протодяконова, принимается

$$f_y = \sigma_{\text{сж.у}}/10$$

где $\sigma_{\text{сж.у}}$ – прочность угля на сжатие, МПа;

t_B – продолжительность цикла выемки угля, час;

$$t_B = (24 \times r) / v_c, \text{ час}, \quad (3.10)$$

где r – ширина захвата комбайна, м;

v_c – суточное подвигание лавы, м/сутки.

f_{10} – средневзвешенный коэффициент крепости пород в десятиметровой зоне кровли пласта;

$$f_{10} = \frac{f_{н.к} \times h_{н.к} + f_{о.к} \times (10 - h_{н.к})}{10}, \quad (3.11)$$

где $f_{н.к}$ – коэффициент крепости пород непосредственной кровли;

$h_{н.к}$ – мощность пород непосредственной кровли, м;

$f_{о.к}$ – коэффициент крепости пород основной кровли;

Исходные данные и результаты расчетов расстояния от кромки забоя подсечного слоя до максимума опорного давления в условиях пласта 14–5 шахты Хечам показаны в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Результаты расчетов расстояния от кромки забоя подсечного слоя до максимума опорного давления

Исходные данные	Обозначение	Единицы	Значение
Удаление максимума опорного давления от линии забоя подсечного слоя	L_{\max}	м	3,51
Вспомогательные функции	C_1	–	1,15
Вспомогательные функции	C_2	–	0,25
Коэффициент крепости угля по шкале М.М. Протодяконова	f_y	–	0,3
Прочность угля пласта на сжатие	$\sigma_{сж.у}$	МПа	3,0
Коэффициент разрыхления угля в зоне отжима	$k_{р.у}$	–	1,1 ÷ 1,3
Мощность подсечного слоя	$h_{п.с}$	м	2,5
Мощность подкровельной угольной пачки	h_k		4,3
Угол охвата зоны расслоения	α	град	$\frac{25 \div 35}{30}$
Реологический параметр	a_1	–	0,2
Продолжительность цикла выемки угля	t_B	час	7,2
Средневзвешенный коэффициент крепости пород в десятиметровой зоне кровли пласта	f_{10}	–	$\frac{4-10}{8}$

На основании результатов расчета, приведенных в таблице 3.1, глубина обрушения угольной массы впереди забоя лавы (0,8–2,5 м) меньше расстояния от кромки забоя подсечного слоя до максимума опорного давления и равна (0,25–0,75) L_{max} .

Из приведенного выше анализа видно, что механизм обрушения угольного массива впереди забоя в основном происходит в двух формах, а именно отрыв и сдвиг (скольжением). Для снижения интенсивности обрушения «мягких» углей в призабойном пространстве лавы могут быть созданы условия путем применения превентивных мероприятий (см. Рисунок 2.15). Однако для угольных пластов с низкими прочностными характеристиками уменьшение скорости подвигания лавы, при прочих равных условиях, оказывает отрицательное влияние на устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя [18,106].

О трудностях решения проблемы предотвращения самопроизвольных обрушений «мягких» углей, свидетельствует практический опыт проходки подготовительных выработок по пласту 14–5 на шахте «Хечам». Применение металлических решеток с размерами ячеек 10×10 см в качестве затяжки не исключало интенсивного высыпания угля из кровли выработки (Рисунок 2.11). Положительный эффект был достигнут только после прокладки между кровлей и металлическими решетками бамбукового полотна, то есть после 100 % перекрытия кровли [18].

Принимая во внимание установленные особенности формирования процесса обрушения угля в призабойном пространстве лавы и имеющийся практический опыт отработки пластов с углями и вмещающими породами, характеризующимися низкими прочностными характеристиками (Рисунок 2.11), сделан вывод о том, что предотвращение этих опасных случайных событий путем изменения конструкций и параметров механизированных крепей очистного забоя не позволят получить существенных положительных эффектов. Эти мероприятия также, как и сооружение костров на перекрытиях крепи (Рисунок 2.9), не устраняют причин самопроизвольных обрушений забоя лавы и подкровельного слоя [18].

Поэтому исследования по минимизации опорного горного давления или изменению механических свойств угля являются, по-видимому, основными направлениями дальнейших исследований при поиске способов самопроизвольного обрудения в лаве.

Известны технологии [13, 25], включающие повышение устойчивости трещиноватых массивов путем нагнетания в них химических составов, обычно полиуретановых коллоидных смесей. Используемые составы включают в себя два основных компонента: добавки, позволяющие раствору расширяться и адгезивные пластиковые компоненты. Перед использованием эти ингредиенты хранятся в отдельных емкостях. При использовании они смешиваются насосным оборудованием и нагнетаются под высоким давлением в области массива, которые необходимо укрепить. Время начала реакции составляет 30–60 секунд, время окончания реакции 60 – 140 секунд [18, 19].

Использование данного способа в условиях отработки пластов с низкими прочностными характеристиками позволяет повысить устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя [71, 122]. Однако его техническая результативность и область рационального использования по экономическим показателям в длинных очистных забоях существенно снижаются по следующим причинам [18, 19]:

- невозможность, из-за малой продолжительности реакции химической смеси (60–140 секунд), надежной подачи химических составов в среднюю часть отрабатываемого столба по скважинам длиной до 80 м, пробуренным из подготовительных выработок [18];

- значительные затраты на химикаты, что существенно увеличивает себестоимость добычи угля;

- при нагнетании в угольный пласт полимерных составов снижается качество угля, а, следовательно, и его цена.

Следует также отметить, что химическая реакция в полиуретановых коллоидных смесях, в результате которой они отвердевают и превращается в прочную пленку, начинается после взаимодействия смеси с водой. Вместе с тем угольные пласты с «мягкими» углями на шахтах угольного бассейна Куангнин

характеризуются низкой (0,8–1,3%) влажностью. Ответ на вопрос о достаточности воды в таких пластах для обеспечения устойчивого отвердевания полиуретановых коллоидных смесей в настоящее время отсутствует [18, 19].

3.3 Научные основы повышения устойчивости мягкого угля (силы сцепления) впереди забоя лавы при его увлажнении

Научные основы повышения устойчивости угольного массива при его увлажнении водой

Для снижения интенсивности самопроизвольных обрушений угля в призабойном пространстве лав при разработке пологих и наклонных угольных пластов угля с «мягкими» углями рекомендуется с определенным опережением лавы в угольный пласт через скважины, пробуренные из горных выработок, нагнетать воду. Увлажнение пласта позволит увеличить силы сцепления между отдельными частями разрушенного угля и обеспечить тем самым устойчивое состояние кровли и забоя лавы в течении времени возведения лавной крепи.

Научная основа этого метода состоит в том, что, когда влажность угля увеличивается до определенной степени в пределах ненасыщенного предела, изменяются физико–механические свойства угольного пласта, сила сцепления между частицами угля увеличивается, а хрупкость уменьшается, повышается пластичность. Ряд исследований показали, что при поглощении мягким углем воды, увеличиваются силы сцепления. При этом создаются связи, позволяющие угольному блоку оставаться в устойчивом состоянии в течение определенного периода времени. Теория Мора–Кулона (деструктивный критерий) используется в качестве одной из основных теоретических основ (Рисунок 3.4), поясняющих это явление.

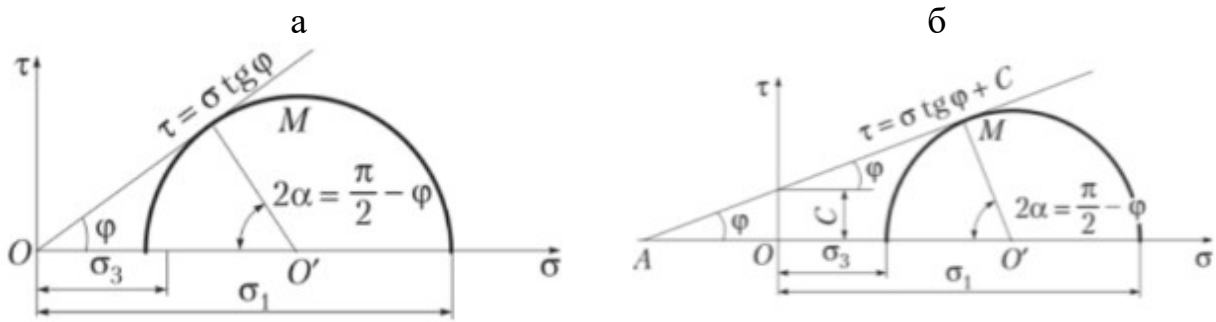


Рисунок 3.4 – Графическое изображение закона Кулона [4]: а – сила сцепления $C = 0$; б – сила сцепления $C \neq 0$; σ – нормальное напряжение; τ – касательное напряжение; φ – угол внутреннего трения;

Анализ изображения и приведенной выше формулы показывает, что если мягкий уголь перед поглощением воды является плохим / несвязным материалом ($C \approx 0$), то после добавления определенного количества воды для создания силы сцепления $C > 0$ будет увеличиваться сопротивление сдвигу и устойчивость влажного угольного пласта. Однако многие исследования механики грунтов и пород также показывают, что долговечность грунтов и пород уменьшается при поглощении воды, особенно в насыщенном состоянии. Таким образом, нагнетание воды для повышения силы сцепления и стабильности пласта из мягкого угля должен гарантировать принцип, согласно которому количество воды, нагнетаемое в уголь, не должно переводить угольный пласт в насыщенное водой состояние.

Впервые предварительное увлажнение угольного пласта было применено на шахтах в 1890 году в качестве средства, которое могло предотвратить взрыв пыли. Позже этот метод был заменен осланцеванием, и лишь в середине 1930-х годов он снова стал использоваться в Руре и в других регионах мира. В России первые эксперименты по увлажнению пластов были проведены в 1935 году в МакНИИ, а главным образом в ВостНИИ и его карагандинском филиале. Ученые, такие как Ксенофонтова А.И., Бурчаков А.С., Панов Г.Е, Чернов О.И., Трубицын А.В., Кудряшов В.В., Журавлёв В.П. и другие, сделали большой вклад в теорию предварительного увлажнения массива [47].

Механизм и теория движения воды в угольном пласте

В угольных пластах с низкими прочностными характеристиками развита система трещин и пустот. Согласно исследованиям по предварительному увлажнению угольной массы для снижения пылеобразования при добыче [3, 39, 49, 117, 139], движение воды в угле можно разделить на две категории: просачивание под давлением и естественное просачивание, которые приводят к увеличению влажности угля. Суть этого процесса заключается в нагнетании жидкости под давлением, которая проникает в угольный пласт через трещины и пустоты, распространяясь на значительное расстояние от скважины в радиальном направлении. Сначала вода проникает в большие пустоты и трещины в виде осмоса, затем в маленькие пустоты и трещины в виде капилляров, и, наконец, с помощью диффузии в системах трещин и мелких пустотах.

Если давление воды будет слишком высоким, это приведет к изменению размера трещин и пустот, что приведет к изменениям в структуре угольного массива. Когда давление закачки среднее или низкое, размер системы трещин и пустот изменится незначительно, поэтому это мало повлияет на структуру угольного блока, но время закачки будет больше.

В объемном составе мягких углей присутствуют вещества в трех фазовых состояниях: минеральные частицы (твердая фаза), грунтовая вода (жидкая фаза), газы и пары (газообразная фаза). Поэтому во время процесса нагнетания вода заполнит поровое пространство жидкостью и вытеснит газовую фазу. Процесс продавливания воды в угольный пласт для его увлажнения проходит три этапа: смачивание, адсорбция и насыщение (Рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Процессы смачивания угольной массы

Тем самым, увлажнение угля способствует агломерации и сцеплению угольных частиц, приводя к трансформации угольного массива из нестабильного рыхлого состояния в стабильный континуум. Таким образом, прочность и

устойчивость угля повышаются [139].

Наличие воды приводит к образованию водной пленки вокруг угольных частиц, которые связываются друг с другом и образуют более крупные частицы, увеличивая силы сцепления между частицами угля

Способность угольных пластов к увлажнению зависит от их структурных особенностей и физико–механических свойств [3].

Анализ основных факторов, влияющих на увлажнение угольных пластов

В процессе углеобразования в угольной массе возникают эндогенные трещины, которые приводят к уменьшению её объёма. Под воздействием эффекта натяжения образуются трещины, перпендикулярные слоистой поверхности. Эндогенные трещины, находящиеся под влиянием более поздних тектонических движений, как правило, имеют небольшой наклон по сравнению со слоистой поверхностью и гладкую плоскую поверхность, а также могут содержать новые минеральные образования, такие как каолинит или агат [15].

Для определения количества эндогенных трещин в угле обычно используют метод подсчёта количества трещин на длине 5 см в направлении, перпендикулярном направлению трещины.

Эндогенные трещины также служат каналом для воды при нагнетании, поэтому являются важным фактором, влияющим на эффективность нагнетания воды.

Экзогенные трещины [15] – это трещины, образованные тектонической деятельностью после образования угля, поэтому направление трещины, а также количество и размер полностью зависят от тектонической активности. Из–за развития экзогенной трещины эндогенная трещина может деформироваться или полностью исчезнуть. Экзогенные трещины часто имеют царапины, насечки или заполнены вторичными минералами или угольным порошком. В районах, сильно подверженных тектонической активности, экзогенные трещины развиваются настолько сильно, что уголь крошится.

В угольном блоке существуют как эндогенные, так и экзогенные трещины, которые сложно переплетены, что может вызвать явление дробления угля при разработке, но это важно для увлажнения угольного пласта.

В работах [110, 137] уголь представляется как композит из матричных блоков и трещин, которые могут быть классифицированы на три ортогональные группы по направлению и связанности: лицевые, крепежные и пластовые трещины (Рисунок 3.6). Как правило, в угольных пластах имеется по крайней мере два набора вертикальных трещин, пересекающихся под прямым углом и образующих связанную сеть по всему угольному пласту. Две системы трещин известны как лицевые и крепежные трещины. Лицевые трещины состоят из хорошо развитых, обширных, шероховатых плоских трещин, которые параллельны друг другу, а крепежные трещины также являются плоскими, но не так хорошо развитыми и непрерывными, как лицевые трещины.

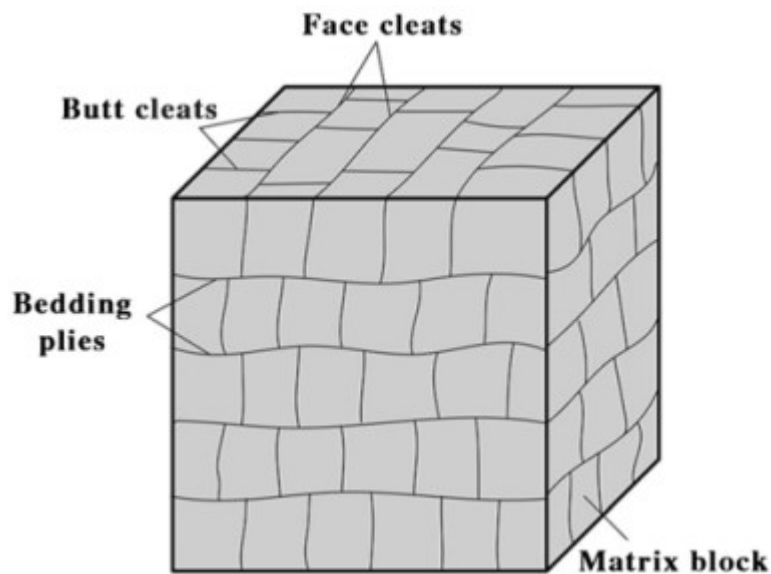


Рисунок 3.6 – Представительная структура угля [137]

Уголь – это органическая горная порода, образованная из различных минеральных компонентов. Каждый минеральный компонент образуется из различных остатков первоначально растительного происхождения, которые разлагаются на разных уровнях и накапливаются в течение разного времени, что приводит к слоистой структуре. Если условия накопления относительно

стабильны, то уголь будет иметь однородную структуру, если условия накопления изменяются, это приведет к формированию различных слоев, таких как горизонтальные, наклонные, волнистые, стекловидные и т.д. В зависимости от толщины каждого слоя можно разделить его на тонкий, средний и толстый слой. В целом, эта слоистая структура обычно имеет слабую связь, поверхность контакта между слоями можно рассматривать как трещину в угольном массиве [59].

Таким образом, в процессе увлажнения угольного массива слоистая поверхность действует как канал, вода будет следовать за этими слоями по направлению к передней части зоны нагнетания, чтобы увлажнить угольный массив.

Образование угля [59] – это длительный процесс изменения, в ходе которого из угольной массы непрерывно высвобождаются вода и газ, образуя микропустоты, которые обычно соединены друг с другом и формируют систему пустот. Диаметр пустот в угольной массе различен, но обычно превышает диаметр молекул газа и меньше диаметра молекул воды. Пустоты могут быть классифицированы по диаметру на крупные ($d > 10^{-4}$ м), средние ($d = 10^{-4} \div 10^{-8}$ м) и мелкие ($d < 10^{-8}$ м). При нагнетании вода сначала проникает в крупные пустоты, которые также являются резервуарами для хранения воды после увлажнения [29].

3.4 Выводы по Главе 3

1. Анализ результатов практического опыта по отработке наклонных и пологих угольных пластов, а также данных исследований в условиях шахт угольного бассейна Куангнин, позволил выделить пять типовых форм разрушения угольных массивов перед забоем лавы. Эти формы разрушения включают цельный откол с глубиной откола ребра в диапазоне 0,3–0,5 мм, смешанные v-образные и дугообразные отколы с глубиной откола ребра в диапазоне 0,6–1,0 мм, дугообразный откол с глубиной откола ребра в диапазоне 0,5–1,1 мм, которые

являются характерными для пластов с пределом прочности угля на одноосное сжатие более 15 МПа. Дугообразный оползень с глубиной обрушения ребра в диапазоне 1,0–1,5 мм наблюдается при прочности угля на одноосное сжатие менее 10–12 МПа, а также при разработке пластов с "мягкими углями", у которых значения предела прочности на одноосное сжатие составляют от 1,1 до 4,8 МПа. Дугообразный оползень характеризуется высокой вероятностью внезапных обрушений (высыпаний) угля из забоя и подкровельной пачки с развитием полости вывала на высоту 0,8 – 2,5 м .

2. Для анализа условий сохранения устойчивости угля впереди забоя лавы и расчета высоты его обрушения была создана механическая модель взаимодействия между угольным пластом, крепью и породой кровли. Результаты расчета расстояния от кромки забоя подсечного слоя до максимума опорного давления в условиях пласта 14–5 шахты Хечам составляют 3,51 метра. Глубина обрушения угольной массы впереди забоя лавы (составляет от 0,8 – 2,5 м).

3. Для снижения интенсивности самопроизвольных обрушений угля в призабойном пространстве лав при разработке пологих и наклонных угольных пластов угля с «мягкими» углями рекомендуется с определенным опережением лавы в угольный пласт нагнетать жидкость на основе воды, позволяющую увеличить силы сцепления между отдельными частями разрушенного угля и обеспечить тем самым устойчивое состояние кровли и забоя лавы в течении времени возведения лавной крепи.

На это направлена дальнейшая работа.

ГЛАВА 4 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ РАЗРУШЕННОГО УГОЛЬНОГО МАССИВА ВПЕРЕДИ ЗАБОЯ ЛАВЫ НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ

Основными задачами лабораторных исследований являлись:

- определение физико–механических свойств «мягких» углей;
- исследование влияния влажности угольного массива на его прочностные и деформационные характеристики.

Лабораторные исследования проведены по методикам, применяемым в Санкт–Петербургском горном университете [18], в лаборатории физико–механических свойств и разрушения горных пород.

4.1. Исследование физико–механических свойств угля с низкими прочностными характеристиками

Для решения поставленных задач из забоев лавы и штреков (пласт 14–5, шахта Хечам) на глубинах 260–300м были взяты 9 цилиндрических проб угля в виде керна диаметром 100 мм и высотой 200 мм (Рисунок 4.1). Для сохранения естественной влажности образцы угля сразу после их извлечения из пласта размещались во влагонепроницаемых пакетах [18].

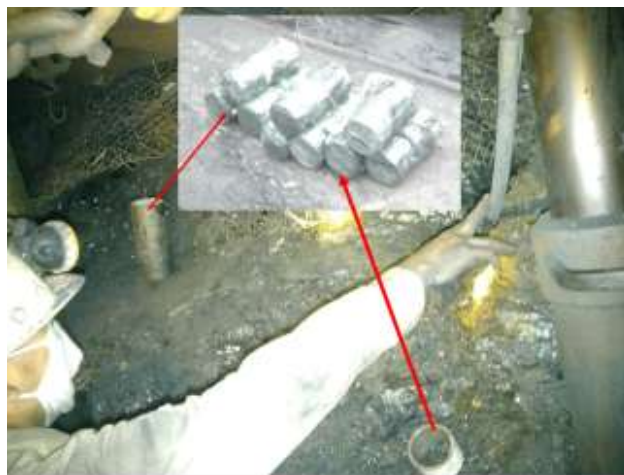


Рисунок 4.1 – Образцы угля были отобраны из забоя лавы

Уголь представляет собой легкий, хрупкий и сыпучий материал (Рисунок 4.2, а), средний размер отдельных частиц которого составляет от 0,2 до 35 мм.

Максимальный размер отдельных обломков угля не превышает 30–35 мм (Рисунок 4.2, б). Доля таких обломков в общей массе пробы не превышает 2%. Коэффициент разрыхления не более 1,2, угол естественного откоса составляет 18–30 градусов.

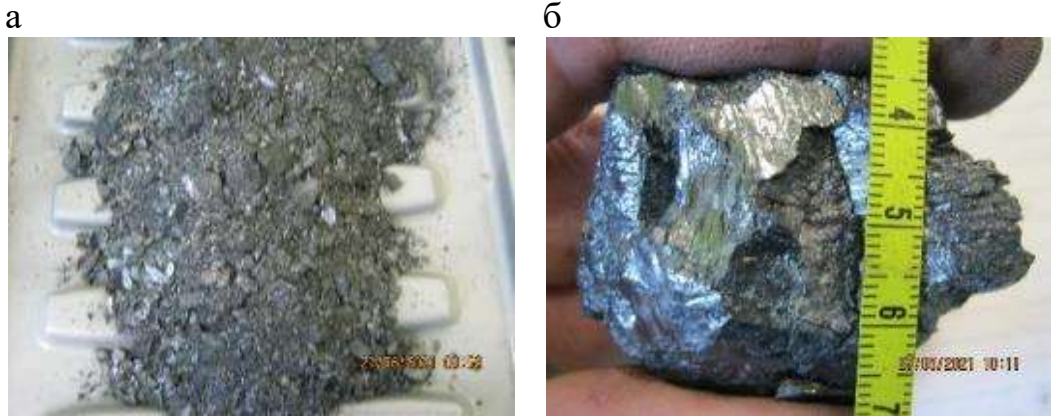


Рисунок 4.2 – Общий вид «мягкого угля» (а) после извлечения его из трубы ПНД

Пробы угля были испытаны на раскалывание соосными сферическими инденторами в сооснике БУ11, который был установлен в электромеханической универсальной испытательной машине ЦДМ 2,5 (Германия). Максимальное усилие составляет 2,5 т (Рисунок 4.3). Испытания включали одноосное сжатие, растяжение и изгиб.



Рисунок 4.3 – Электромеханическая универсальная испытательная машина ЦДМ 2,5 (Германия)

Были проведены определения следующего комплекса физических и механических свойств пород: влажности грунтов методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ 5180–2015; плотности грунтов методом взвешивания в воде по ГОСТ 5180–2015; параметров паспорта прочности (условного сцепления и соответствующих углов внутреннего трения) в соответствии с патентом № 2521116 РФ «Способ определения механических свойств горных пород и материалов».

Результаты экспериментов показали, что естественная влажность угля изменяется от 0,8 до 1,3%, плотность угля составляет 1,31 – 1,38 г/см³, предел прочности при одноосном растяжении - 0,34–0,54 МПа, предел прочности при одноосном сжатии - 0,78–1,4МПа, условное сцепления - 0,42 – 0,57 МПа и угол внутреннего трения угля от 8,5 до 16,8 градусов. Результаты выполненных экспериментов по определению физико–механических свойств «мягкого» угля приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты определения показателей физико–механических свойств «мягких» углей

Описание пробы	Влажность, %	Плотность угля, г/см ³	Предел прочности при одноосном растяжении, МПа	Предел прочност и при одноосном сжатии, МПа	Условное сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
Проба 1 (Уголь)	0,8	1,31	0,342	1,11	0,42	16,8
	-	-	0,168	0,78	0,25	23,8
			0,344	0,99	0,39	13,2
			0,445	1,24	0,50	12,2
		0,411	1,44	0,52	17,9	
Проба 2 (Уголь)	1,1	1,38	0,54	1,33	0,57	8,5
	-	-	0,542	1,20	0,55	4,9
			0,577	1,40	0,61	8,1
			0,497	1,40	0,56	12,6
Проба 3 (Глинистый сланец)	1,2	2,26	2,92	7,67	0,13	10,7
	-	-	2,99	7,61	3,21	9,7
			2,38	7,33	2,82	15,0
			3,40	8,06	3,54	7,4

Результаты определения силы сцепления

Сила сцепления угля определяется через предел сопротивления сдвигу по закону Кулона [4].

Сдвиговой прибор представляет собой две деревянные квадратные коробки со стороной 100 мм и высотой 50 мм (Рисунок 4.4). Одна из коробок укрепляется неподвижно на столе, закрепленная с помощью винтовых струбцин. Вторая коробка может горизонтально перемещаться под воздействием горизонтальной сдвигающей нагрузки. Для исключения трения между двумя коробками используются пластиковые прокладки толщиной 1 мм.

В сдвиговой прибор засыпается уголь, который уплотняется слоями по 5 мм, чтобы достигнуть плотности 1,31 г/см³.

Для проведения исследования выполняются несколько срезовых испытаний (рекомендуется провести девять испытаний для каждого образца угля) при различных значениях вертикальной сжимающей нагрузки N . Таким образом, каждому уровню нагрузки σ_i находится соответствующее значение сопротивления сдвигу τ_i (Рисунок 4.5).

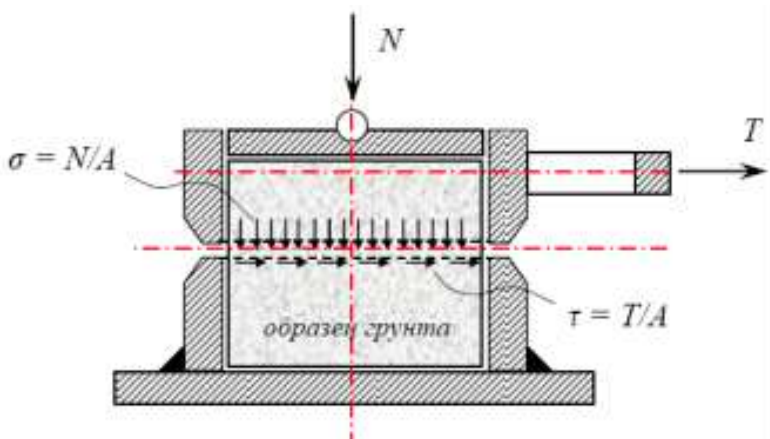


Рисунок 4.4 – Устройство для определения величины силы сцепления угля: N – сжимающая сила; T – сдвигающая сила; A площадь поперечного сечения образца

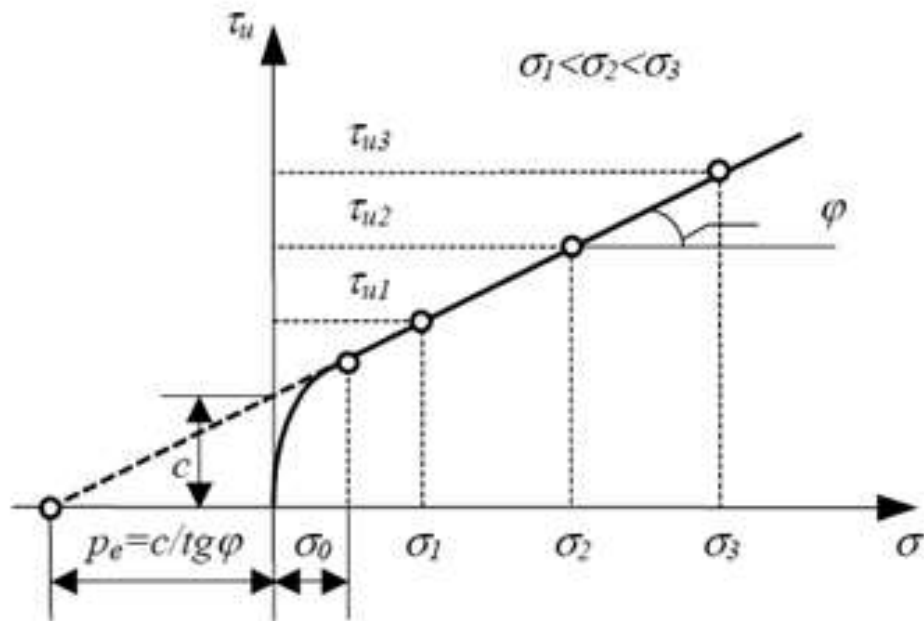


Рисунок 4.5 – График зависимости сопротивления сдвигу от величины вертикальных нормальных сжимающих напряжений

На рисунке 4.5: σ – нормальное напряжение; τ – касательное напряжение; φ – угол внутреннего трения; c – сила сцепления

При проведении эксперимента вначале первая из указанных выше коробок крепится к столу с помощью винтовой струбцины (Рисунок 4.6, а), Затем загружается уголь в срезыватель (Рисунок 4.6, б) и уплотняется слоями толщиной 5 мм до достижения углем плотности $1,31 \text{ г/см}^3$ (Рисунок 4.6, в). Поверх стенок коробки укладываются пластиковые прокладки (Рисунок 4.6, г). Вторая коробка прикрепляется к первой при помощи винтов (Рисунок 4.6, д). Затем продолжается процесс загрузки угля в сдвиговой прибор, и уголь уплотняется до расстояния 3–5 мм от горловины коробки. На поверхность угля укладывается лист меки толщиной 10 мм, затем производится нарузжение угля (сжимающая сила N , Рисунок 4.4).

Принципиальная схема испытания образца на сопротивление сдвигу (для определения силы сцепления угля) показана на рисунке 4.6.

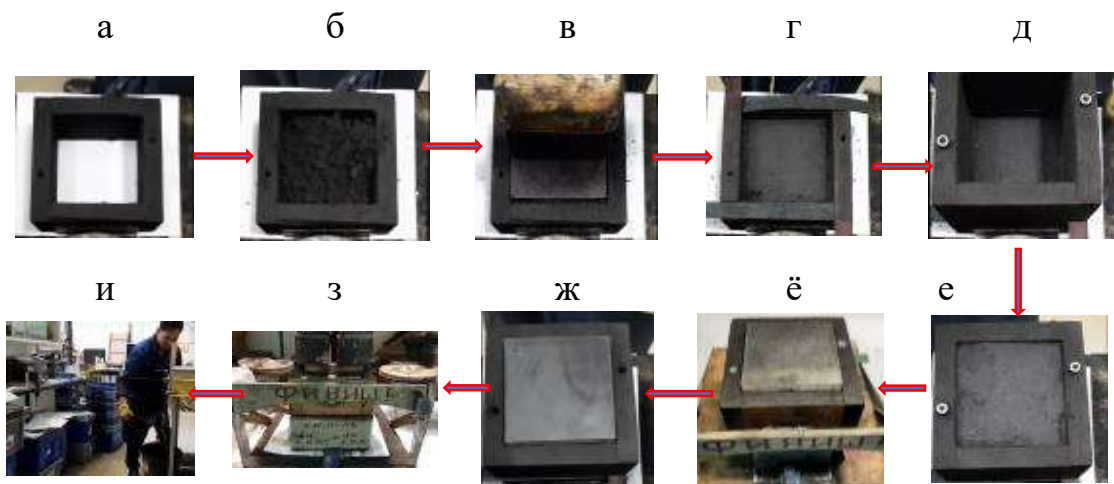


Рисунок 4.6 – Схема эксперимента на определение сопротивления сдвигу угля

На рисунке: а – закрепление деревянной коробки на столе винтовыми струбцинами; б – в сдвиговой прибор засыпан уголь; в – уплотнение угля слоями по 5 мм; г – установка пластиковых прокладок; д – закрепление двух деревянных коробок шурупами; е – подсыпка угля и его уплотнение до горловины деревянной коробки; ё – установка квадратной стеклянной пластины поверх угля; ж – снятие винтов и пластиковых прокладок; з – к образцу прикладывается нормальная к поверхности сжимающая нагрузка N . После этого медленно прикладывается поперечная нагрузка T (Рисунок 4.4) с помощью специального устройства.

При каждом значении влажности угля (1,1%; 5%; 7%; 10%; 15%; 20% и 25%) было проведено по 9 испытаний на сопротивление сдвигу при значениях вертикальной нагрузки 100 кПа, 200 кПа и 300 кПа. При каждом значении вертикальной нагрузки проводили трехкратное испытание и по среднему значению строили графики зависимости предельных сопротивлений смещениям от вертикальных нормальных сжимающих напряжений.

Испытание угля произведены для двух случаев: на 1-ом этапе испытаний уголь увлажнялся водой без добавок, на 2-ом этапе испытаний уголь увлажнялся водой с добавками каменной соли . Результаты испытаний представлены в таблице 4.2 и на рисунках 4.7 и 4.8.

Таблица 4.2 – Результаты испытаний по определению сопротивления сдвигу и силы сцепления образцов угля при различной их влажности

Влажность угля (%)	Нормальное напряжение σ (кПа)						Сила сцепления C (кПа)		Угол внутреннего трения ϕ (градусов)	
	100		200		300					
	Предел сопротивления сдвигу τ (кПа)									
	$\tau_{1в.}$	$\tau_{1в.д.}$	$\tau_{2в.}$	$\tau_{2в.д.}$	$\tau_{3в.}$	$\tau_{3в.д.}$				
1,1	14,8		26,4		36,7		2,9111	–	6,59	–
	13,8		26,2		37,4					
	13,6		26,6		36,8					
5	20,4	32,8	36	54,4	49,4	64,0	6,1778	12,00	8,44	9,39
	20,8	26,2	34,5	45,2	52	56,0				
	20,9	28,8	36,5	46,8	48,5	60,0				
7	25,6		39		55,4		11,856	16,25	8,14	8,98
	28,5		35,8		54					
	27,6		37,9		57					
10	33,2	36,4	47,2	49,4	63,4	63,6	18,111	22,26	9,03	8,40
	35,2	37,4	49,5	53,2	65,7	67,8				
	34,2	36,8	48,7	51,5	67,3	66,3				
15	40,2	45,6	63	63,1	79,8	84	23,856	29,23	10,74	10,04
	42,1	48,2	59,5	65,2	78,6	81				
	44	46,6	62	62,2	79,1	79,5				
20	31,6	36,5	49,4	49,2	71,6	73,8	11,967	15,78	11,45	11,04
	35,8	37,5	44,2	51,5	75,2	74,6				
	34,5	35,5	47,1	50,7	73,5	75,3				
25	30,6		42		72,4		7,87	–	11,54	–
	31		46,5		74					
	31,8		48,5		69,5					

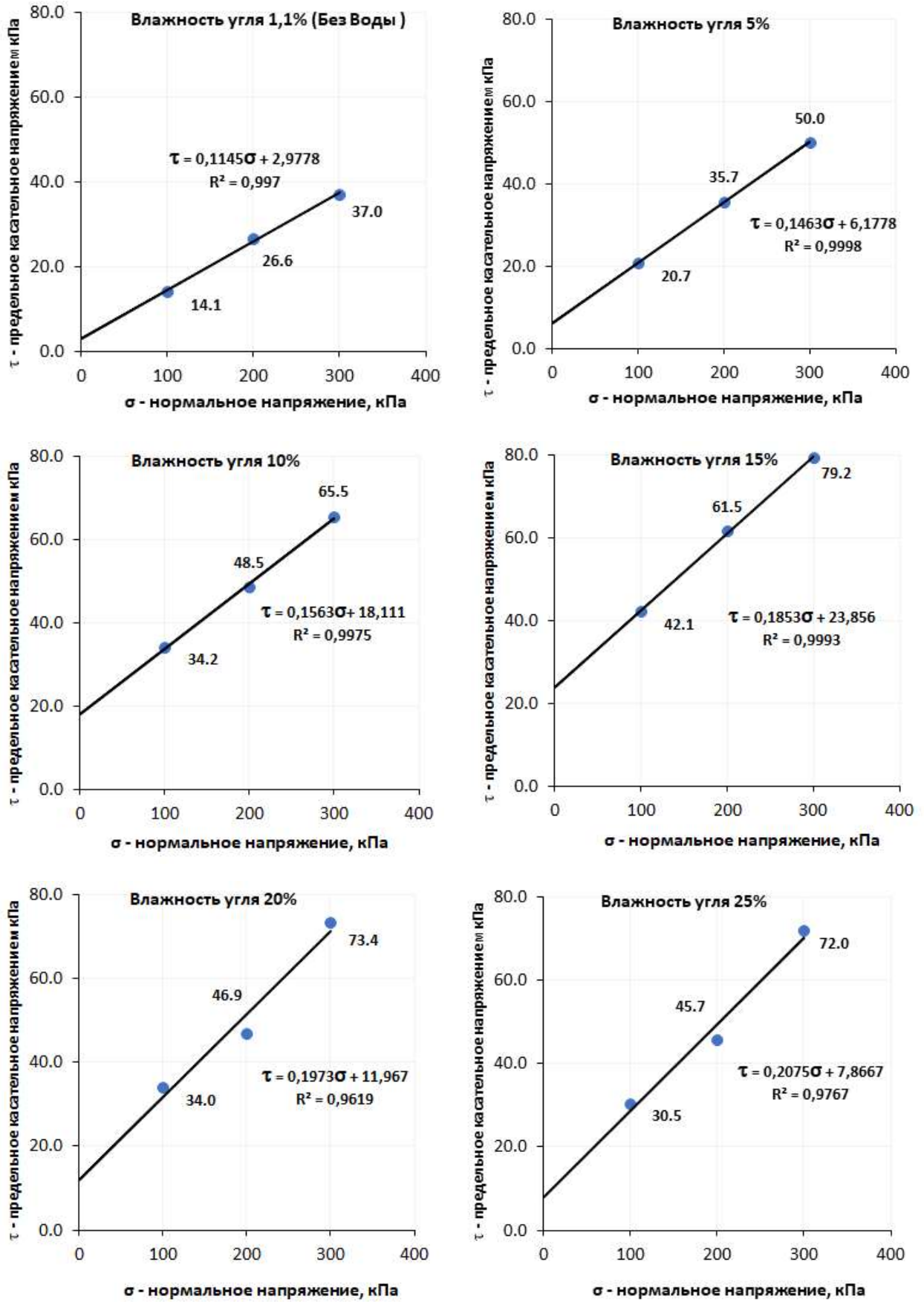


Рисунок 4.7 – График зависимости касательных напряжений τ от нормальных напряжений σ и при использовании воды без добавок [18]

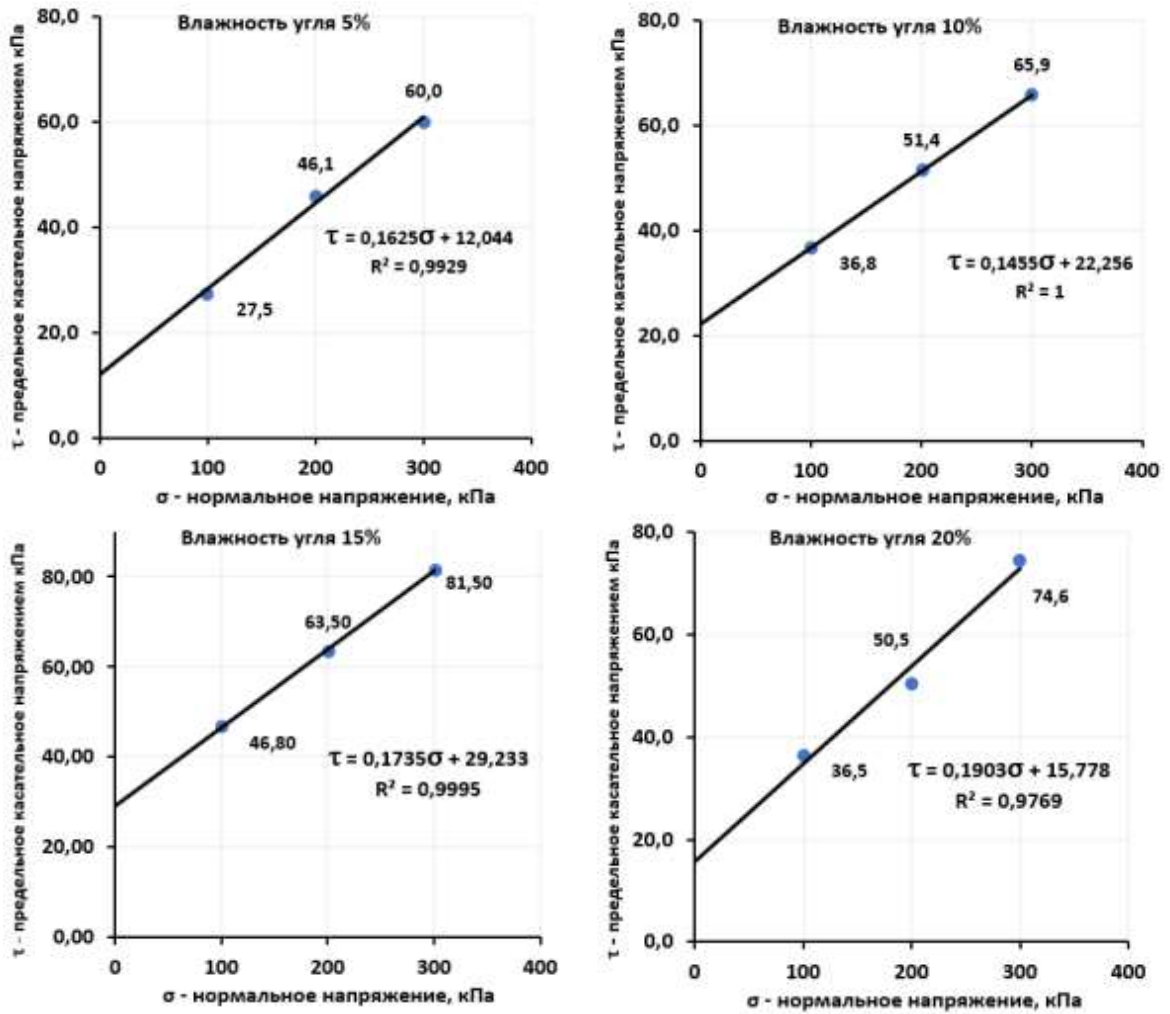


Рисунок 4.8 – График зависимости касательных напряжений τ от нормальных напряжений σ при использовании воды с растворённой в ней каменной солью

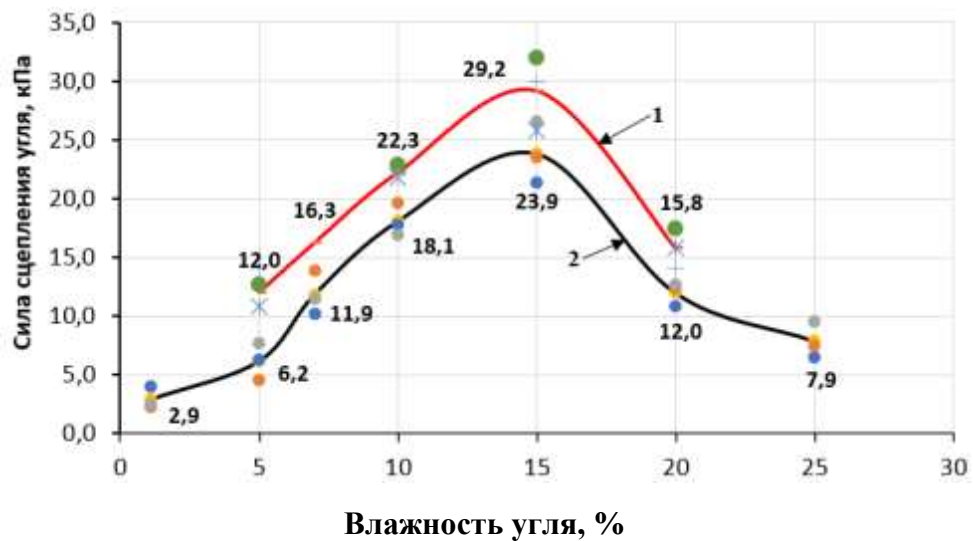


Рисунок 4.9 – Влияние влажности угля на силу сцепления «мягких» углей при продолжительности их увлажнения равной 4–5 часов: 1- для воды с растворённой в ней каменной солью; 2- для воды без добавок каменной соли [18]

Результаты экспериментов по определению силы сцепления угля через сопротивление сдвигу показали, что при использовании воды без добавления каменной соли увеличение влажности от 1,1% до 15% приводит к постепенному увеличению силы сцепления угля. Увеличение влажности до 20–25% (насыщенная влажность) снижает силы сцепления угля. При изготовлении образцов для испытаний угля с влажностью 20–25 % под действием силы сжатия (Рисунок 4.10) вода выдавливалась из образца и осаждалась на поверхности угля.

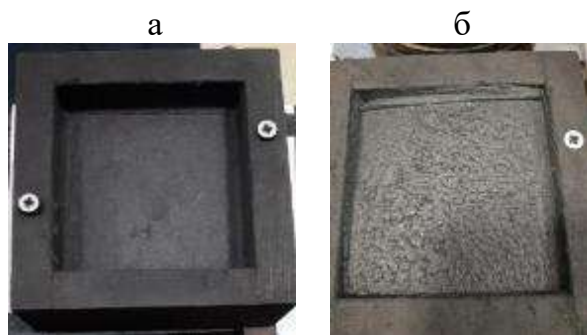


Рисунок 4.10 – Образцы угля для испытания на предел сопротивления сдвигу: а – влажность угля 15 %; б – влажность угля 20%.

В абсолютных величинах сила сцепления угля увеличилась с 2,9 кПа при влажности 1,1% до 23,9–29,2 кПа при влажности 15% и уменьшилась до 7,9 кПа при влажности 25 % [18].

При использовании воды с растворенной в ней каменной солью величина сцепления угля возрастает в 1,3–1,9 раза по сравнению с результатами, полученными при использовании водопроводной воды.

Результаты эксперимента по изучению силы сцепления угля в зависимости от его влажности согласуются с теоретическими исследованиями данного вопроса. При нагнетании воды в угольный пласт сила сцепления увеличивается, потому что вода покрывает в виде тончайшей пленки угольные частицы, которые при этом приходят в наиболее тесное соприкосновение, достаточное для проявления молекулярных сил, приводящих к сцеплению отдельных частиц в устойчивую массу угля.

Чем тоньше слой жидкости, обволакивающий угольные частицы, тем меньшее расстояние между ними и сильнее проявляется действие молекулярных

сил сцепления. Поэтому при увеличении влажности угля до 20 – 25 % (насыщенная влажность) это приводит к увеличению толщины водяной пленки, что снижает силу сцепления.

Бурение скважин и нагнетание через них воды в угольный пласт реально возможно с опережением очистных работ, на определенном расстоянии от давы. Поэтому влияние времени на изменение силы сцепления угля после его увлажнения является важным фактором, который необходимо учитывать при использовании результатов исследований в условиях реального шахтного производства.

Влияние продолжительности увлажнения «мягких» углей на величину силы сцепления иллюстрируется графиком, представленным на рисунке 4.11. и данными, приведенными в таблице 4.3.

При построении данного графика (Рисунок 4.11) использованы данные с продолжительностью увлажнения угля от 5 до 70 часов. Влажность угля во всех случаях была равна 15%.

Таблица 4.3 – Влияние фактора времени на силы сцепления угля с влажностью 15% (вода с добавками)

Продолжительность увлажнения, час.	Нормальное напряжение σ , кПа			Сила сцепления C , кПа	Угол внутреннего трения, градусы
	100	200	300		
	Предел сопротивления сдвигу τ , кПа				
	τ_1	τ_2	τ_3		
5	46,2	63,2	78,5	30,33	9,3
21	55,6	70,6	85,2	40,87	8,5
30	59,4	73	88,4	44,60	8,4
40	61,4	75,4	92,2	45,53	8,9
50	56,6	71,8	86,4	41,80	8,6
71	42,1	62,5	77,2	25,52	10,1

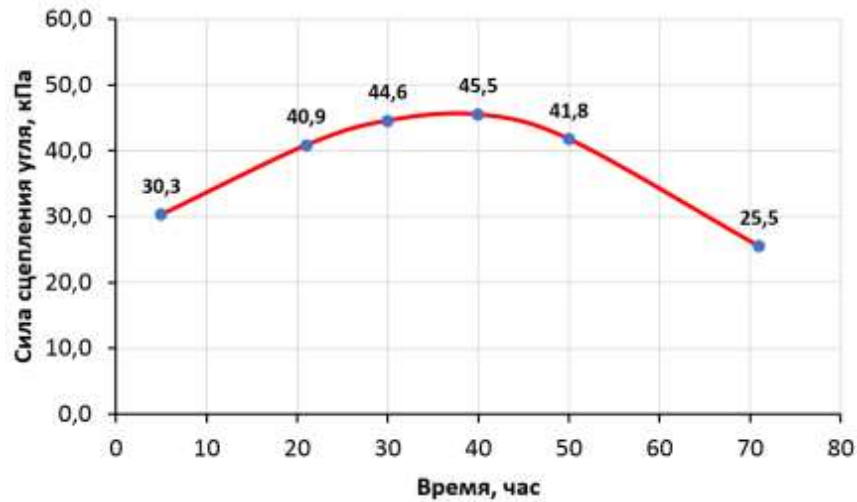


Рисунок 4.11 – Влияние продолжительности увлажнения на силу сцепления угля с влажностью 15%

Из графика следует, что наиболее высокие значения сцепления угля (от 40–45 кПа) наблюдаются при продолжительности его увлажнения от 30 до 45 часов. При этом вначале при увеличении продолжительности увлажнения угля от 5 до 20 часов силы сцепления возрастают. При продолжительности увлажнения более 50 часов наблюдается существенное снижение сил сцепления. Так при продолжительности увлажнения равной 70 часов сила сцепления равна 25,5 кПа, что в 1,6–1,8 раза меньше величины соответствующего параметра, установленной при продолжительности увлажнения 30–45 часов [18].

Параболический характер зависимости между исследуемыми параметрами связан, по-видимому, с процессом испарения воды, что изменяет влажность угля и, как следствие этого, силы сцепления угля. Следует отметить, что аналогичный характер зависимости наблюдается между продолжительностью увлажнения угля и пределом его прочности на одноосное сжатие [18].

Определение предела прочности на одноосное сжатие угля влажностью 15 %

Эксперименты по определению предела прочности на одноосное сжатие образцов увлажненного «мягкого» угля проведены с использованием испытательной универсальной машины MTS Insight в Санкт-Петербургском горном университете (Рисунок 4.12 а). Уголь для экспериментов имел влажность 15%. Образцы изготовливались и уплотнялись в пластиковых трубках диаметром

46 мм, длиной 100 мм, Изготовлены образцы с интервалом равным 10 часам, по 2 пробы в каждой партии. Всего было изготовлено 12 проб угля (Рисунок 4.12 б).



Рисунок 4.12 – Испытательная машина и пробы угля влажностью 15%

а – машина испытательная универсальная MTS Insight; б – образцы угля влажностью 15%.

Результаты эксперимента, представленные в таблице 4.4 и на рисунке 4.13, показывают, что прочность угля на сжатие достигала наибольшего значения (от 156÷168,7 кПа) при продолжительности увлажнения 30÷50 часов, а затем снижалась до 108,5 кПа при продолжительности увлажнения 60 часов. Результаты испытаний прочности на сжатие во времени также согласуются с результатами испытаний силы сцепления. Это объясняется тем, что через 60 часов происходит существенное испарение воды, приводящее к уменьшению влажности угля.

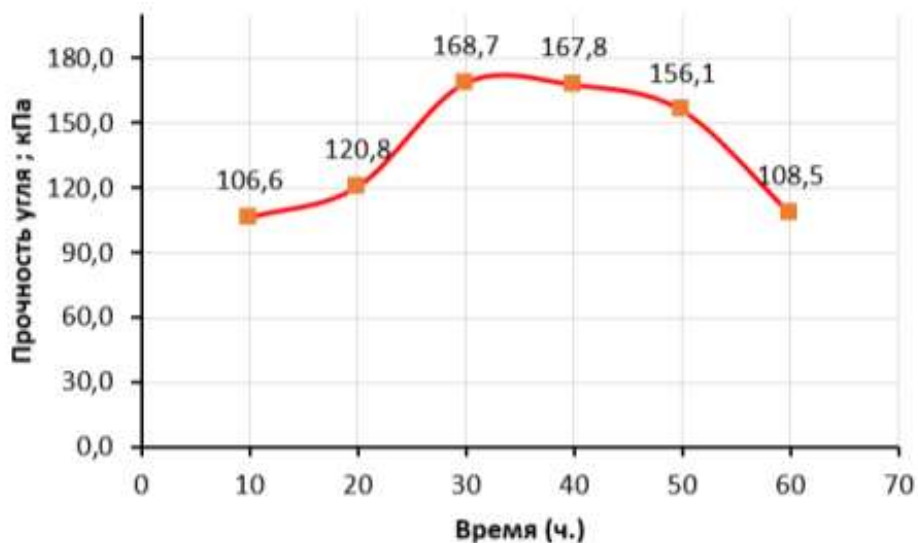


Рисунок 4.13 – Влияние времени на прочность образцов угля с влажностью 15 %

Таблица 4.4 – Результаты испытаний по определению прочности образцов угля с влажностью 15 % во времени

Образцы обрабатыва ются до (часов)	Образцы угля										Результаты			
	Номер	весы (г)	высоты (мм)	диаметры (мм)	Площади (см ²)	Объемы (см ³)	Насыпная плотность угля (г/см ³)	Разрушающая нагрузка (N)	Средняя прочность (кПа)					
60	1-1	212,7	94,1	46,19	16,8	157,7	1,35	1,35	108,5					
	1-2	212,4	94,2	46,20	16,8	157,9	1,51	1,35						
50	2-1	221,1	94,7	46,60	17,1	161,5	1,43	1,37	156,1					
	2-2	234,4	95,2	46,80	17,2	163,8	1,39	1,43						
40	3-1	226,6	95,45	46,45	16,9	161,7	1,43	1,40	167,8					
	3-2	227	95,6	46,45	16,9	162,0	1,40	1,40						
30	4-1	223,2	92,04	46,85	17,2	158,7	1,44	1,41	168,7					
	4-2	180,4	94,9	45,70	16,4	155,7	1,46	1,16						
20	5-1	202,7	94,5	46,20	16,8	158,4	1,34	1,28	120,8					
	5-2	205,5	94,3	46,10	16,7	157,4	1,31	1,31						
10	6-1	228	95,7	46,80	17,2	164,6	1,36	1,38	106,6					
	6-2	202,2	95,6	46,35	16,9	161,3	1,25	1,25						

4.2. Методика исследования влияния степени увлажнения угля впереди забоя лавы на устойчивость на его устойчивость.

Описание модели, использованной при моделировании

В данном исследовании, направленном на выявление и изучение влияния влажности угольного массива на его прочность и сыпучесть (Рисунок 4.14), в модели представлен один испытательный участок на одном пласте. На модели имитировалась технология ведения очистных работ с выпуском угля подкровельной толщи (Рисунок 4.15).

Модель имеет прямоугольную форму, ширина модели 39 см, высота – 680 мм [52].

В модели различаются три зоны: первая зона – бункер, вторая зона – рабочая зона и третья зона – накопитель. Бункер и рабочую зону разделяют стальные пластины, которые закреплены резьбовыми шпильками М4 с гайками и шайбами [52]. Эти элементы используются для постепенного и контролируемого увеличения площади обнажения. Кроме того, в рабочей зоне присутствует еще одна пластина, которая отделяет ее от бункера.

Масштаб моделирования 1:40. Исходные параметры модели приведены в таблице 4.5.

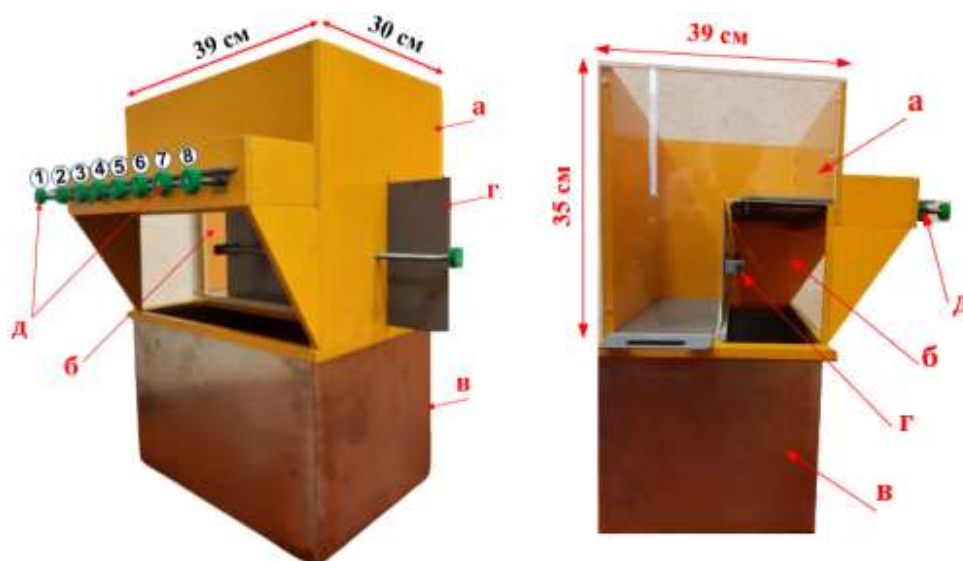


Рисунок 4.14 – Общий вид модели: а – бункер; б – рабочая зона; в – накопитель; г – заслонки у забоя лавы; д – заслонка у кровли

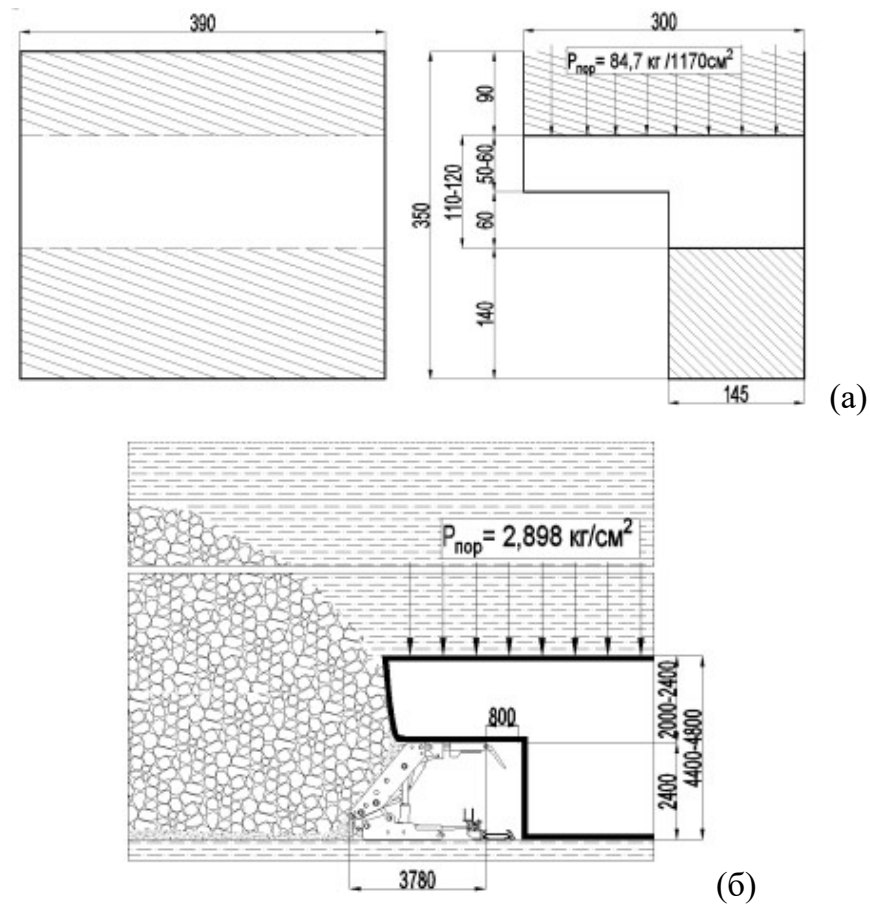


Рисунок 4.15 – Система разработки с выпуском угля подкровельной толщи
 а – размеры рабочей зоны модели; б – разрез лавы пласта 14.5 (шахта «Хечам»)

Образцы угля размельчали перед прохождением через сито 0,2 мм в соответствии с ГОСТ 10742–71 с помощью барабанной шаровой мельницы (Рисунок 4.17). Затем определялась влажность «дробленого» угля по ГОСТ 8858–93 «Углебурые, каменные и антрациты ...». Начальная влажность угля составляла 1,1%.

Испытание модели начиналось с фиксации влажности образцов. Для первого измерения использовались высушенные образцы угля, а затем образцы с влажностью 5%, 7%, 10%, 15%, 20% и 25% поочередно.

Таблица 4.5 – Исходные параметры модели

Показатели	Обозначение	Единица	Количество	Фактически
Масштаб модели (к размеру)	–	–	1/40	–
Средняя плотность породы	$\gamma_{\text{пор}}$	г/см ³	2,64	2,64
Средняя прочность угля	$\gamma_{\text{угол}}$	г/см ³	1,31	1,31
Исходная угольная масса		кг	11,14	11,14
Горное давление	$P_{\text{пор}}$	кг/см ²	2,898	2,898
Площадь для передачи горного давления	$S_{\text{мод}}$	см ²	1170	46.800
Давление на модель	$P_{\text{мод.}} = \frac{P_{\text{пор}} \cdot S_{\text{мод}}}{40}$	кг/ $S_{\text{мод}}$	84,7	–
Шаг передвижки заслонки у забоя лавы	–	см	5	200
Ширина модели	B	см	30	1200
Длина модели (лавы)	L	см	39	1500
Шаг передвижки заслонки у кровли	–	см	2	80
Мощность подсечного слоя	$m_{\text{п.с}}$	см	6	240
Мощность подкровельного слоя	$m_{\text{в.с}}$	см	5	200

А)



Б)



В)

Рисунок 4.16 – Дробление угля с использованием барабанной шаровой мельницы: А – барабанная шаровая мельница; Б – уголь до дробления; В – уголь после дробления

Влажность угля после добавления воды, вычислялась с использованием по формул 4.1 - 4.2:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 100, \% \quad (4.1)$$

$$m_1 = \frac{m_2 \times 100}{100 - w}, \text{ кг} \quad (4.2)$$

где W – влажность угля после добавления воды,

m_1 – исходная масса угля имеет влажность 1,1% (11,14 кг);

m_2 – масса угля после добавления воды, кг.

Таблица 4.6 - Зависимость угольной массы от влажности угля

Показатели	Единица измерения	Влажности угля, %						
		1,1 (Начальная влажность угля)	5	7	10	15	20	25
Влажность угля	%							
Угольная масса после увлажнения	кг	11,14	11,59	11,98	12,38	13,11	13,93	14,85
Масса воды в угле	Литр	0	0,45	0,84	1,24	1,97	2,79	3,71

Проведение эксперимента на рисунках 4.17. и 4.18.

Порядок выполнения следующий:

Перемешивание угля. Засыпка угля в бункер и уплотнение его слоями по 5 мм до достижения плотности угля 1,31 г/см³. Затем угольный массив нагружается железными пластинами общим весом 85 кг (рисунок 4.17).



Рисунок 4.17 – Подготовка угля и загрузка модели

– Обработка модели (Рисунок 4.18).

Шаг 1: Медленное перемещение заслонки забоя лавы на 10 см. Затем перемещаются заслонки у кровли №1 и №2. Далее повторяется перемещение заслонки у забоя лавы (шагами по 10 см) до тех пор, пока заслонка у кровли (№1 – №8) не переместится на 20 см.

Шаг 2: Наблюдая по 10 минут за явлением обрушения угля из забоя и кровли лавы, перемещается заслонка у с шагом 2 см. Последующие циклы повторяются аналогично до тех пор, пока заслонка у кровли (№1 – №8) не переместится на 12 см (6 циклов).

Общее время, необходимое для выполнения каждого этапа, составляет от 25 ÷ 35 минут, при этом время на перемещение заслонки достигает 15-25 минут, а продолжительность наблюдения и фиксирования обрушений угля 10–15 минут.

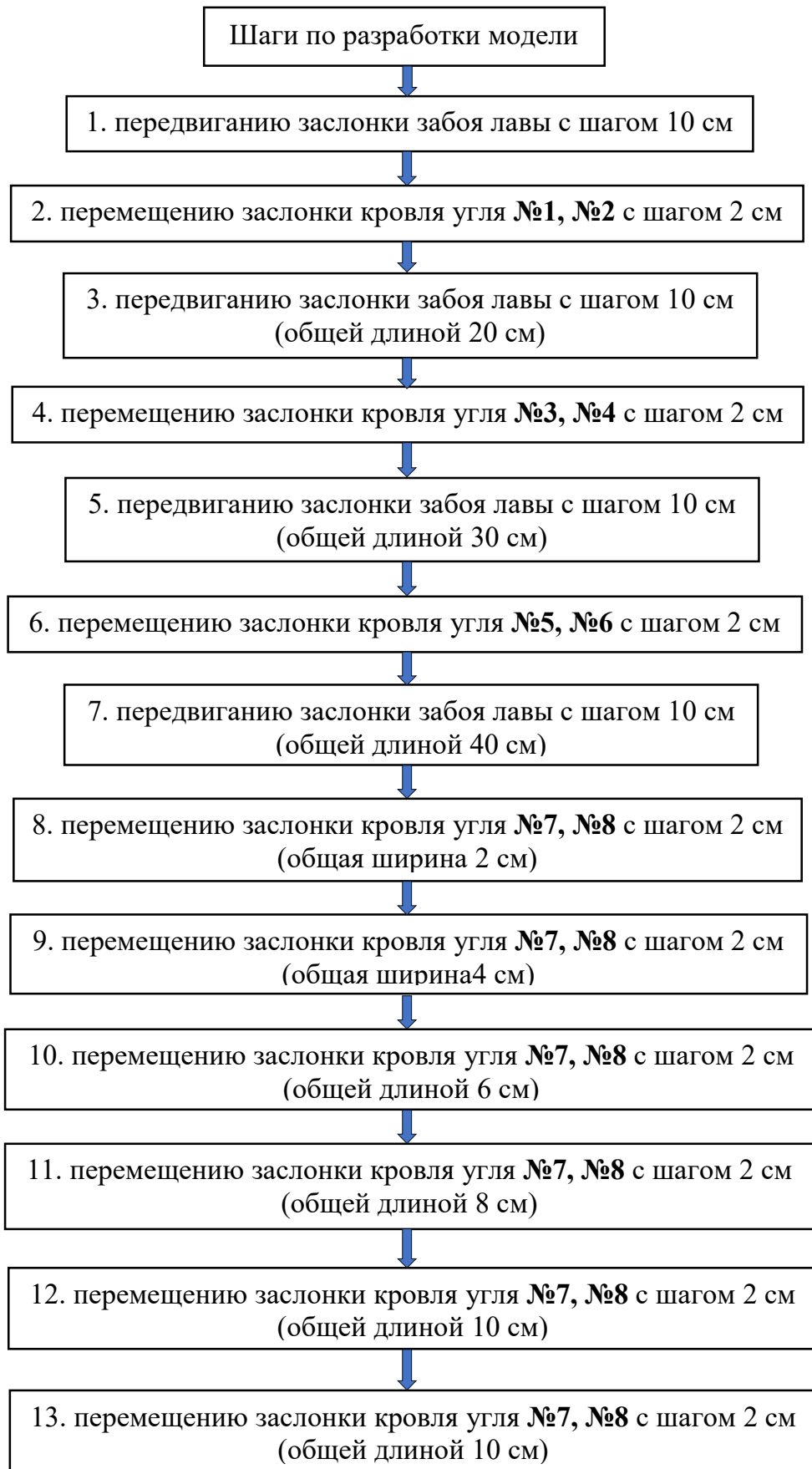


Рисунок 4.18 – Шаги по разработки модели

Лабораторные исследования влияния влажности угля на устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя

Исследования влияния влажности угля на устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя проведены на модели (Рисунок 4.14), позволяющей воспроизводить типовые ситуации, возникающие в призабойном пространстве лав на различных этапах выемочного цикла: при выемке угля комбайном, при обнажении подкровельного слоя, при передвижке механизированной крепи. Лабораторные эксперименты проведены при влажности угля от 1,1% до 25%.

Отработка модели при фиксированной влажности угля проводилась в 6 этапов. На каждом этапе воспроизводился шаг перемещения заслонки, перекрывающей кровлю, на 2 см, что соответствует в производственных условиях 0,8 м (ширина захвата комбайна).

Эксперименты показали, что при влажности угля до 7–8% забой лавы, как правило, самопроизвольно обрушается в течение короткого времени после его обнажения. Средняя длина нарушенного участка лавы при одиночном обрушении её забоя составляет 10–20 см (соответствует 5–10 м длины лавы), глубина распространения зоны разрушенного угля впереди забоя лавы примерно равна мощности подсечного слоя (2,2– 2,5м).

При увеличении влажности угля до 10–15 % в устойчивом забое лавы, не возникает обрушения угля. Однако при повышении влажности до 20–25 % происходит насыщение угля водой и под действием давления вода вытекает из забоя лавы и уголь провисает на $0,5 \div 1,7$ см. О характере и размерах обрушений угля из забоя лавы в зависимости от влажности можно судить по рисункам 4.19 и 4.20.

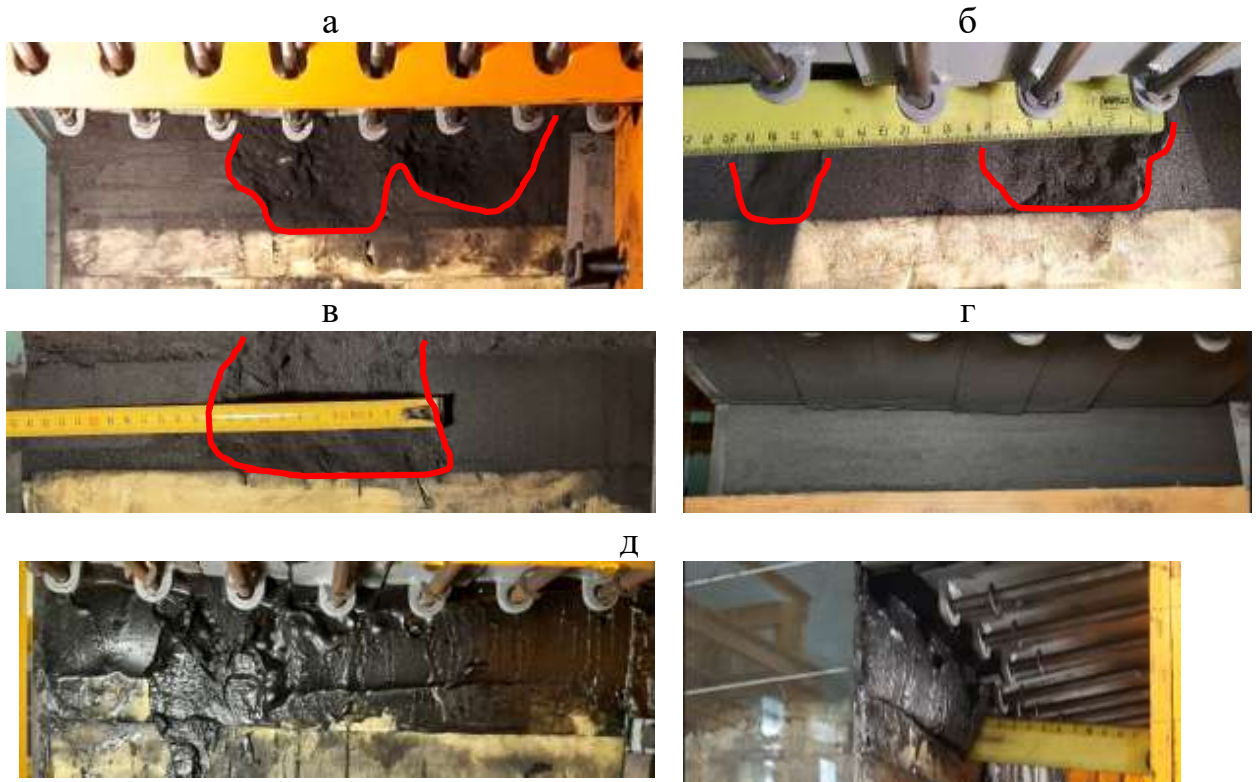


Рисунок 4.19 – Состояние забоя лавы при различной влажности угля:

а – 1,1%; б – 5%; в – 7%; г – 10 ÷ 15%; д – 25%

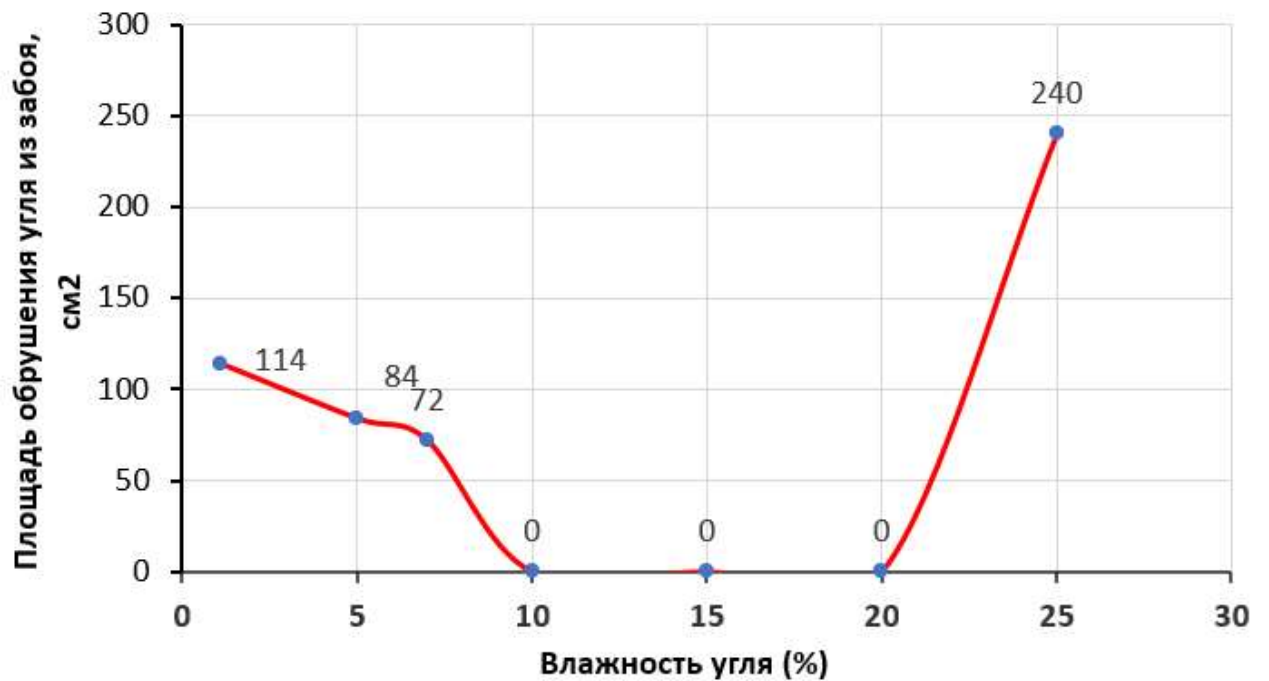


Рисунок 4.20 – Влияние влажности угля на суммарную площадь обрушений угля из забоя лавы

Из рисунка 4.20 следует, что при влажности угля 1,1 % площадь обрушения угля составляет 114 см². При увеличении влажности угля до 10-15 % площадь обрушений угля из забоя лавы снижается практически до нуля. Повышение влажности угля от 20 до 25 % приводит к увеличению суммарной площади обрушений угля из забоя лавы до 240 см².

Влияние увлажнения угля на устойчивость подкровельной пачки угля иллюстрируется графиками на рисунках 4.21, 4.22 и 4.23.

При влажности угля 1,1% (Рисунок 4.21, а). Уголь обрушается сразу после перемещения заслонки на всей длине выемки, высота обрушения увеличивается постепенно с шириной раскрытия кровли, от 2–2,5 см на первом этапе перемещения заслонки до 4–5 см на четвертом этапе перемещения заслонки.

При влажности угля 5% (Рисунок 4.21, б). Обрушение угля подкровельной пачки наблюдалось со второго этапа. Ширина зоны обрушения составляла 2 см, высота 1,8–2,3 см

При влажности угля 7% и 10% (Рисунок 4.21, в). Уголь имеет лучшее сцепление. Одиночные обрушения угля происходят слоями толщиной 0,5–1,0 см. Однако в подкровельной пачке угля зафиксированы горизонтальные трещины.

Влажность угля 15% (Рисунок 4.21, г). Отсутствуют обрушения угля из подкровельной пачки.

Влажность угля 20% и 25% (Рисунок 4.21, д). Происходит насыщение угля водой и под действием давления кровля угля проседает на 0,5 – 1,5 см и появляется стекающая вода.

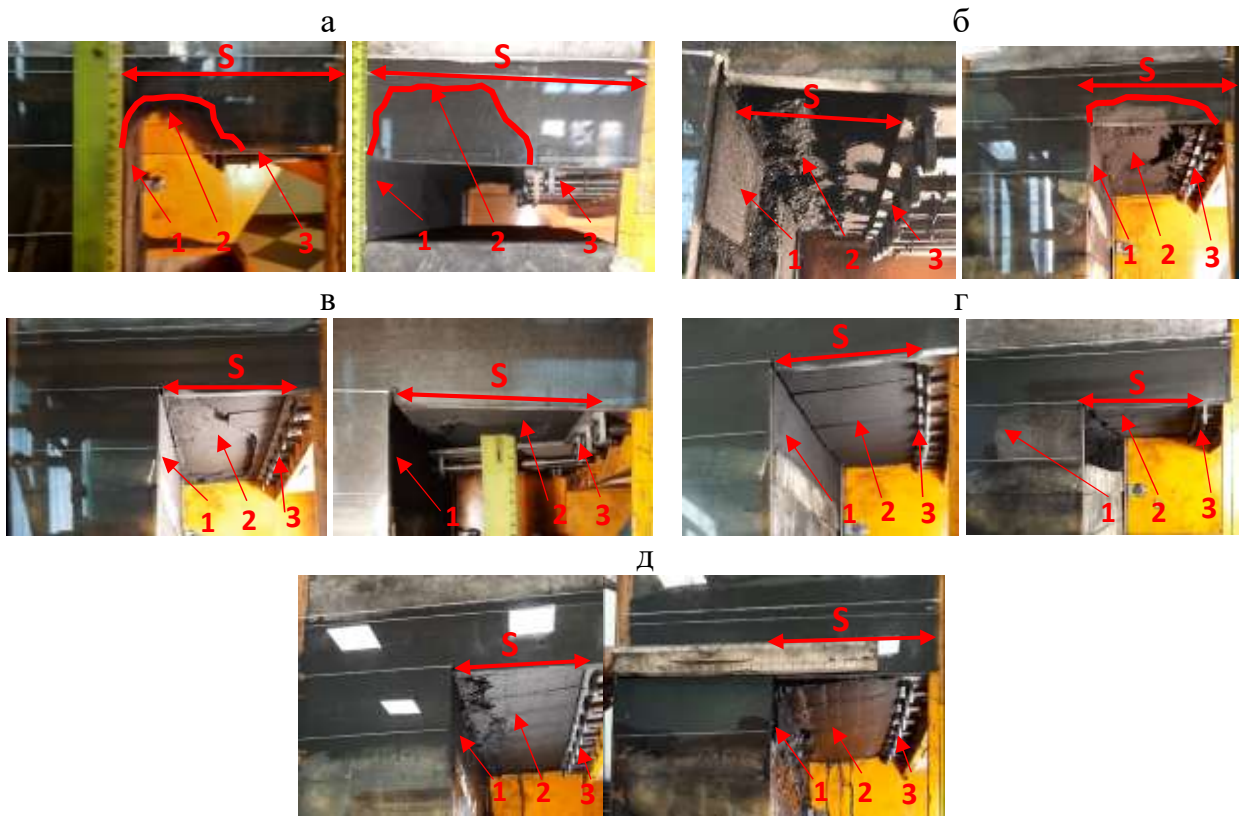


Рисунок 4.21 – Влияние влажности угля (%) на процесс деформирования и обрушения подкровельной угольной пачки

На рисунке 4.21: а – 1,1%, б – 5%, в – 7–10%; г – 15%, д – 20–25%, 1– забой лавы, 2– подкровельная угольная пачка, 3– верхняк лавной крепи.

При влажности угля 1,1% (без дополнительной воды) общая площадь и объем обрушения угля наибольшие. Подкровельная пачка обрушилась по всей длине лавы, общая площадь обрушения составила 480 см^2 (100%).

Повышение влажности угля до 10% привело к уменьшению площади обрушения подкровельной пачки до 325 см^2 . При влажности угля 15% кровля лавы находилась в устойчивом состоянии, обрушений подкровельной пачки не зафиксировано. При увеличении влажности до 20–25% уголь насыщается водой. Кровля практически полностью теряет устойчивость как несущая конструкция.

Статистические данные о площадях обрушений угля и их зависимости от влажности угля приведены в таблице 4.7, на рисунках 4.22 и 4.23. Эти результаты в качественном отношении аналогичны результатам испытаний «мягких» углей на сопротивление сдвигу: сила сцепления угля увеличилась до 24 кПа для воды

без добавок и до 29 кПа для воды с добавками при 15% влажности и постепенно снизилась до 7,87 кПа при влажности угля 25%.

Таблица 4.7 – Результаты испытания моделей с различной влажностью угля (от 1,1 до 25%)

Влажность угля (%)	Площадь обрушения угля из подкровельной пачки, см ²						Сумма
	1 этап (2см)	2 этап (4см)	3 этап (6см)	4 этап (8см)	5 этап (10см)	6 этап (12см)	
1,1 (без дополнительной воды)	100	60	80	80	80	80	480
5	26	134	10	130	50	60	410
7	26	34	60	0	90	170	380
10	20	20	165	0	120	0	325
15	0	0	0	0	0	0	0
20	0	20	80	40	0	0	140
25	80	80	80	80	0	0	320

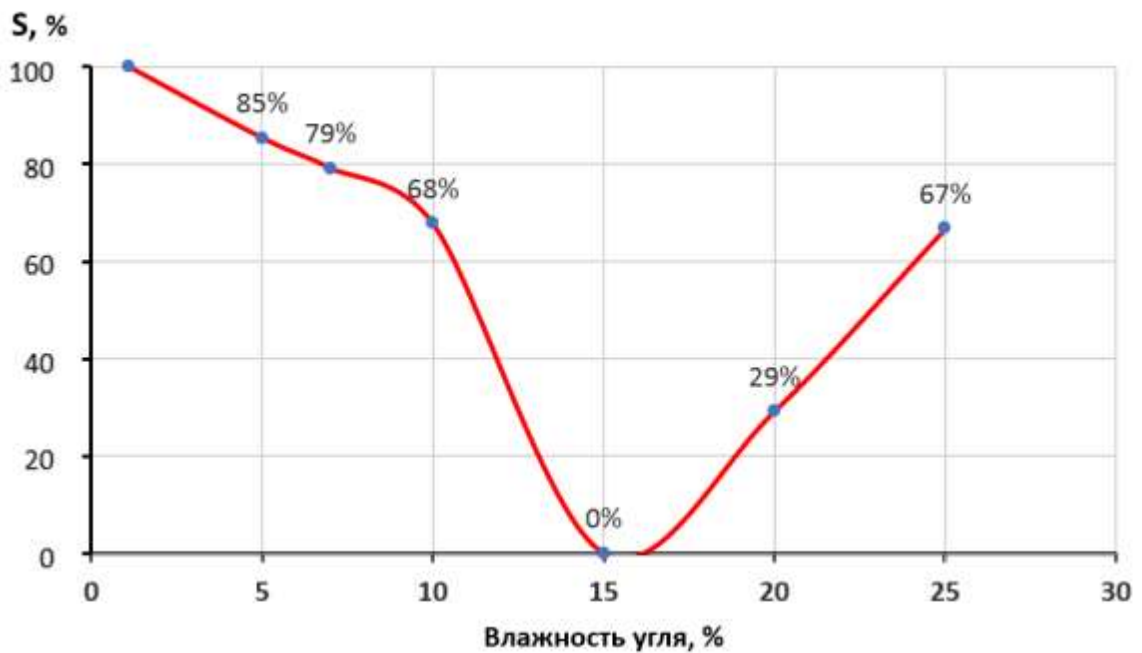


Рисунок 4.22 – Влияние влажности угля на суммарную площадь обрушения угля подкровельной пачки

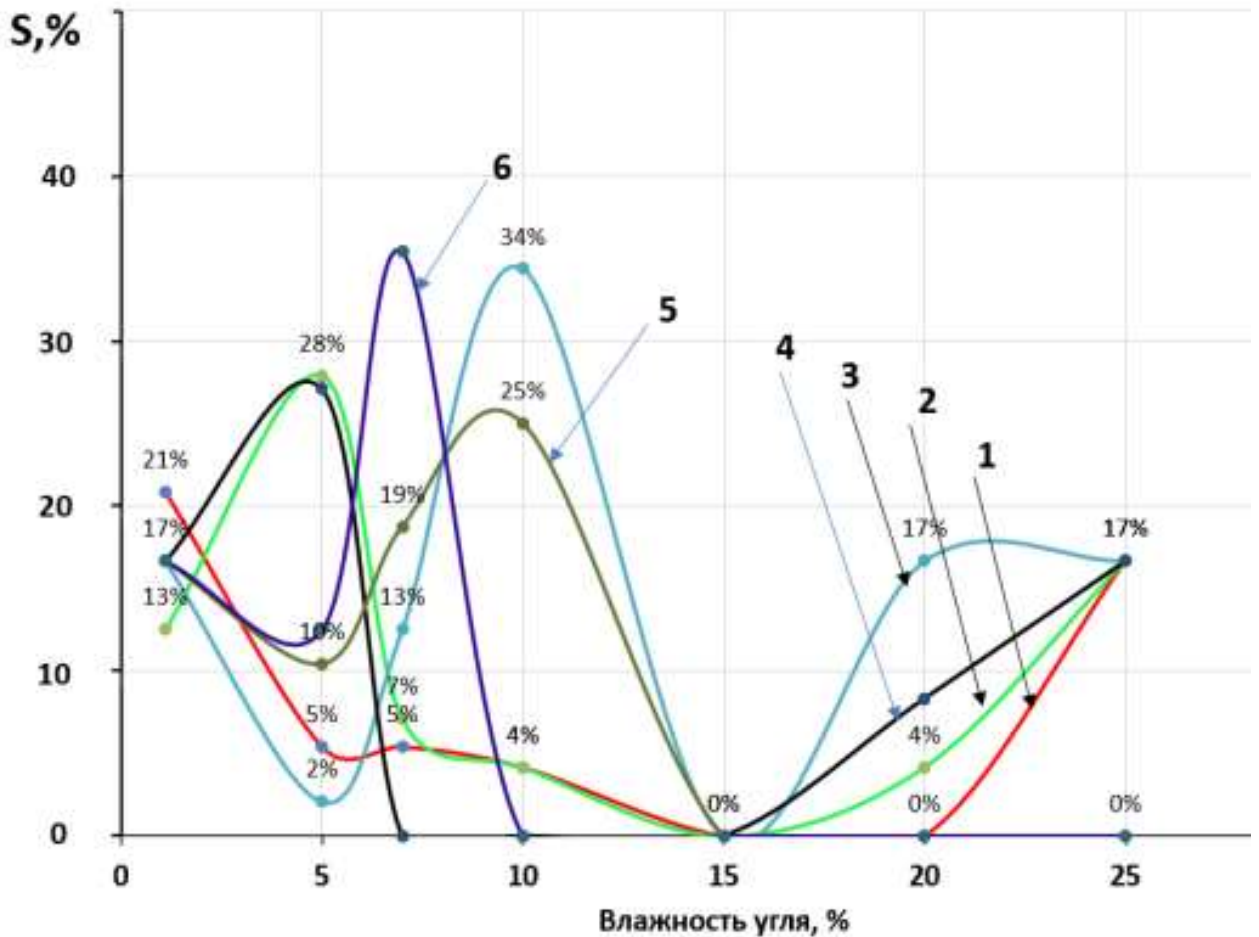


Рисунок 4.23 – Влияние влажности угля на площадь вывалов из подкровельной пачки при различном расстоянии (S) от крепи до забоя лавы: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – при S соответственно равном 0,8 м, 1,6 м, 2,4 м, 3,2 м, 4,0 м, 4,8 м

4.3 Выводы по Главе 4

В результате различных натуральных наблюдений и исследований, проведенных в лабораторных условиях, а также опытов по добыче угля на модели по влажности, установлено следующее:

1. Уголь после извлечения из пластиковой трубы находится в состоянии обломков, россыпи содержали редкие обломки угля размерами не более 20–30 мм. Эти комки угля хрупкие, легкие и составляют около 0–2% пробы угля. Минералы в угле представлены гранулами глины, кварца, карбоната и сидерита, на долю которых приходится около 15%. При наблюдении невооруженным глазом образцы угля вначале имели темно-серый цвет, оттенки чешуйчатого стекловидного блеска, угольный массив представлен большим количеством

тонких слоёв с низким коэффициентом трения между ними, низкой влажностью (0,8–1,2%) и коэффициентом сцепления.

2. Сила сцепления угля постепенно увеличивается от 1,1% влажности (без воды) до 15% влажности, затем уменьшается до 20–25% влажности (насыщенная влажность). Для воды без добавок сила сцепления угля возрастает от 2,9 кПа при влажности 1,1% до 23,9 кПа при влажности 15%, а затем уменьшается до 7,9 кПа при влажности 25%. При добавлении воды сила сцепления угля увеличивается на 23–37%, достигая наилучшего значения 29,2 кПа при влажности угля 15%, что является оптимальной влажностью угля.

Следовательно, можно заключить, что между частицами угля возникает взаимное притяжение, а наличие воды приводит к появлению водяной пленки в пространстве вокруг частиц угля. Эти пленки связываются друг с другом, образуя более крупные частицы и увеличивая силу сцепления между частицами угля. В сочетании с действием горного давления водные пленки образуют тончайшую пленку вокруг частиц угля, которые при этом приходят в наиболее тесное соприкосновение, достаточное для проявления молекулярных сил, приводящих к сцеплению частиц в массу угля.

Таким образом, толщина жидкостного слоя, обволакивающего частицы угля, напрямую влияет на расстояние между ними и силу сцепления. При увеличении влажности угля до 20–25% при насыщенной влажности это приводит к увеличению толщины водяной пленки, что в свою очередь снижает силу сцепления.

3. Сила сцепления и прочность на сжатие образца угля с влажностью 15 % со временем увеличивались и достигали наилучшего значения в период 30 ÷ 50 часов (сила сцепления от 41,8 ÷ 45,5 кПа), прочность на сжатие от 156,1 ÷ 168,7 кПа). затем постепенно снижалась. Причиной снижения прочности на сжатие и сцепления через 60 часов является испарение воды, которое изменяет влажность угля. Фактически масса угля пробы 1,7 кг через 70 часов уменьшилась до 1,66 кг.

Однако работы проводятся в лаборатории, поэтому температурно-влажностный режим гораздо ниже, чем в шахтных условиях. Относительная влажность в шахтной среде часто очень высока с конденсацией водяного пара, также известной как точка росы. Поэтому испарение воды в угольном пласте маловероятно. Таким образом, своевременная нагнетание воды в угольный пласт всегда осуществляется за 30 часов до проходками проходки подготовительных выработок и разработки.

4. При увеличении влажности угля от 1–2% до 14–16% суммарная площадь вывалов угля S (в процентах от наблюдаемой поверхности) из подкровельной пачки постоянно снижается, достигая своего минимума при влажности 14–16%. При увеличении влажности угля до 20–25% происходит насыщение угля водой, о чем свидетельствует появление воды, стекающей из подкровельной пачки в призабойное пространство лавы. При этом наблюдается существенное снижение устойчивости подкровельной пачки угля, суммарная площадь обрушений которой достигает 30–67% и более наблюдаемой поверхности кровли, а высота полостей, образовавшихся при этих обрушениях, во многих случаях равна мощности подкровельной пачки угля.

Определение оптимальной влажности угля очень важно в процессе проходки подготовительных выработок и разработки угля. При переходе влажности в стадию насыщения и сжатии пласта горным давлением происходит вытекание воды из забоя выработки и вниз по почве пласта, что влияет на время, как транспортировка, передвижка крепи и др.

Приведенные выше результаты исследований являются основой для обоснования параметров технологии подземной разработки пластов с низкими прочностными характеристиками угля для для конкретных шахтных условий. (Например, угольный пласт 15,5 шахты Хечам)

ГЛАВА 5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМЫ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ ПЛАСТОВ УГЛЯ С НИЗКИМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

5.1 Базовые положения при разработке рекомендуемых технологий

Основными положениями, с учетом которых разработаны рекомендуемые технологическая схемы отработки мощных пластов угля с низкими прочностными характеристиками, являются:

- При разработке мощных пластов угля, характеризующегося низкими прочностными характеристиками, основной причиной низких технико-экономических показателей очистных работ и повышенной их опасности являются практически непредсказуемые самопроизвольные высыпания угля из забоя лавы и обрушения подкровельной пачки в призабойное пространство.

- Предотвращение самопроизвольных высыпаний угля из забоя лавы и обрушений подкровельной пачки в призабойное пространство лав путем изменения конструкций и параметров механизированных крепей очистного забоя не позволяет получить существенных положительных эффектов. Эти мероприятия также, как и сооружение костров на перекрытиях крепи, не устраняют главной причины самопроизвольных обрушений забоя лавы и подкровельного слоя - низкой устойчивости угольных обнажений.

- Условия для снижения интенсивности обрушения «мягких» углей в призабойном пространстве лавы могут быть созданы при применении технологий, позволяющих повысить устойчивость угольных обнажений в призабойном пространстве лав. К числу таких технологий относится разработанная технология, включающая нагнетание в угольный пласт жидкость, например, на основе шахтной воды, что позволяет увеличить силы сцепления между отдельными частицами разрушенного угля и повысить устойчивость угольных обнажений в течение времени передвижки крепи.

5.2. Технологические схемы увлажнения угольного пласта

В большинстве случаев увлажнение угольного пласта производят путем нагнетания воды в угольный пласт через скважины. Вода, проникающая в угольный массив по трещинам под давлением, смачивает уголь и распространяется на значительное расстояние от скважины в радиальном направлении.

Выбор технологической схемы для нагнетания жидкости в угольный пласт зависит от системы разработки и ее параметров, порядка отработки угольных пластов и участков, а также скорости подвигания очистного забоя. Известны три основных технологических метода увлажнения угольных пластов [22, 26, 44]: нагнетание жидкости через шпуры, короткие скважины и длинные скважины.

Для каждой конкретной горно–геологической и горнотехнической ситуации необходимо выбрать наиболее подходящий метод нагнетания жидкости в угольный пласт впереди забоя лавы. Если возможности равны, предпочтительнее использовать метод нагнетания жидкости через длинные скважины.

Технологическая схема нагнетания жидкости через шпуры и короткие скважины

Шпуры и короткие скважины обычно бурятся из призабойного пространства лавы и размещаются перпендикулярно или под углом к линии забоя. Глубина шпуров – от 2 до 5 м, диаметр шпуров – 42 мм. Длина коротких скважин от 5 до 15 м и диаметр – от 42 до 50 мм.

На рисунке 5.1 показано нагнетание жидкости через шпуры или короткие скважины из очистного забоя. Обычно эта схема применяется при разработке угольных пластов тонких и средней мощности, имеющих сложную гипсометрию и тектонические нарушения, а также рассредоточенные породные включения. Увлажнение через скважины из очистного забоя, применяется в случаях, когда увлажнение через скважины, пробуренные из подготовительных выработок, невозможно по горнотехническим условиям.

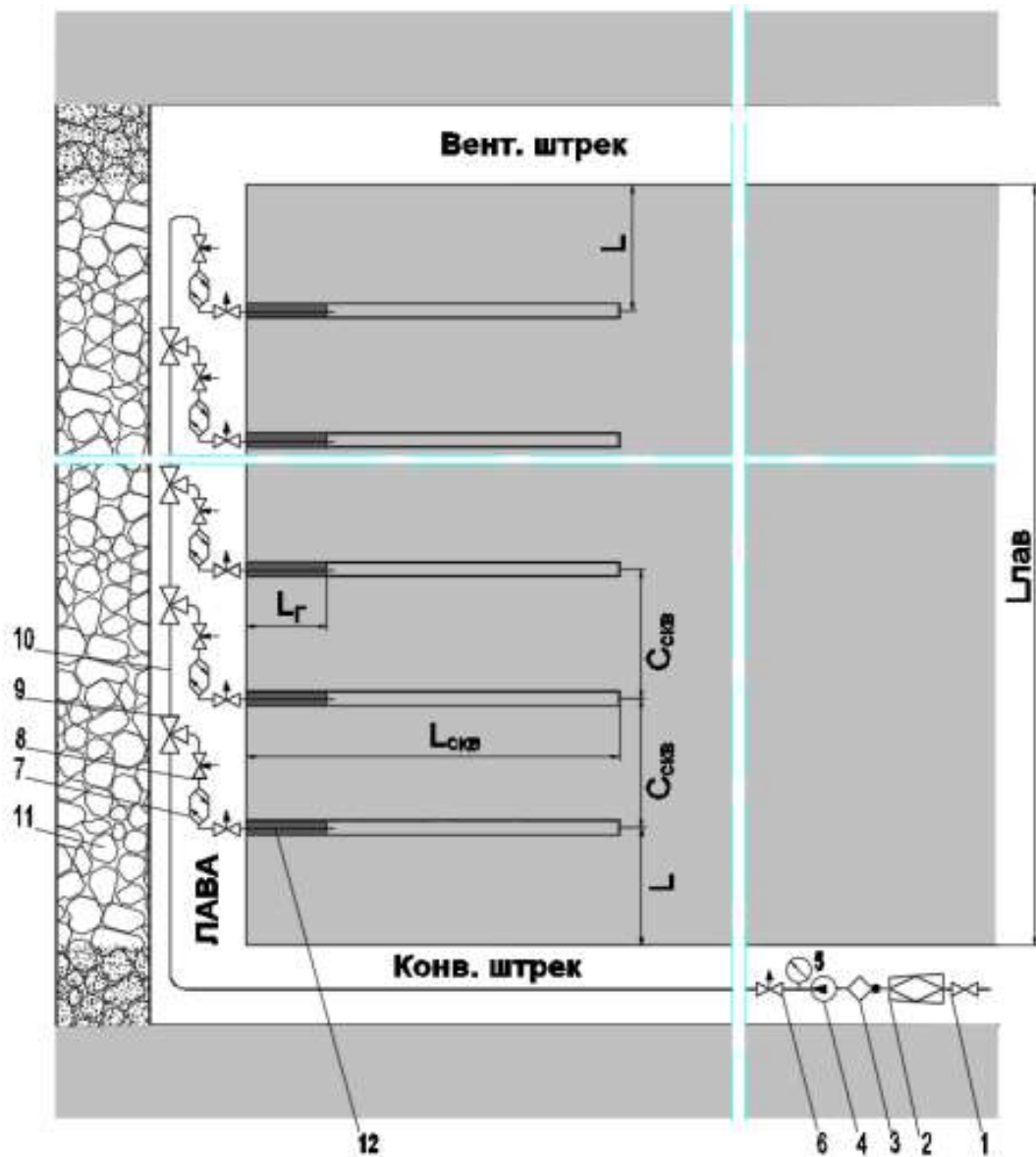


Рисунок 5.1 – Технологическая схема нагнетания жидкости в угольный массив через шпур и короткие скважины, пробуренные из очистных забоев

На рисунке 5.1: 1 – вентиль (клапан) запорный проходной; 2– фильтр штрековый; 3 – дозатор смачивателя; 4 – насосная установка; 5 – манометр; 6 – вентиль (клапан) разгрузочный; 7 – расходомер; 8 – вентиль (клапан) регулирующий проходной; 9 – вентиль (клапан) трехходовой; 10 – гибкий магистральный высоконапорный забойный водопровод; 11 – обрушенные породы; 12 – гидрозатвор; $L_{Г}$ – глубина герметизации скважины; $L_{СКВ}$ – длина скважины; $L_{ЛАВ}$ – длина лавы; $C_{СКВ}$ – расстояние между устьями скважин;

Скважины обычно располагаются в верхней половине мощности пласта, бурят их под углом к кровле. Расстояние между скважинами рассчитывается в зависимости от радиуса водопроницаемости угольного массива при нагнетании жидкости. Обычно это расстояние равно 5 – 10 м. В связи с тем, что скважины для нагнетания жидкости расположены в зоне разгрузки от опорного давления, характеризующейся высокой проницаемостью угольного массива, при нагнетании жидкости в угольные пласты не требуется высокое давление жидкости.

Преимущество этой схемы заключается в повышении устойчивости угольных массивов в непосредственной близости от забоя лавы. Скважины имеют небольшую длину, поэтому бурение и нагнетание жидкости выполняются быстро и просто. Однако недостатком этого решения является необходимость бурения и нагнетания жидкости в больших объемах, что приводит к простоям лав и потерям добычи. Кроме того, в процессе нагнетания жидкости в пласт легко вызвать «вздутие» забоя или поступление жидкости в почву пласта, что снижает ее устойчивость.

Технологическая схема нагнетания жидкости через длинные скважины

Увлажнение угольного массива методом нагнетания жидкости в угольный пласт через длинные скважины может осуществляться через скважины, пробуренные из участковых подготовительных выработок, а также выработок, пройденных по смежному угольному пласту или вмещающим породам (региональное увлажнение) [44].

При применении сплошной, длинными столбами или слоевых систем разработки рекомендуется принимать скважины диаметром – от 45 до 160 мм, пробуренные из подготовительных выработок за зоной опорного горного давления параллельно плоскости забоя лавы (Рисунок 5.2).

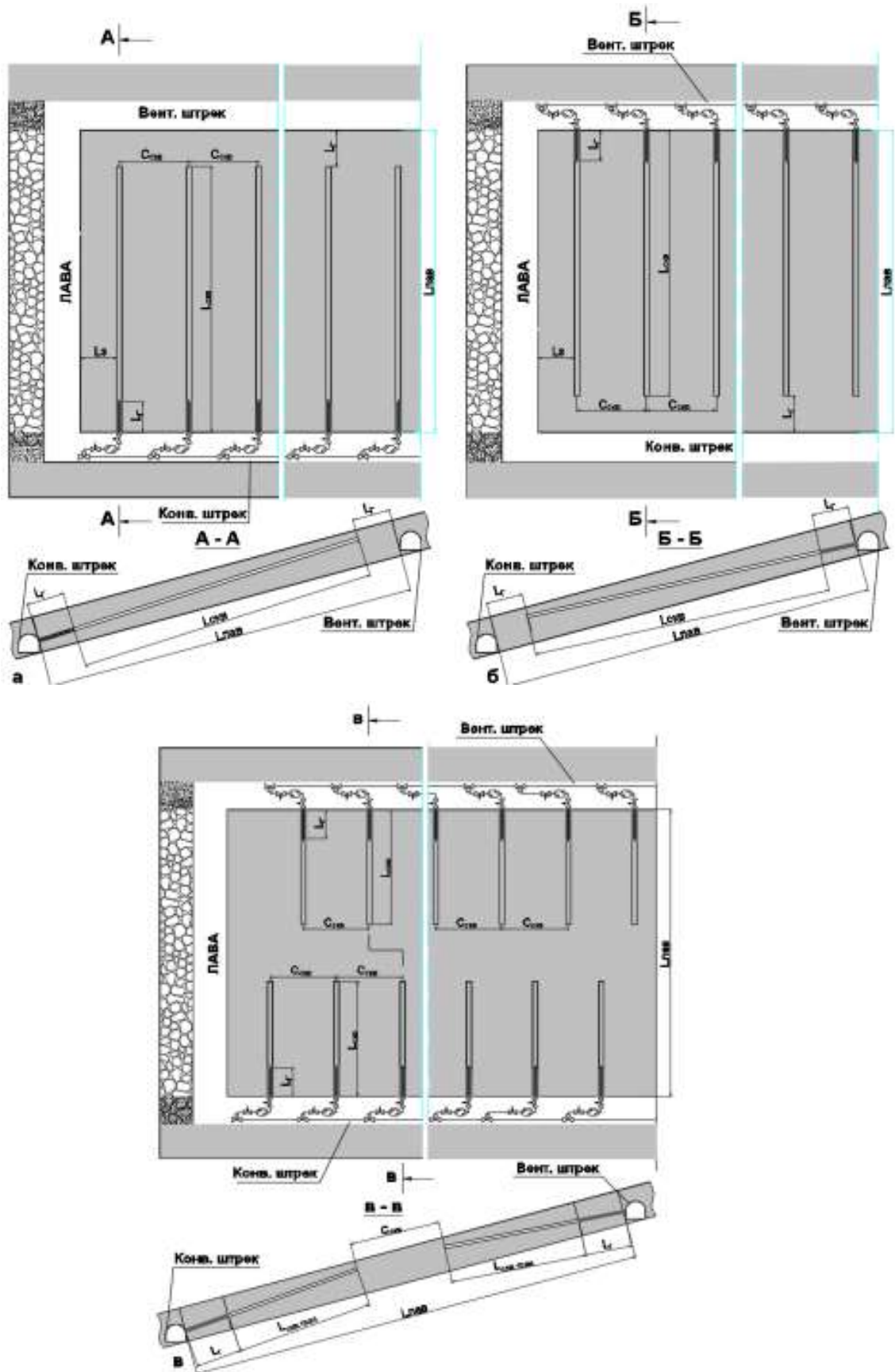


Рисунок 5.2 – Технологическая схема нагнетания жидкости в угольный пласт впереди забоя лавы из подготовительных горных выработок через длинные скважины

На рисунке 5.2: а – бурение скважин с конвейерного штрека; б – бурение скважин с вентиляционного штрека; в – бурение скважин с вентиляционного и конвейерного штрека

Способ нагнетания воды в угольный массив через длинные скважины часто применяют для увлажнения мощных угольных пластов.

На рисунке 5.2 приведена схема с нагнетанием жидкости через длинные скважины (более 15 м). Расстояние между скважинами ($C_{скв}$) по длине подготовительных выработок рассчитывается в зависимости от эффективного радиуса водопроницаемости ($R_{рад.увл}$) при нагнетании жидкости. Расстояние от очистного забоя до ближайшей скважины (L_3) рассчитывается в зависимости от суммарного времени бурения скважины и нагнетания жидкости, а также скорости подвигания очистного забоя. К моменту подхода лавы к скважине угольный массив должен иметь наиболее устойчивое сцепления. Общим преимуществом технологических схем, представленных на рисунке 5.2, является простота реализации с учетом изменений скорости подвигания очистного забоя.

Согласно нормативным документам и инструкциям по борьбе с пылью методом предварительного увлажнения угольных пластов схема нагнетания воды в угольный пласт через скважины, пробуренные из одной подготовительной горной выработки (Рисунок 5.2 а, б), может применяться на выемочных участках, разрабатывающих пласты с любыми углами падения при использовании систем разработки длинными столбами и слоевых систем разработки [26, 44, 137]. Общее преимущество этой схемы нагнетания воды в угольные пласты заключается в том (Рисунок 5.2 а, б), что количество скважин невелико и инфильтрация жидкости в угольный пласт, вероятно, будет более равномерной, чем при других схемах. Самым большим недостатком является большая длина скважины (почти равная длине лавы), что приводит к затруднениям при бурении.

При бурении длинных скважин из вентиляционного штрека по падению пласта обычно сложнее, чем при бурении из транспортного штрека по восстанию пласта, что связано с трудностями отводом шлама при бурении нисходящих скважин.

При нагнетании жидкости через скважины, пробуренные из двух подготовительных горных выработок (Рисунок 5.1в) уменьшается длина каждой скважины по сравнению с решением, где скважины бурят из одной подготовительной выработки. что также упрощает и ускоряет процесс бурения скважин и нагнетания жидкости. Однако недостатком этого решения является то, что количество скважин больше и они расположены в двух разных местах, что увеличивает инвестиционные затраты на буровое оборудование.

5.3 Определение параметров способа нагнетания воды в угольный массив впереди забоя лавы

Для определения радиуса увлажнения угольного массива и основных технических параметров в современной практике используют методические расчеты, приведенные в инструкциях по технике безопасности, разработанных [12].

К основным параметрам водонагнетания в угольный массив относятся: длина скважин и длина их герметизации, расстояние между скважинами, давление и расход нагнетаемой воды, продолжительность и темп нагнетания.

Определение эффективного радиуса увлажнения угольного пласта впереди забоя лавы и расстояния между скважинами

Согласно руководству по технике безопасности «Рекомендации по безопасности ведения горных работ...» [44] эффективный радиус регионального увлажнения угольного пласта, R , м, определяется по формуле 5.1 и 5.2 [45].

$$R_{\text{рад.увл}} = 17,8 \sqrt{\frac{q_{\text{нагн}} \cdot t_{\text{нагн}}}{m_{\text{уг.пл}} \cdot q_{\text{уд}} \cdot \gamma_{\text{уг}}}}, \text{ м} \quad (5.1)$$

где $q_{\text{нагн}}$ – темп нагнетания, м³/ч;

$t_{\text{нагн}}$ – время нагнетания, ч;

$m_{\text{уг.пл}}$ – мощность угольного пласта, м;

$\gamma_{\text{уг}}$ – плотности угля, т/м³;

$q_{\text{уд}}$ – удельный расход жидкости, нагнетаемой в угольный пласт, л/т;

$$q_{уд} = 10(W_{п} - W_{е}) \quad (5.2)$$

где $W_{п}$ – требуемая влажность угля, %.

$W_{е}$ – пластовая влага угля, %;

Скважины рекомендуется бурить так, чтобы расстояние по пласту между фильтрующей частью скважины и выработанным пространством превышало $R_{эф.увл.}$. Расстояние между устьями скважин $C_{скв}$, м, определяется по формуле 5.3:

$$C_{скв} < 1,5R_{рад,увл}, м \quad (5.3)$$

С использованием формул (5.1) – (5.3) и с учетом физико–механических свойств угольного пласта 14–5 для условий шахты «Хечам» построены диаграммы (Рисунки 5.3 и 5.4) для определения расстояния между пробуренными скважинами регионального увлажнения угольного пласта в зависимости от времени, темпа нагнетания воды и мощности пласта.

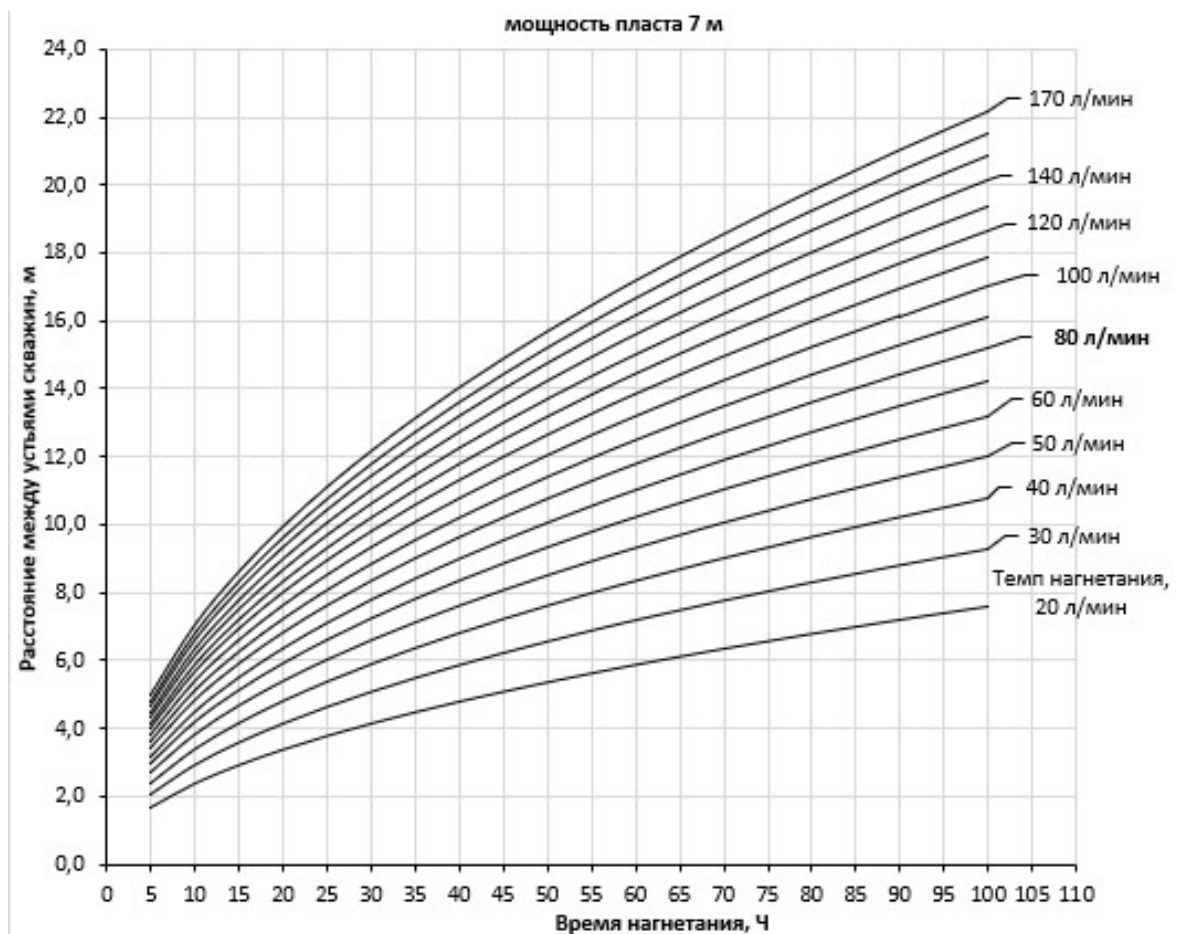


Рисунок 5.3 – Влияние времени и расхода воды при ее нагнетании нагнетании и пласт на расстояние между скважинами для пластов мощностью до 7 м

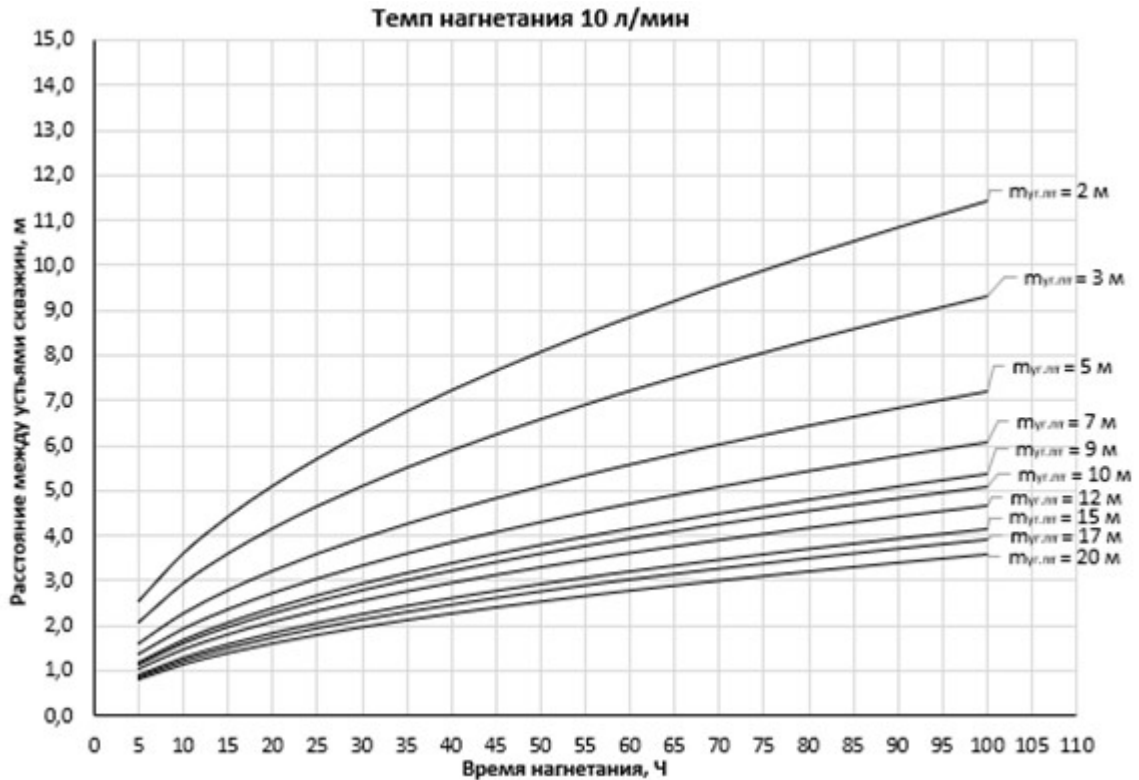


Рисунок 5.4 – Влияние времени нагнетания и мощности пласта на расстояние между скважинами при расходе воды при ее нагнетании в пласт около 10 л/мин.

Определение давления нагнетания воды в угольные пласты

В соответствии со стандартными формулами [44, 45], давление нагнетания воды в угольные пласты определяется по формуле 5.4:

$$P_{\text{наг}} = 10^{-2}(0,7 \div 0,8)\gamma_{\text{пор}}H, \text{ МПа} \quad (5.4)$$

где $\gamma_{\text{пор}}$ – средняя плотность породы кровли, т/м³;

H – глубина горных работ, м

На основе результатов исследований, приведенных в работах [14, 17, 99, 123] показано, что чем больше давление нагнетания жидкости в угольный пласт, тем больше радиус смачивания угля, но радиус смачивания быстро уменьшается после того, как время нагнетания воды достигает 10 часов.

Под действием высоконапорного нагнетания воды, трещины в угольном пласте расширяются, удельное содержание воды в угле увеличивается [111, 109, 138], что приводит к росту амплитуды влажности с давлением нагнетания воды [111]. Радиус смачиваемости угольного массива незначительно меняется во время

нагнетания воды между 20 и 40 часами, что доказывает, что распространение воды в угольном массиве достигнет предела через определенное время.

При увеличении диаметра скважины, скорость увеличения радиуса смачивания также увеличивается, но радиус смачивания изменяется незначительно при диаметре скважины от 80 до 108 мм [111].

Рисунок 5.5 показывает [127], что при увеличении давления нагнетания воды, увеличивается распространение повышенной влажности в угольном массиве в течение одинакового времени нагнетания. По сравнению с давлением нагнетания воды 7,0 МПа, когда давление нагнетания воды составляет 10,0 МПа, радиус распространения воды увеличивается с 6,0 м до 8,0 м [127, 138].

Однако при слишком высоком давлении нагнетания воды трещинная структура угля может быть сильно разрушена, что повлияет на проницаемость и миграцию потока воды в угольном массиве. Это в конечном итоге приведет к снижению эффективности увлажнения угля.

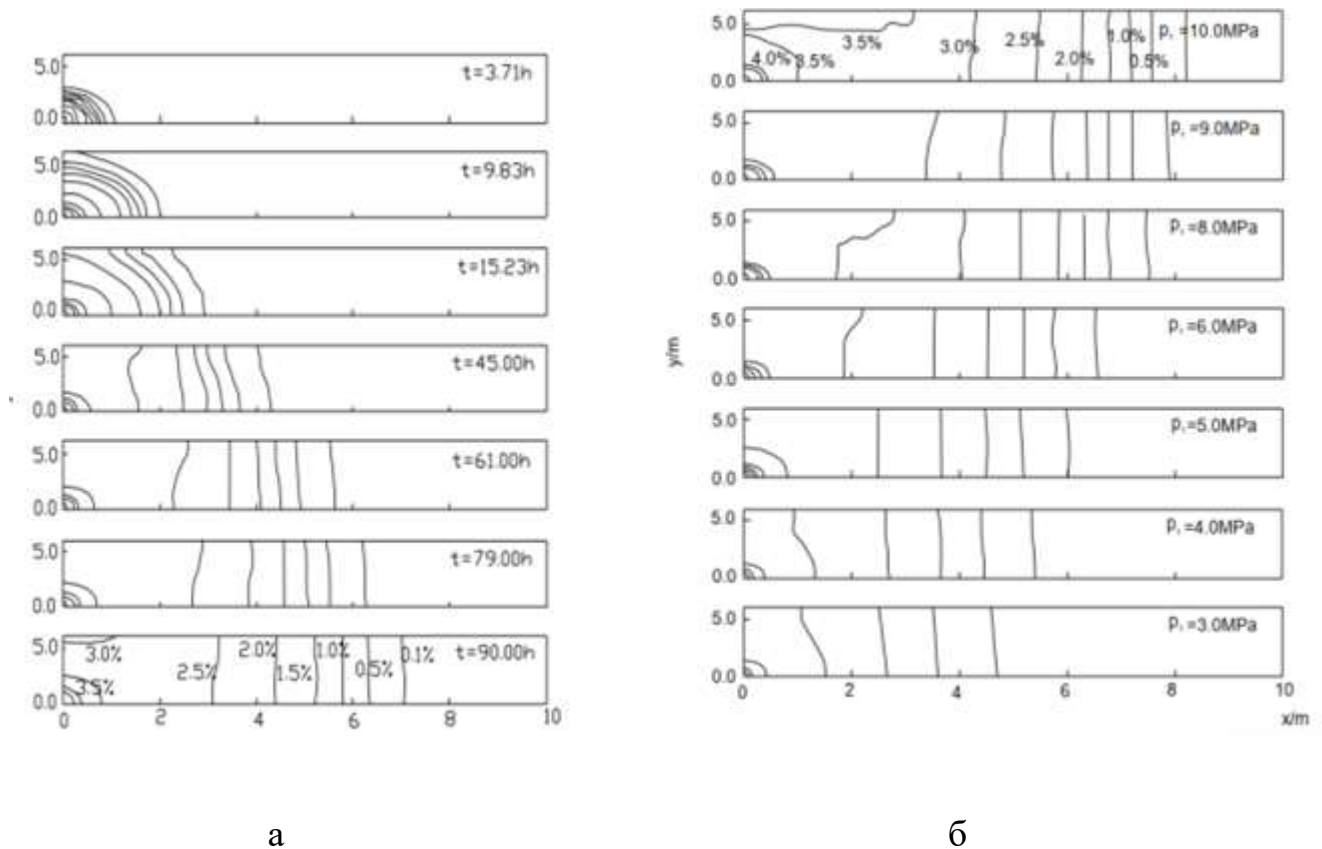


Рисунок 5.5 - Процесс осмоса жидкости в пористый угольный пласт на конечно-элементной модели [127] а: при изменении давления воды; б: при давлении воды 7 Мпа во времени.

Определение длины скважины и объем нагнетаемой в скважину воды

По стандартным формулам 5.5 - 5.7 [44] длина скважины и объем нагнетаемой в скважину воды определяются следующим образом:

– Длина скважины для нагнетания жидкости в угольный пласт:

$$L_{\text{СКВ}} = \frac{l_{\text{лав}}}{2 \cos \alpha_{\text{СКВ}}} - R_{\text{зфф.увл}}, \text{ м} \quad (5.5)$$

– Объем жидкости, нагнетаемый в одну скважину, $Q_{\text{наг}}$, м^3 :

$$Q_{\text{наг}} = 10^{-3} q_{\text{уд.}} \cdot m_{\text{уг.пл.}} \cdot (L_{\text{СКВ}} - l_{\text{Г}}) \cdot \gamma_{\text{уг}} C_{\text{СКВ}}, \text{ м}^3 \quad (5.6)$$

– Расстояние от очистного забоя до ближайшей скважины

$$L_{\text{з}} < (t_{\text{б}} + t_{\text{Г}} + t_{\text{н}} + 30)V_{\text{о}} + l_{\text{дав.оп}}, \text{ м} \quad (5.7)$$

Значение $L_{\text{з}}$ принимается не менее чем на 10 % больше зоны опорного давления.

где $L_{\text{лав}}$ – длина лавы;

T – продолжительность бурения скважины и нагнетания в нее жидкости, сут;

$V_{\text{о}}$ – средняя скорость подвигания очистного забоя, м/сут;

$L_{\text{Г}}$ – глубина герметизации скважины, м (устье скважин герметизируется на глубину не менее 10 м);

$L_{\text{дав.оп}}$ – ширина зоны опорного давления, м;

$t_{\text{б}}$ – продолжительность бурения скважины, сут;

$t_{\text{Г}}$ – продолжительность оборудования скважин, сут;

$t_{\text{н}}$ – продолжительность нагнетания жидкости в скважину, сут.

5.4 Рекомендуемая технологии увлажнения угольных пластов и ее технические параметры для условий шахты «Хечам»

К числу факторов, оказывающих влияние на интенсивность обрушений угля в призабойном пространстве лавы, относится также стадия процесса деформирования труднообрушающихся пород основной кровли в выработанном пространстве лавы верхнего слоя и скорость подвигания очистного забоя.

В работе профессора А.А. Борисова [5] в процессе деформирования основной кровли выделены две стадии: стадия деформирования и стадия осадки

(обрушения). Максимальная интенсивность рассматриваемого процесса, характеризуемая глубиной распространения зоны разрушенного угля впереди забоя лавы и высотой полостей над перекрытиями крепи, наблюдается непосредственно в стадии осадки основной кровли и последующие 5–6 выемочных циклов после полного ее обрушения.

В стадии деформирования интенсивность обрушений угля в призабойном пространстве лавы характеризуется минимальными значениями, установленными за «цикл деформирование – осадка» основной кровли. Аварийные ситуации на средних участках по длине лав наиболее вероятны через промежутки времени примерно равные продолжительности процесса деформирования основной кровли. На участках лав, длиной до 15–30 м, прилегающих к участковым выработкам, зависимости показателей интенсивности обрушений угля в лавах от стадия процесса деформирования основной кровли не установлены [18, 40].

Основным требованием к разрабатываемой технологии являлось обеспечение устойчивого состояния забоя нижней лавы и подкровельного слоя в течение выемочного цикла [18].

Сущность разработанных рекомендаций заключается в следующем. С определенным опережением забоя лавы в угольный пласт нагнетается состав (растворы) на основе шахтной воды, позволяющий увеличить силы сцепления между отдельными частицами угля, перешедшего в предельное состояние под воздействием напряжений в зоне опорного давления, и повысить тем самым устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя [18].

В зависимости от параметров системы разработки пласта и скорости подвигания лавы в условиях выемки пластов с «мягкими» углями рекомендуются технологические схемы, представленные на рисунках 5.6 и 5.7 [18].

Технологическая схема, представленная на рисунке 5.6, предназначена для использования при отработке пластов угля механизированными комплексами. При реализации данной схемы с определенным опережением забоя лавы в угольный пласт через скважины 7 и 8 нагнетается шахтная вода (растворы на основе шахтной воды). Скважины пробуривают под углом $\beta=12-17^{\circ}$ к линии

очистного забоя. Длину скважин принимают из условия обеспечения увлажнения угольного пласта по всей площади обрабатываемого выемочного столба [18].

На рисунке 5.6 и 5.7 красными линиями заштрихованы участки выемочного столба с повышенным разрушением угля и максимальной вероятностью самопроизвольных обрушений забоя лавы и подкровельного слоя. Эти участки находятся под трещинами разлома 5, возникающими в основной кровле при ее осадках. Ширина участков (m) примерно равна $2-2,5 h_1$, при этом $x_1 \approx h_1$, $x_2 \approx 1,5 h_1$ [18, 40].

При подходе лав к данным участкам очистные работы рекомендуется вести с максимально возможной скоростью подвигания лавы. Не исключается необходимость проведения на рассматриваемых участках дополнительных мероприятий по повышению устойчивости угольных обнажений [18].

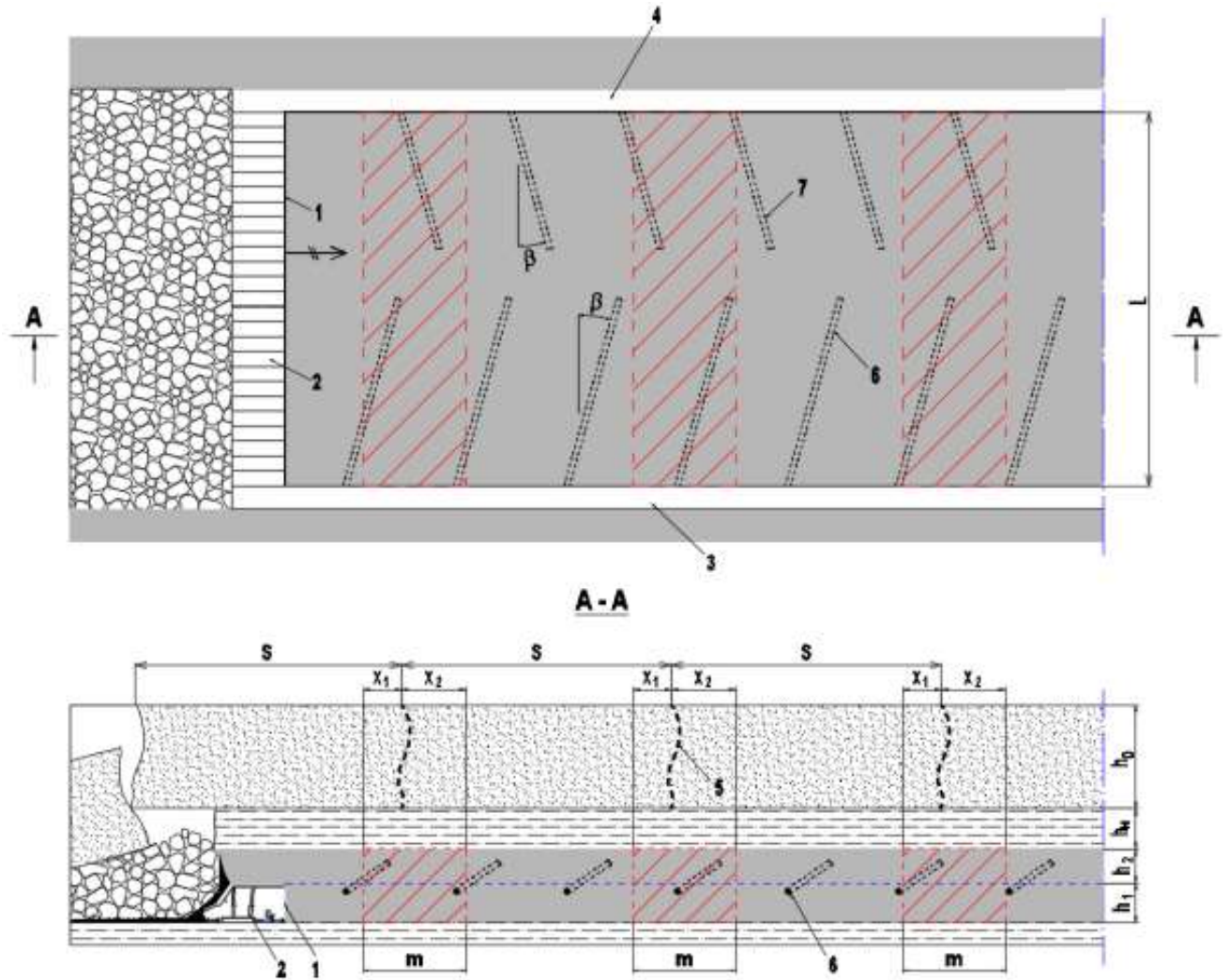


Рисунок 5.6 – Технологическая схема отработки пласта угля с низкими прочностными характеристиками (вариант 1)

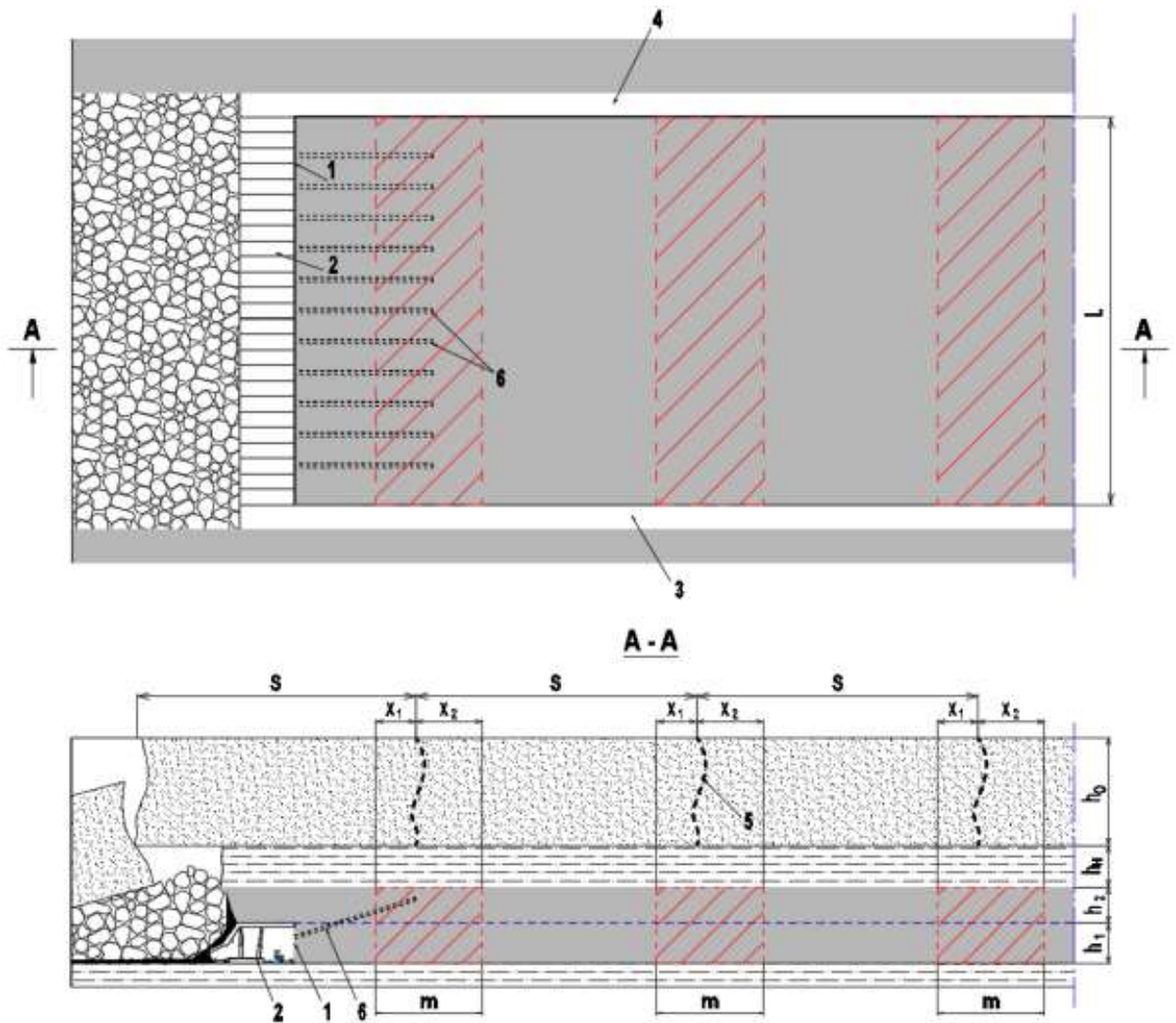


Рисунок 5.7 – Технологическая схема отработки пласта угля с низкими прочностными характеристиками (вариант 2)

На рисунках 5.6 и 5.7: 1 – забой лавы; 2 – механизированная крепь; 3, 4 – транспортный и вентиляционный штреки; 5 – трещины в основной кровле; 6, 7 – скважины; L – длина лавы; S – установившийся шаг обрушения основной кровли; h_1 , h_2 , h_n и h_0 – соответственно мощность подсечного слоя, подкровельной пачки, непосредственной кровли и основной кровли;

Основными параметрами рекомендуемых схем (Рисунки 5.6 и 5.7), от правильности определения которых зависит их техническая и экономическая эффективность [18], являются :

– содержание воды (%) в разрушенном угле, обеспечивающее наибольшее сцепление отдельных частиц угля;

- расстояние между скважинами;
- величина угла β между осями скважин и линией очистного забоя.

Анализ результатов выполненных исследований с учетом данных, приведенных в работах [68, 137], позволяет сделать следующие выводы относительно качественных и количественных параметров технологических схем (Рисунки 5.6 и 5.7), рекомендуемых для использования на шахтах угольного бассейна Куангнин, отрабатывающих пласты с «мягкими» углями [18].

При использовании технологических схем, представленных на рисунках 5.6 и 5.7, для увлажнения пласта рекомендуется использовать шахтную воду, нагнетание которой в пласт может быть произведено через скважины диаметром 45–100 мм, пробуренными в подкровельный слой пласта. Величину угла β между осями скважин и линией очистного забоя (Рисунок 5.6) рекомендуется применять равной 15° [18].

5.5 Оценка технико–экономических целесообразности применения рекомендованной технологии в условиях шахты «Хечам»

Исходные данные и результаты опытно-промышленной проверки рекомендуемой технологии

На основании результатов лабораторных исследований, представленных в главе 3 диссертации, рекомендована технология увлажнения угольных пластов для повышения его устойчивости при отработке угольных пластов с низкими прочностными характеристиками. Участок экспериментального применения находится в лаве 14–5.16 угольного пласта 14–5 шахты Хечам, угольный бассейн Куангнин (Вьетнам) [112].

Система разработки - длинными столбами с выемкой лавами по простиранию пласта с выпуском угля подкровельной пачки на завальный конвейер. Выемка угля в очистных забоях производится очистным комбайном MG–150/375–WD с механизированной крепью типа ZFY–5000/16/28 (Рисунок 1.15). Управление кровли – полным обрушением.

Исходные данные для расчетов.

– глубина залегания пласта	- 295–347 м;
– угол падения пласта	- 15–18 градусов;
– мощность пласта	- 4,2–10,3 м, средняя 7,0 м;
+ мощность подсечного слоя	- 2,5 м;
+ мощность подкровельной пачка	- 4,5 м;
– ширина захвата комбайна составляет	- 0,63 м
– длина лавы по падению	- 148 м;
– плотность угля	- 1,3 т/м ³ ;
– средняя плотность породы кровли	- 2,7 т/м ³ .

С учетом геологических условий, технических параметров лавы 14–5.16 угольного пласта 14–5 шахты «Хечам», расчетных формул (5.1)–(5.7), эффективного радиуса увлажнения $R_{\text{рад.увл}} = 10,8$ м, расстояния между скважинами $C_{\text{скв}} = 16$ м, длины скважин 50–85 м, давления нагнетания воды $P_{\text{унаг}} = 6–10$ МПа, темпа нагнетания- 90 л/мин выполнены расчеты параметров нагнетания воды в угольный пласт, результаты которых представлены в таблице 5.1.

Следует подчеркнуть, что рекомендуемая технологическая схема была экспериментально реализована на шахте «Хечам» с использованием существующих разведочных буровых станков с диаметром скважин 75 мм, которые были пробурены из конвейерного и вентиляционного штреков параллельно линии забоя лавы. Расстояние между скважинами ($C_{\text{скв}}$) составляло от 15 до 20 метров. Угол между осями скважин и линией очистного забоя составлял 13–18 градусов.

Таблица 5.1– Рекомендуемые параметры нагнетания шахтной воды в угольный пласт 14–5 в пласт 14–5 (шахта «Хечам»)

Параметр	Условные обозначения	Единицы измерения	Значение параметра
Средняя скорость подвигания очистного забоя	V_o	м/сут	1,89
Продолжительность бурения скважины	$t_б$	сут	0,30
Продолжительность оборудования скважин	t_r	сут	0,20
Продолжительность нагнетания жидкости в скважину	$t_{нагн}$	сут	5,00
Естественная влажность угля	W_e	%	1,3–1,5
Оптимальная влажность угля	$W_{п}$	%	14–16
Расстояние между скважинами	$C_{скв}$	м	15,6
Радиус регионального увлажнения угольного пласта	$R_{рад.увл}$	м	10,4
Длина скважины	$L_{скв}$	м	50–80
Расстояние от очистного забоя до ближайшей скважины	L_z	м	16,8
Ширина зоны разгрузки от опорного давления	$L_{дав.оп}$	м	4,5
Объем жидкости, нагнетаемой в одну скважину из транспортного штрека	$Q_{нагн}$	м ³	100–150
Удельный расход шахтной воды на 1 м ³ угля	$q_{уд}$	м ³	0,14–0,16
Темп нагнетания	$q_{нагн}$	м ³ /ч	4,80
Давление нагнетания воды	$P_{унаг}$	МПа	6–10
Глубина герметизации скважины	l_r	м	12,0

Порядок бурения скважин и нагнетания воды в угольный пласт впереди забоя лавы проводился следующим образом:

1 шаг – последовательное использование 2-х буровых станка, бурение скважин из транспортного штрека со средней длиной 80 метров и вентиляционного штрека со средней глубиной 55 метров;

2 шаг – установка обсадных полиэтиленовых труб диаметром 50 мм с отверстиями и общей глубиной до 80 метров, в первые 10–15 метров скважины

устанавливаются обсадные полиэтиленовые трубы без отверстий, которые будут фиксироваться к стенкам скважины связующей химической смесью для недопущения проникновения воды сквозь стенки скважины в горные выработки;

3 шаг – использовали растворный насос высокого давления типа WRB 200/31,5 (с номинальной подачей 200 л/мин, максимальным давлением 31,15 МПа) для осуществления нагнетания воды в скважину под давлением 8–10 МПа в течение 3–4 смен. Затем скважина была подключена к противопожарно-оросительному трубопроводу с давлением 4–6 МПа, чтобы продолжить нагнетание воды в угольный пласт. Длительность нагнетания составляла около 7–8 суток для скважин в транспортном штреке и 4–6 суток для скважин в вентиляционном штреке.

Технические характеристики гидравлического бурового станка приведены на рисунке 5.8 и в таблице 5.2.

Технологическая схема и технические параметры скважин нагнетания воды в угольный пласт, которая была экспериментально применена в лаве 14–5.16, представлена на рисунке 5.9 и в таблице 5.3.

Таблица 5.2 – Технические характеристики гидравлического бурового станка

Параметры	Единица	Количество	
Диапазон глубин при бурении	м	200	120
Диаметр скважины	мм	75	75
Диаметр буровой штанги	мм	42 ÷ 50	51
Угол наклона скважин	градусов	0 ÷ ±90	0 ÷ 90
Скорость вращения	об/мин	80 ÷ 280	116 ÷ 280
Максимальный крутящий момент	Нм	1200	850
Осевое усилие	кН	36	50
Вес станка в полной комплектации	кг	750	600
Размеры:			
– Длина	м	1,85	2292
– ширина		0,71	0,6
– высота		1,46	0,665

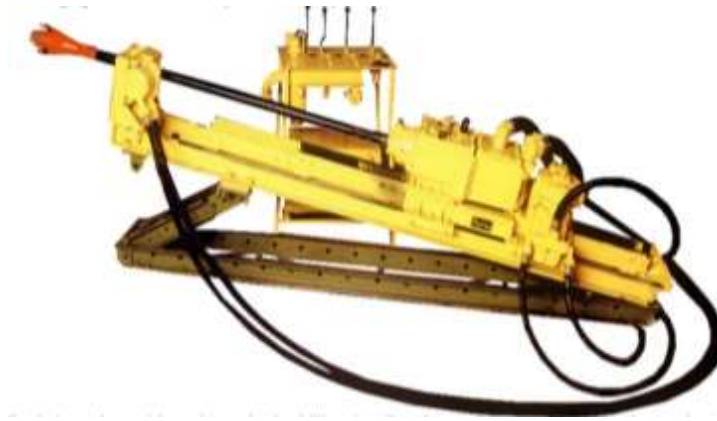


Рисунок 5.8 – Гидравлический буровой станок типа WDP-1C

Таблица 5.3 – Технические параметры скважин для нагнетания воды в угольный пласт

Параметры	Скважины бурятся из конвейерной штрека					Скважины бурятся из вентиляционного штрека				
	№7.1	№7.2	№7.3	№7.4	№7.5	№8.1	№8.2	№8.3	№8.4	№8.5
Время бурения скважин, час	35	27	30	35	28	21	20	24	20	21
Глубина скважины, м	81	65	82	84	71	55	47	58	45	56
Угол наклона скважины, градусов	15	13	16	17	12	16	15	17	12	16
Расстояние между устьями скважин, м	20	16	17	15	–	16	20	17	16	–
Давление нагнетания воды воды, Мпа	6–10	6–10	6–10	6–10	6–10	6–10	6–10	6–10	6–10	6–10
Темп нагнетания, м ³ /ч	5–8	5–8	5–8	5–8	5–8	5–8	5–8	5–8	5–8	5–8
Объем воды, нагнетаемый в скважину, м ³	1.498	1.151	1.520	1.564	1.281	934	760	999	717	955
Средний расход воды на 1 м ³ угля, м ³	0,13	0,16	0,16	0,18	0,14	0,15	0,12	0,14	0,14	0,14

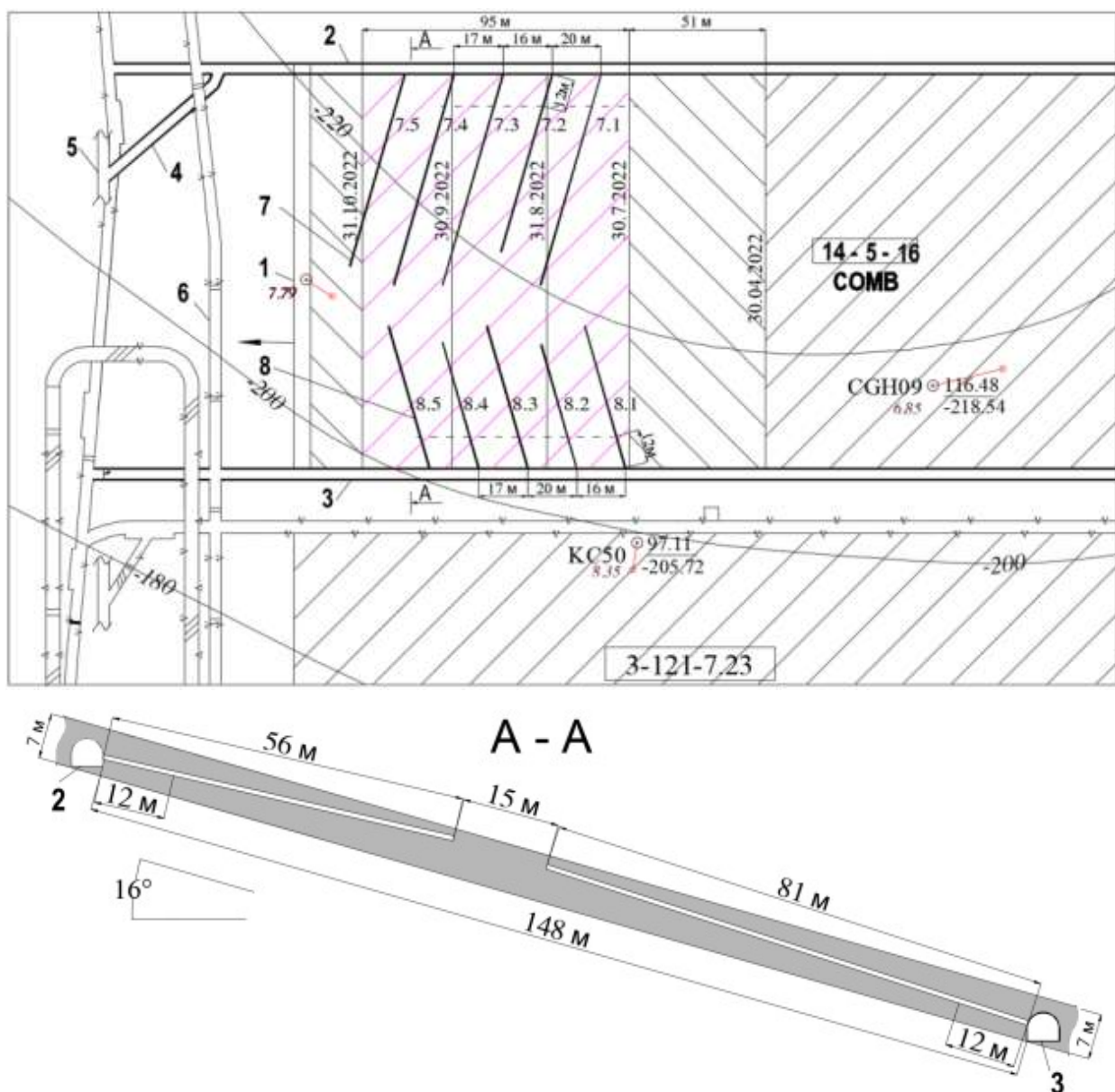


Рисунок 5.9 – Выкопировка из плана горных работ (экспериментальный участок), технология нагнетания воды в угольный пласт через скважины впереди забоя лавы из противопожарно–оросительного трубопровода

На рисунке 5.9: 1 – забой лавы; 2, 3 вентиляционный и транспортный штреки; 4 – печь (сбойка); 5– уклон; 6– вентиляционный ходок; 7, 8 – скважины, пробуренные из вентиляционного и конвейерного штреков.



Рисунок 5.10 – Бурение из подготовительных горных выработок через длинные скважины: 1– буровой станок; 2– длинная скважина

Результаты применения рекомендованной технологии на шахте «Хечам» в течение трех месяцев (с июля по октябрь 2022 г.), принесли заметные эффекты, такие как: увеличение устойчивости призабойного участка (Рисунок 5.10); снижение затрат на крепление и перекрепление; уменьшение частоты самопроизвольного обрушения угля из кровли и высыпания из забоя лавы с 10–18 раз в месяц до 5–8 раз в месяц; глубина интенсивного разрушения и отжима угля впереди забоя лавы уменьшена с 1,0–2,5 м до 0,5–1,0 м; высота обрушения подкровельного слоя не превышает 0,5–1,2 м на участках лавы длиной от 3 – 5 м; увеличение скорости подвигания забоя с 15–20 м до 30–35 м в месяц; производительность труда в лаве увеличилась на 13%, а добыча угля с 21 000 т/мес. до 37 000 т/мес. по сравнению с работой в неувлажнённом угольном массиве. Сравнение экономико–технических показателей очистных работ до и после нагнетания воды приведены в таблице 5.4.



Рисунок 5.11 – Забой лавы: а- перед нагнетанием воды; б- после нагнетания воды

Таблица 5.4 – Техничко–экономические показатели лавы 14–5.16 до и после нагнетания воды в пласт

Показатели	Единицы измерения	лава 14–5.16	
		до нагнетания воды	после нагнетания воды
Продолжительность цикла	смен	4–6	2–4
Скорость движения лавы	м / мес	15–20	30–35
Добыча угля	т / мес	18315–22246	34268–38777
Производительность труда ГРОЗ	т/чел. смена	6–9	16–18
Численность рабочих в сутки	чел.	102	93
Расход воды на 1000 тонн угля	м ³	–	0,2
Расход обсадных полиэтиленовых труб на 1000 тонн угля	м	–	7,7
Площадь самопроизвольного обрушения угля по длине лавы	%	38–55	20–25
Глубина обрушения забоя лавы	м	1,0– 2,5	0,5–1,0
Высота обрушения угля из подкровельного слоя	м	0,8–1,8	0,5–1,2 м на участках лавы длиной от 3 – 5 м;
Суммарная продолжительность простоев лавы	%	30–48	15–20
Подвигание лавы за цикл	м	1,3	1,3

Оценка экономической эффективности применения рекомендуемой технологии

Выбор оптимальной системы разработки зависит не только от горнотехнических факторов, но и от достигаемых технико–экономических показателей по выемочному участку.

На основе результатов экспериментального применения технологии нагнетания воды в угольный пласт в лаве 14–5.16 шахты «Хечам», представленных в таблице 5.4, и оценочной остаточной стоимости

механизированного оборудования для добычи угля после 10 лет использования в размере 330 млн руб., проведен расчет экономической эффективности данной технологии на протяжении 5 лет добычи угля.

Экономическая эффективность оценивается с использованием двух показателей: эффективность производства и эффективность инвестиционного капитала.

Эффективность производства отражается через годовую прибыль после налогообложения и определяется разницей между выручкой от продажи угля и затратами на производство угля, включая налоги, сборы, обязательные отчисления в бюджет и проценты по займам, определяемыми по формулам 5.8-5.13.

$$ЧП = ВП \times (1 - t), \text{ руб} \quad (5.8)$$

$$ВП = V_{\text{вр}} - C, \text{ руб} \quad (5.9)$$

$$V_{\text{вр}} = \sum Q_i \times G_i, \text{ руб} \quad (5.10)$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \text{ руб} \quad (5.11)$$

$$C_1 = C_{1.1} + C_{1.2} + C_{1.3}, \text{ руб} \quad (5.12)$$

$$C_{1.1} = C_{1.1.1} + C_{1.1.2} + C_{1.1.3} + C_{1.1.4}, \text{ руб} \quad (5.13)$$

где $ВП$ – валовая прибыль, руб;

t – ставка налога на прибыль: 20%;

$V_{\text{вр}}$ – выручка от реализации продукции, руб;

Q_i – масса угля i типа;

G_i – цена реализации угля i сорта на момент определения;

C – себестоимость производства, руб;

C_1 – себестоимость добычи угля;

C_2 – виды налогов и сборов (ставка налога на ресурсы = 10% $V_{\text{вр}}$);

C_3 – проценты по займам;

$C_{1.1}$ – расходы на производство;

$C_{1.2}$ – потребительная стоимость;

$C_{1.3}$ – затраты на управление проектом и прочие расходы;

$C_{1.1.1}$ – затраты на добычу;

$C_{1.1.2}$ – затраты по обогащению угля;

$C_{1.1.3}$ – расходы по погрузке и транспортировке до места потребления;

$C_{1.1.4}$ – общие производственные затраты;

Прочие расходы: Прочие расходы включают телефонные и телеграфные расходы, услуги ИВЦ, содержание ВГСЧ, услуги автотранспорта по перевозу трудящихся, подъёмные и командировочные расходы, содержание охраны, содержание столовых, медсанчасти.

Таблица 5.5 – Сравнение основных производственных и эксплуатационных затрат на очистные работы до и после нагнетания воды в пласт при работе лавы 14–5.16.

Показатели	Единица измерения	до нагнетания воды	после нагнетания воды
Суммарные затраты	млн. руб.	3742	6504
- Расходы на производство	млн. руб.	3267	5678
<i>Затраты на добычу</i>	<i>млн руб.</i>	<i>2029</i>	<i>3524</i>
<i>Затраты по обогащению угля</i>	<i>млн. руб.</i>	<i>32</i>	<i>56</i>
<i>Расходы по погрузке и транспортировке до места потребления</i>	<i>млн. руб.</i>	<i>22</i>	<i>38</i>
<i>Общие производственные затраты</i>	<i>млн. руб.</i>	<i>1183</i>	<i>2059</i>
- Потребительная стоимость	млн. руб.	8	15
- Затраты на управление проектом и прочие расходы	млн руб.	467	811
Объем товарного угля	т	977	1701
Себестоимость производства	руб/т	3080	3075
Цена потребления	руб.	3838	3824

В настоящее время используют метод UNIDO и IDCAS для оценки эффективности капиталовложений путем определения и оценки показателей: чистая приведенная стоимость (NPV), внутренняя норма доходности (IRR) и окупаемость [30, 31, 38, 58]. Основным показателем, отражающим стоимость и инвестиционную привлекательность для инвестора, является чистая приведенная стоимость проекта (net present value (NPV)), рассчитываемая по методике, приведенной в работе [58]. Для этого используются по формулы 5.14-5.15.

$$NPV = \sum_{t=1}^T (CIF_t - COF_t) \times \beta_t, \text{ руб} \quad (5.14)$$

$$\beta_t = \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (5.15)$$

где T – период дисконтирования, равный периоду функционирования горного бизнеса (например, эксплуатации месторождения), лет;

CIF_t – ожидаемая величина дохода в год t , тыс. руб.;

COF_t – суммарный объем затрат в год t , тыс. руб.;

β_t – коэффициент дисконтирования в t -м году, обеспечивающий учет неравноценности разновременных затрат и результатов периода времени T ;

r – ставка дисконтирования (стоимость капитала, привлеченного для инвестиционного проекта): 10%;

На основе показателя NPV можно определить срок окупаемости РВР. При этом, что выгодным для инвестора считается вариант, при $NPV = 0$ (формулы 5.16 - 5.17), когда вложение капитала оправдывается предполагаемой доходностью. Внутренняя норма доходности проекта (IRR), означающая ставку дисконтирования, при которой NPV проекта будет равно нулю.

$$NPV = \sum_{t=1}^T (CIF_t - COF_t) \times \beta_t = 0. \quad (5.16)$$

Срок окупаемости капитальных вложений (T) рассчитывается с учетом чистой прибыли.

$$T = \frac{\sum I}{\sum (ЧП + K_h)} \quad (5.17)$$

где I – капитальные вложения (инвестируемый капитал);

$ЧП$ – чистая прибыль за год;

K_n – амортизация за год.

Таблица 5.6 – Сравнение основных критериев экономической эффективности очистной выработки до и после нагнетания воды лавы 14–5.16.

Показатели		Единицы измерения	до нагнетания воды	после нагнетания воды
1	Общая добыча угля	1000 Т	1.136	1.978
2	Объем товарного угля	1000 Т	977	1.701
3	Ожидаемая величина дохода	Млн. рублей	4.351	7.573
–	Цена реализации угля	руб/т	4.453	4.453
4	Суммарный объем затрат	Млн. рублей	3.742	6.504
–	Прибыль до налогообложения	Млн. рублей	609	1.069
5	Показатель чистого дохода	Млн. рублей	487	855
6	Чистая дисконтированная стоимость (NPV)	Млн. рублей	83	187
7	Внутренняя норма доходности (NPV)	%	16%	19,2%
8	Проценты по банковскому кредиту	%	10%	10%
9	Срок окупаемости капитальных вложений	годы	2,0	1,4

Полученные экономические результаты подтверждают эффективность разработанной технологии нагнетания воды в угольный пласт: значение чистого дохода (515 млн. руб.) увеличилось в 1,74 раза; внутренняя норма доходности (18,86%) увеличилась на 3,93%; снизился срок окупаемости капитальных вложений на 1,3 года по сравнению с работой в не увлажнённом угольном массиве.

5.5 Выводы по Главе 5

1. Технологические схемы нагнетания жидкости в угольный пласт выбираются в зависимости от системы разработки, высоты этажа, порядка отработки угольных пластов и участков, скорости подвигания очистного забоя. На сегодняшний день применялись в основном три технологические схемы увлажнения угольных пластов методом нагнетания воды, как показано: нагнетание воды через длинные скважины (> 25 м) диаметром 45–100 мм, пробуренные из двух подготовительных выработок, пробурены вверх из конвейерной штрека или пробурены вниз из вентиляционного штрека и короткими (3–5 м) средними (10–20 м) скважинами, пробуренные из очистного забоя перпендикулярно забою лавы.

2. В соответствии с анализом преимуществ и недостатков технологических схем увлажнения угольных пластов, рекомендуется использовать технологические схемы, соответствующие геологическим условиям шахты, при разработке угольных пластов с низкими прочностными характеристиками.

– нагнетания жидкости в угольный пласт впереди забоя лавы из подготовительных горных выработок через длинные скважины. Скважины пробуривают под углом $\beta=12-17^{\circ}$ к линии очистного забоя, предназначена для использования при отработке пластов угля механизированными комплексами.

– нагнетания жидкости в угольный массив в очистных забоях через шпур и короткие скважины

3. Результаты применения рекомендованной схемы технологии нагнетания воды в угольный пласт с низкой прочностью на шахте «Хечам» в течение трех месяцев (с июля по октябрь 2022 г.) принесли заметные эффекты, такие как: увеличение устойчивости призабойного участка; снижение затрат на крепление и перекрепление; уменьшение частоты самопроизвольного обрушения угля из кровли и высыпания из забоя; увеличение скорости подвигания забоя с 15–20 м до 30–35 м в месяц; производительность труда в лаве увеличилась с 8 т/работа до 9 т/работа, добыча угля увеличилась с 21 000 т/мес до 37 000 т/мес и снижение

срока окупаемости капитальных вложений на 1,3 года по сравнению с работой в не увлажнённом угольном массиве.

4. Разработанную технологию рекомендуется использовать на шахте «Хечам» и других перспективных угольных шахтах Куангнинского угольного бассейна со сходными горно–геологическими условиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе выполненных экспериментальных и теоретических исследований обоснованы параметры технологии выемки мощных пологих пластов с низкими прочностными характеристиками угля, позволяющей уменьшить интенсивность самопроизвольных обрушений угля из забоя лавы и подкровельной угольной пачки в призабойное пространство лавы.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

1. К числу актуальных проблем при разработке мощных (5 –12м) пологих угольных пластов с использованием прогрессивных технологий с выпуском угля из подкровельного слоя относится проблема предотвращения самопроизвольных высыпаний в призабойное пространство лав больших масс угля из подкровельного слоя и забоя лавы, оказывающих существенное отрицательное влияние на безопасность горных работ, производительность труда и себестоимость добычи угля. С увеличением глубины горных работ актуальность данной проблемы возрастает.

2. Существенное влияние на интенсивность обрушений угля из забоя лавы и подкровельного слоя оказывают стадия процесса деформирования труднообрушающихся пород основной кровли и скорость подвигания очистного забоя: максимальная интенсивность обрушений наблюдается в периоды прохождения лавы под трещинами разлома в основной кровле, а также после возобновления очистных работ в лаве после ее простоя. Под трещинами разлома в основной кровле очистные работы рекомендуется вести с максимально возможной скоростью подвигания лавы.

3. Рекомендуемые технологические схемы отработки пластов угля с низкими прочностными характеристиками, включающие увлажнение угля впереди забоя лавы шахтной водой (или растворами на основе шахтной воды), позволяют уменьшить вероятность и параметры обрушений угля за счет увеличения сил сцепления угля. Наиболее высокие значения сцепления угля (от 40 ÷ 45 кПа) для пласта 14–5 (шахта "Хечам") установлены при его влажности около 15% и продолжительности увлажнения

от 30 до 45 часов. Следует подчеркнуть, что увеличение влажности от 15% до 20–25% снижает силы сцепления угля.

4. Применение разработанной технологии при отработке пласта 14–5 на шахте «Хечам» в течение трех месяцев (с июля по октябрь 2022 г.) позволило за счет снижения продолжительности простоев в лаве 15–25%, связанных с самопроизвольными обрушениями угля из кровли и забоя лавы, увеличить скорость подвигания очистного забоя, а следовательно, и объем добычи в 1,7–2 раза.

5. Перспективы развития темы диссертации в будущем связаны с обоснованием оптимальных параметров рекомендуемой технологии при переходе горных работ на более глубокие горизонты. При этом целесообразно провести дополнительные исследования разработанной технологии с использованием для увлажнения угля шахтной воды с растворенной в ней каменной солью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамкин, Н.И. Выбор технологии механизации и разработки наклонных угольных пластов средней мощности в горно–геологических условиях на шахте «Куангхань» / Н.И. Абрамкин, Фам Дик Тханг // Горный информационноаналитический бюллетень. –2017. – № 1. – С. 202–210.
2. Андрушко, В.Ф. Управление кровлей в сложных горно–геологических условиях / В.Ф. Андрушко, С.А. Саракитянц, Ю.Г. Спицын. –К.: Техника. – 1985.
3. Артамонов, В.Н. Принципы поэтапного гидровоздействия на угольный пласт и эффективность его применения в шахтах / В.Н. Артамонов // Известия Донецкого горного института. – 1997. 2: 6.
4. Бабаскин, Ю.Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог / Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леоновича // Минск : Технопринт. – 2002. – 176 с.
5. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов; Недра, Москва, 1980 г., 360 стр., УДК: 622.02:539.2/.8:622.83.
6. Бубнов, К.А. Исследование точности определения шага обрушения непосредственной и основной кровли существующими методиками / К.А. Бубнов, А.В. Ремезов, Л.М. Коновалов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009. – №5. – С. 21–27.
7. Виткалов, В.Г. Обоснование технологических решений по отработке наклонных угольных пластов на шахтах куангнинского угольного бассейна / В.Г. Виткалов, Ф.Д. Тханг // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 2017. – №10. – С. 113–121, DOI: 10.25018/0236–1493–2017–10–0–113–121.
8. Габов, В.В. Увеличение содержания крупных фракций в добываемой массе угля комбайном с использованием парных срезов / В.В. Габов, С.Н. Ван, Д.А. Задков & Т.Ч. Дык // Записки Горного института. – 2022. – №257. – С. 764–770. DOI:10.31897/PMI.2022.66
9. Гендлер, С.Г. Обоснование рациональных способов обеспечения воздухом выемочных участков действующих угольных шахт Вьетнама при

углублении горных работ / С.Г. Гендлер, Нгуен Тхе Ха // Записки Горного института. – 2018. – № 234. – С. 652–657.

10. Гребенкин, С.С. Управление состоянием массива горных пород / С. С. Гребенкин, В. Н. Павлыш, В. Л. Самойлов, Ю. А.Петренко // Донецк: ДонНТУ. – 2010. – 194 с.

11. Джонек–Ковальска И. Проблемы взаимодействия со стейкхолдерами при реализации долгосрочных горных проектов / И. Джонек–Ковальска, Т.В. Пономаренко, О.А. Маринина // Записки Горного института. – 2018. – № 232. – С. 428–437, doi: 10.31897/PMI.2018.4.428

12. Елкин, И.С. Расчет эффективного радиуса увлажнения при использовании поверхностно–активных веществ / И.С. Елкин, Е.А. Черепанова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – №4 (98). – С. 10–13.

13. Еременко, В.А. Обоснование и выбор технологии проведения, способов крепления и поддержания горных выработок в неустойчивых горных породах глубоких горизонтов Холбинского рудника / В.А. Еременко, В.Н. Лушников, М.П. Сенди // Горный журнал. – 2013. – №7. – С. 59–66.

14. Ермаков, А.Ю. Схемы взаимодействия подкровельной пачки угля с породами активной кровли и с секциями механизированной крепи / А.Ю. Ермаков, С.А. Новосельцев, И.С. Биктимиров & С.И. Калинин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2009. – №1. – С. 97–103.

15. Жемчужников, Ю.А. Основы петрологии углей / Ю.А. Жемчужников, А.И. Гинзбург // Издательство Академии наук СССР, Москва. – 1960. – 179 с.

16. Жуков, Е.М. Оценка влияния трещин на устойчивость пород в кровле подготовительных выработок угольных шахт / Е. М. Жуков, И.А. Лугинин, Ю.И. Кропотов, К.А. Зырянов, В.В. Басов // Вестник Сибирского государственного индустриального университет. – 2015. – №4(14) . – С. 26–30.

17. Зубов В.П. Технология отработки угольных пластов мощностью 12–25 м на шахте Халам (Вьетнам) / В.П. Зубов, В. Т. Т. Зунг, Ф. К. Нам // Горный

информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал) Специальный выпуск 60–1. «Горное дело в XXI веке: Технологии, наука, образование–1». – М: Горная книга. – 2015. – С. 81–88.

18. Зубов, В.П. Технология подземной разработки мощных пластов угля с низкими прочностными характеристиками / В.П. Зубов, **Тхан Ван Зуи**, А.С. Федоров // Уголь. – 2023. – № 5. – С. 41–49. DOI: 10.18796/0041–5790–2023–5–41–49.

19. Зубов, В.П. Особенности разработки угольных пластов с низкими прочностными характеристиками на шахтах Вьетнама / В.П. Зубов, **Тхан Ван Зуи**, А.С. Федоров, Ли Юньпэн // Горный информационно–аналитический бюллетень. –2023. – №5 (специальный выпуск 2). – 20 с. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_2_3.

20. Зубов, В.П. Разработка ресурсосберегающей технологии выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли (на примере шахт Куангниньского угольного бассейна) / В. П. Зубов, Ф. Л. Куанг // Записки Горного института. – 2022. – №257. – С. 795–806.

21. Зыков, В.С. Факторы и свойства горного массива, определяющие вид опасности по геодинамическим явлениям / В. С. Зыков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – №5 (105). – С. 9–17.

22. Исраилов, М.А. Выбор способа нагнетания воды для самовозгорающихся угольных пластов / М. А. Исраилов // Ўзбекистон республикаси фавкулудда вазиятлар вазирлиги академияси. – 2020. – С. 346.

23. Карпов, Г.Н. Определение параметров разгрузки массива горных пород на концевых участках демонтажной камеры / Г. Н. Карпов, Е. Р. Ковальский, А. Д. Смычник // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 2019. – №8. – С. 95–107.

24. Клишин, С.В. Анализ контролируемого выпуска угля при отработке мощных пологих угольных пластов технологией с самообрушением / С.В. Клишин // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2021. – №4. – С. 389–399.

25. Ковальский, Е.Р. Разработка технологии закладки выработанного пространства при выемке / Е. Р. Ковальский, К. В. Громцев // Записки Горного института. – 2022. – №254. – С. 202–209.

26. Королева, Т.И. Инструкция по борьбе с пылью методом предварительного увлажнения угольных пластов / Т. И. Королева // Издательство Недра. – Москва 1966. – 77 с.

27. Ле Куанг Фук. Обоснование параметров ресурсосберегающей технологии отработки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами основной кровли (на примере шахты «Хечам», Вьетнам): автореф. дис. канд. тех. наук: 25.00.20 / К. Ф. Ле. – СПб., 2022. – 20 с.

28. Ле Куанг Фук. Создание базы данных по запасам угля и горногеологическим условиям на шахте «Хечам I–II–IV» во Вьетнаме // IX Международная научная конференция молодых ученых "Молодые – Наукам о Земле". Москва. – 23 октября 2020 г. – С. 85–88.

29. Макарова, Е.Ю. Изучение структуры пустотного пространства углей и его роль при техногенном формировании резервуарных свойств угольных пластов для добычи метана / Е. Ю. Макарова, Х. Цзиньсюань, А. Р. Пискунов // Научный журнал Российского газового общества. – 2019. – №1. – С. 17–27.

30. Моссаковский Я.В. Оценка экономического риска при реализации инвестиционных проектов в горной промышленности // Горный журнал. – 2002. – № 7. – С. 10–13.

31. Моссаковский, Я.В. Оценка экономической эффективности внедрения новой техники на горнодобывающих предприятиях / Я. В. Моссаковский, И. Н. Богданова, Я. Н. Половская // Учебное пособие для вузов. – М.: Изд. МГГУ. – 2002. – 100 с.

32. Мохначук, И.И. Определение кинематических пологих мощных пластов / И. И. Мохначук, Б. К. Мышляев, С. В. Титов // Уголь. – 2013. – №12. – С. 9–13.

33. На угольной шахте Хечам применяется нагнетание воды для увеличения производительности почти в 3 раза. [Электронный ресурс]. URL:

<http://tapchicongthuong.vn/bai-viet/than-khe-cham-ap-dung-giai-phap-phun-ep-nuoc-dua-nang-suat-tang-gan-3-lan-67088.htm>. (дата обращения 20.05.2021).

34. Новоселов, С.В. Экспортно ориентированная стратегия развития угольных компаний России основной фактор обеспечения их финансовой устойчивости / С. В. Новоселов, В. В. Мельник, В. В. Агафонов // Уголь. – 2017. – №11 (1100). – С. 54–57.

35. Нургалиев, Е.И. Технология ликвидации «куполов» с упрочнением приконтурной зоны минеральной смесью УГМ-Р / Е. И. Нургалиев, А. Е. Майоров, Е. Ю. Розонов // Уголь. – 2013. – №7. – С. 28–30.

36. Отчет об итогах добычи угля в отрасли за период за период 2013– 2022 // ВИНАКОМИН – Ханой, 2016. 256 с.

37. Отчетов о результатах поисково – геологоразведочных работ шахты «Хечам», город Камфа, провинция Куангнинь / Акционерное общество "Информатика, технологии и окружающая среда" – ВИНАКОМИН. – Ханой, 2015. 126 с.

38. Оценка эффективности инвестиций. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.msfofm.ru/library/109-investments-effectiveness-appraisal>. (дата обращения 20.05.2023).

39. Патент № 2086764 Российская Федерация, МПК E21C 41/00, E21C 41/28. Способ повышения эффективности предварительного увлажнения многолетнемерзлых угольных пластов: № 95103122/03: заявлено 28.02.1995: опубликовано 10.08.1997 / Быков, Н.А., Быков, А.Н. ; заявитель Институт горного дела Севера СО РАН. – 6 с. : ил.

40. Патент № 2403386 Российская Федерация, МПК E21C 41/16(2006.01). Способ разработки мощных пологих пластов полезных ископаемых: № 2009113377/03 : заявлено 09.04.2009: опубликовано 10.11.2010 / Зубов, В. П. ; заявитель СПГГИ(ТУ). – 7 с. : ил

41. Разумов, Е.А. Опыт механизированной отработки мощных пологих пластов на угольных шахтах Кузбасса и рекомендации по отработке весьма мощных пологих пластов / Е. А. Разумов, В. Г. Венгер, Е. А. Зеляева, Е. Ю.

Пудов, С. И. Калинин // Уголь. – 2021. – №6 (1143). – С. 4–10. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-6-4-10>

42. Рейшахрит, Е.И. Анализ состояния, перспективы и проблемы угольной отрасли Вьетнама / Е. И. Рейшахрит, М. А. Невская, Т. К. Тьу // Вестник Евразийской науки. – 2021. – №13(1) . – С. 1–15.

43. Решение № 403/qd-ttg от 14 октября 03, 2016 Об утверждении плана развития угольной промышленности во Вьетнаме до 2020 года с учетом перспектив до 2030 года: [Электронный ресурс] URL: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/tai-nguyen-moi-truong/quyet-dinh-403-qd-ttg-dieu-chinh-quy-hoach-phat-trien-nganh-than-viet-nam-2020-2030-306131.aspx> (дата обращения 20.01.2022).

44. Российская Федерация. Постановления. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах». – Приказ от 14.12.2014 №462; Об утверждении руководства по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах». – Приказ от 21.08.2017 №327

45. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022684076 Российская Федерация. Программа для вычисления радиуса эффективного регионального увлажнения угольного пласта при разработке пластов с низкими прочностными характеристиками угля / Тхан Ван Зуи, В.П. Зубов, А.С. Федоров, правообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2022680111: заявл. 31.10.2022: опубл. 12.12.2022

46. Серяков, В. М. Оценка напряженно-деформированного состояния массива при заполнении вывалов пород в кровле выработки фенольными смолами / В. М. Серяков, А. А. Красновский // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук . – 2020. – №7(1) . – С.144–148, DOI:10.15372/FPVGN2020070122.

47. Скопинцева, О.В. Научные основы влагохимреагентной тепловой обеспыливающей обработки угольного массива и горной массы / О.В. Скопинцева, А. Ю. Прокопович, А. О. Гашенко & П. А. Савинский // Горный

информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 2006. – №3. – С. 210–218.

48. Сокол, Д.Г. Актуальные проблемы и перспективы совершенствования охраны повторно используемых подготовительных выработок при отработке калийных пластов / Д. Г. Сокол, Л. К. Фук, **Тхан Ван Зуи** // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал) . – 2020. –№12. – С. 33–43. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–12–0–33–43.

49. Степанов, Е.И. Вершенствование технологического оборудования системы пылеподавления в лаве увлажнением угольного массива / Е. И. Степанов, А.Г. Петров, А.А. Авершин // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2016. –№3. – С. 25–29.

50. Текущая ситуация, спрос – предложение и импорт угля: проблемы и политика развития [Выпуск 3] [Электронный ресурс]. URL: <http://nangluongvietnam.vn/news/vn/nhan-dinh-phan-bien-kien-nghi/su-dung-nangluong-tiet-kiem-hieu-qua-cua-viet-nam-thuc-trang-va-van-de-dat-ra.html>. (дата обращения: 16.11.2020).

51. Торро, В.О. Определение мощности подсечного слоя и подкровельной угольной пачки для проектирования очистных работ при отработке пл / В. О. Торро, С. И. Калинин, Н. Г. Сердобинцев // XXI в условиях шахты" Ольжераская–Новая". Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2022. –№4. – С. 13–16.

52. **Тхан Ван Зуи**. Разработка методов исследования устойчивости призабойного участка лавы при отработке угольных пластов с низкими прочностными характеристиками / **Тхан Ван Зуи**, А.С. Федоров, М. Д. Ньян // Концепции устойчивого развития науки в современных условиях. – 2022. – С. 77.

53. Тьу, Т.К. формирование и оценка сценариев развития угольной отрасли социалистической республики Вьетнам: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05. / Т. К. Тьу. – СПб., 2022. – 20 с.

54. Фам, Д.Т. Стратегия развития угольной промышленности и возможность применения механизированной технологии добычи угля в куангнинском

угольном бассейне Вьетнама / Д. Т. Фам, В. Г. Виткалов, Н. Х. // ГИАБ. – 2018. – № 8. – С. 65–80.

55. Федоров, А.С. Особенности разработки угольных пластов с низкими прочностными характеристиками на шахтах Вьетнама / А.С. Федоров В.П. Зубов, **Тхан Ван Зуи** // IV Международная научнопрактическая конференция «горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование». Санкт-Петербургский горный университет, СПб. – 26-28 октября 2021. – С. 26-27.

56. Фук, Л.К. Влияние основной кровли на параметры зоны опорного давления в краевой части пласта / Л. К. Фук, П. Н. Дмитриев, **Тхан Ван Зуи**, Ли Юньпэн // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – №6–1. – С. 68–82. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_68.

57. Чунг, Н.К. Определение кинематических параметров устройства регулируемого перекрытия выпускного окна в механизированной крепи с выпуском угля / Н.К. Чунг, А.А. Грабский. // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 2013. – №12. – С. 136–141.

58. Шibaев, Е.В. Методика оценки экономической эффективности функционирования угольных разрезов / Е. В. Шibaев, Е. В. Литвиненко // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 1999. – №4. – С. 155–157.

59. Яблоков, В.С. История изучения каменноугольных отложений и углей Подмосковского бассейна (1722–1966 гг.) / В. С. Яблоков. Наука, Москва. – 1967. – 260 стр., УДК: 550.9:552.57 (471.311).

60. Ярошенко, В.В. Направления повышения коэффициента извлечения угля при доработке запасов Воркутского месторождения / В. В. Ярошенко // Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 2019. – №7. – С. 370–380. DOI: 10.25018/0236–1493–2019–4–7–370–380

61. Alzoubi, M.A. Artificial ground freezing: A review of thermal and hydraulic aspects / M. A. Alzoubi, M. Xu, F. P. Hassani, S. Poncet, A. P. Sasmito // Tunnelling

and Underground Space Technolog. – 2020. – Vol. 104. – 103534. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103534.

62. Bai, Q. A general review on longwall mining-induced fractures in near-face regions / Q. Bai, S. Tu // *Geofluids*. – 2019. – P. 1–22.

63. Bai, Q. S. Numerical modeling on brittle failure of coal wall in longwall face—a case study / Q. S. Bai, S. H. Tu, X. G. Zhang, C. Zhang, & Y. Yuan // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2014. – Vol. 7(12). – P. 5067–5080.

64. Balasubrahmanyam, N. Critical Aspects of Longwall Top Coal Caving Method for Application in Indian Geomining Conditions / N. Balasubrahmanyam, G. Budi // In: *International Conference on Geotechnical Challenges in Mining, Tunneling and Underground Infrastructures*. Singapore: Springer Nature Singapore. – 20 December 2021. – P. 77–96.

65. Bui, M. T. Stress distribution around mechanized longwall face at deep mining in Quang Ninh underground coal mine / M. T. Bui, T. D. Le, T. H. Vo // *Inżynieria Mineralna*. – 2021. – Vol. 2. – P. 167–176.

66. Cai, W. A monitoring investigation into rock burst mechanism based on the coupled theory of static and dynamic stresses / W. Cai, X. Bai, G. Si, W. Cao, S. Gong, L. Dou // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2020. – № 53. – P. 5451–5471.

67. Calderón, D. S. Improved Engineering Solutions for Thermal Design of Artificial Ground Freezing / D. S. Calderón. Doctor in Civil Engineering, University of Burgos. – 2022. – 279 p.

68. Chen, F. Numerical analysis of influencing factors of steeply inclined coal face damage and instability / F. Chen, Y. Xiong, D. Kong, Q. Zhang // *Geotech Geol Eng.* – 2023. – Vol. 41. – P. 1567–1587. <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02354-9>. 5.19

69. Cui, F. Research on control of rib spalling disaster in the three-soft coal seam / F. Cui, T. Zhang, X. Cheng // *Shock and Vibration*. – 2021. – Vol. 2021. – 15 p.

70. Dao, H. Q. Research and proposal of rock consolidation solutions to improve efficiency and safety in mine development and coal mining in Quang Ninh District /

H.Q. Dao // Institute of Mining Science and Technology, Hanoi. – 2017. – Vol. 5 – P. 55–67.

71. Ding, V. C. Result of applying chemical reinforcement solution to prevent mirror slide, roof drop during excavation preparation at seam 10, level +30/+200, Trang Khe II area, Hong Thai Coal Company / V. C. Ding // Institute of Mining Science and Technology, Hanoi. – 2017. – Vol. 7. – P. 4–17.

72. Dinh Van Cuong. Assessment on the status of occupational accidents at underground coal mines and proposals on some solutions to limit the risk of unsafety / Dinh Van Cuong // Institute of Mining Science and Technology, Hanoi. – 2020. – Vol.3. – P. 10 – 15.

73. Dinh Van Cuong. Results from the application of the water injection solution for increasing the coal adhesion at the coal mining areas having unstable geological conditions with soft and loose coal at Khe Cham Coal Company / Dinh Van Cuong // Institute of Mining Science and Technology, Hanoi. – 2017. – Vol.12. – P. 15 – 21.

74. Do, H. H. Improvement of production arrangement chart for mechanised longwall at Seam 11 of Centre area – Duong Huy coal mine / H. H. Do, T. M. Bui, D. T. T. Vu, & A. T. Tran // Journal of Mining and Earth Sciences. – 2021. – Vol. 62(5a). – P. 62–68.

75. Duc, H.D. Development orientation of mechanized technology of underground mining in Quangninh coalfield, Vietnam / H. D. Duc, C. D. Van, A. Koterak, H. D. Van & T. V. Ba // In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC. – 2020, March. – P. 020004.

76. Duong Duc Hai. Increasing Productivity and Safety in Mining as a Chance for Sustainable Development of Vietnam's Mining Industry / D. D. Hai, L. D. Nguyen, N. D. Trung, M. Turek & A. Koterak // In: Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining. Springer International Publishing. – 2021. – Vol. 1. – P. 283–307.

77. Duong Duc, H. The status and prospect of mining technology in Vietnam underground coal mines / H. Duong Duc, D. H. Quang, M. Turek, A. Koterak // Inżynieria Mineralna. – 2019. – Vol. 21. – P. 147–155.

78. Frith, R, Recovering from Major Roof Cavities on the Longwall Face – A Current Perspective, in Aziz, N (ed), Coal 2006 / R. Frith // Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. – 2006.– P. 52–63.

79. Frith, R.C. A holistic examination of the load rating design of longwall shields after more than half a century of mechanised longwall mining / R. C. Frith // International Journal of Mining Science and Technology. – 2015. – Vol. 25(5). – P. 687–706.

80. Gu, W. Research on the Overburden Movement Law of Thick Coal Seam Without–Support Gangue–Filling Mining / W. Gu , L. Chen, & D. Xu // Minerals. – 2022. – Vol. 13(1). – 22 p.

81. Hong Feng. The application of new polymer materials in broken roof backing roadway / Hong Feng // Mining Engineering. – 2018. – Vol. 6 (2). – P. 21–23.

82. Houlsby, A. C. Construction and Design of Cement Grouting: A Guide to Grouting in Rock Foundations / A. C. Houlsby; Wiley–Interscience. – 1991. – 480 p. :ISBN: 978–0–471–51629–3

83. Jan Kostrz. Glebienie szybow metodami specjalnymi / Jan Kostrz; “Slask”–Katowice. – 1964. – 443 p.

84. Kamiński, P. (2021). Optimization Directions for Monitoring of Ground Freezing Process for Grzegorz Shaft Sinking / P. Kamiński // In Computational Optimization Techniques and Applications. IntechOpen. – 2021. – 16 p.

85. Khe Cham company's overcoming difficulties solutions. [Электронный ресурс]. URL: <https://nangluongvietnam.vn/giai-phap-vuot-kho-cua-than-khe-cham-20773.htm>. (дата обращения: 16.11.2021)

86. Kong, D. Sensitivity analysis of influencing factors and control technology for coalface failure / D. Kong, Y. Liu, & S. Zheng // Arabian Journal of Geosciences. – 2019. – Vol. 12. – P. 1–8.

87. Kong, D. Z. Study on the failure mechanism and stability control measures in a large–cutting–height coal mining face with a deep–buried seam / D. Z. Kong, Z. B.

Cheng, S. S. Zheng // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2019. – Vol. 78. – P. 6143–6157.

88. Le Tien Dung. Mechanism of Face spall in Mechanized Longwalls at Quang Ninh coal field / Le Tien Dung // *Earth Science and Resources for Sustainable Development –Hanoi*. – 2020. – P. 408–411

89. Le Tien, D. Field investigation of face spall in moderate strength coal seam at Vang Danh coal mine, Vietnam / D. Le Tien & H. Q. Dao // *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*. – 2021. – Vol. 37(2) – P. 107–115

90. Le, Q. P. Improvement of the loading capacity of narrow coal pillars and control roadway deformation in the longwall mining system. a case study at khe cham coal mine (vietnam) / Q. P. Le, V. P. Zubov & M. D. Phung // *Inżynieria Mineralna*. – 2020. – Vol. 1(2). – P. 115–122.

91. Le, T. D. Analytical Study on the Stability of Longwall Top Coal Caving Face / T. D. Le // In: *Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*. Cham: Springer International Publishing. – 2021. – Vol. 1 – P. 308–319

92. Le, T. D. Characteristics of top coal fall in front of face support in longwall: A case study / T. D. Le, D. H. Vu & A. T. Nguyen // *Vietnam Journal of Earth Sciences*. – 2022. – Vol. 42(2) – P. 152–161

93. Le, T. D. Estimation of Coal and Rock Mechanical Properties for Numerical Modelling of Longwall Extraction / T. D. Le, C. T. Nguyen & V. C. Dao // *Inżynieria Mineralna*. – 2020. – Vol. 1(2). – P. 41–47

94. Le, T. D. Mechanism and solution to top coal fall at Ha Lam mechanized longwall face, Vietnam / T. D. Le, T. T. Vu & V. C. Dao // In *Conference on Advanced Researches in the Earth and Environmental Sciences*, Ho Chi Minh, Vietnam. – 2019. – P. 408–411

95. Le, T.D. Stress Distribution of underground coal mining technology in Vietnam / T.D. Le & X.N. Bui // *Inżynieria Mineralna*. – 2019. – Vol. 1(2). – P. 104–110.

96. Lei, W. Research on mechanism and prevention technology of rib spalling in fully-mechanized coal mining face with soft and unstable seam / W. Lei, X. Li, W. Du, J. Zhang & F. Zhang // In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 252(5) – P. 052065.

97. Li, Z. Mechanism and prevention of a chock support failure in the longwall top-coal caving faces: a case study in Datong coalfield, China / Z. Li, J. Xu, S. Yu, J. Ju, & J. Xu // Energies. – 2018. – Vol. 11(2). – 17 p.

98. Liu, S. Rib spalling 3D model for soft coal seam faces with large mining height in protective seam mining: theoretical and numerical analyses / S. Liu, K. Yang, T. Zhang & C. Tang // Geofluids. – 2017. – Vol. 2020. – P. 408–411

99. Molinda, G. Reinforcing coal mine roof with polyurethane injection: 4 case studies / G. Molinda // Geotechnical and Geological Engineering. – 2008. – Vol. 26(5) . – P. 553–566.

100. Naudts, A. Hot Bitumen Grouting: The antidote for catastrophic inflows / A. Naudts, S. Hooey // In Grouting and Ground Treatment. – 2003. – P. 1293–1304.

101. Ngo, V. S. Research on some geomechanical properties of rock mass for excavation and roadway support / V. S. Ngo, T. H. Nguyen // . Institute of Mining Science and Technology, Hanoi. –1995. – 97p.

102. Phuc, Q. L. Strata movement when extracting thick and gently inclined coal seam from a physical modelling analysis: a case study of Khe Cham basin, Vietnam / Q. L. Phuc, T. L. Dung, D. P. Thang & A. N. Tuan // Scientific journal: Sustainable development of mountain territories. – 2019. – Vol. 4(42). – P. 561–567.

103. Polozov, J. A. Advanced grouting of 960-m-level shaft station in nagolchanskaya mine / J. A. Polozov, J. N. Spichak, & V. A. Lagunov // International journal of mine water. – 1985. – Vol. 4(1). – P. 33–42.

104. Porto, M. Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances / M. Porto, P. Caputo, V. Loise, S. Eskandarsefat, B. Teltayev (2019)// Applied Sciences. – 2016. – Vol. 9(4). – 35 p.

105. Prusek, S. Czynniki wpływające na powstawanie obwałowań skał w ścianach prowadzonych z zawałem skał stropowych / S. Prusek // Przegląd Górniczy. – 2014. – Vol. 70(3). – P. 71–78.

106. Prusek, S. Metody zapobiegania oraz likwidacji skutków obwałowań skał stropowych w ścianach zawałowych / S. Prusek // Wiadomości Górnicze. – 2015. – Vol. 66(3). – P. 145–154.

107. Que, C. T. Coal Mines in Vietnam: Coal Mines in Vietnam: Geological Conditions and Their Influence on Production Sustainability Indicators / C. T. Que, M. Nevskaya & O. Marinina // Sustainability. – 2021. – Vol. 13(21). – 15 p.

108. Read, J. The Shell Bitumen Handbook, 5th ed. / J. Read, D Witheoak // Thomas Telford Publishing: London, UK. – 2003. – 463 p.

109. Schmall, P. C. Ground freezing– a viable and versatile construction technique / P. C. Schmall & B. Braun // In Current Practices in Cold Regions Engineering. – 2006. – 11 p.

110. Seidle, J. P. Application of matchstick geometry to stress dependent permeability in coals / J. P. Seidle, M. W. Jeansonne & D. J. Erickson (1992, May) In: SPE rocky mountain regional meeting. – 1992. – P. 433.

111. Shi, Y. Numerical simulation and engineering application of coalbed water injection / Y. Shi, P. Wang, R. Liu, X. Tan, & W. Zhang // Mathematical Problems in Engineering. – 2019. – Vol. 2019. – 12 p.

112. Smirnov, V. G. Problem of pulverized coal formation at mine outburst caused by decomposition of gas hydrates in coal seams / V. G. Smirnov, V. V. Dyrdin, A. Y. Manakov, Z. R. Ismagilov // Химия в интересах устойчивого развития.— 2016 .— Vol. 24. – P. 499–507.

113. Song, G. A numerical modelling study of longwall face stability in mining thick coal seams in China / G. Song, Y. P. Chugh, & J. Wang // International journal of mining and mineral engineering. – 2017. – Vol. 8(1). – P. 35–55.

114. Spychak Y.N. UA Patent 58930 A. Method of isolation and consolidating of water-bearing tectonic faults during driving of mining openings. Bulletin №8. - 2023

115. Spychak, Y. N. Grouting during the driving of drifts and tunnels / Y. N. Spychak // Abstracts of the International Mine Water Conference. – 19th – 23rd October 2009. ISBN: 978-0-9802623-5-3.

116. Sui, J. Current status and key issues of chemical grouting technology for sand collapse disaster management in mines / J. Sui, H. Wang // Journal of Engineering Geology. – 2008. – Vol. 16(S1). – P. 73–77.

117. Sun, J. Feasibility of water injection on the coal wall of loose thick coal seam to prevent rib spalling and its optimal moisture content / J. Sun, B. Li, R. Zhang & Z. Huang // Geofluids. – 2022. – 8 p.

118. The Current Situation, Supply–Demand, Coal Imports: Challenges and Development Policy URL: <https://nangluongvietnam.vn/thuc-trang-cung-cau-nhap-khau-than-thach-thuc-va-chinh-sach-phat-trien-ky-1-24573.html>.

119. Tien, D. L. Effect of overlying strata on longwall top coal cavability / D. L. Tien // International Conferences on Earth Sciences and Sustainable Geo–Resources Development. – 2016. – P. 35–41.

120. Tran, T. B. Innovating and modernizing technologies in coal mining and processing industry / T. B. Tran // Vietnamese science and technology. –2017. – Vol. 5. – P. 35–37.

121. Tran, X. H. Study to improve the level of mechanization and modernization of underground coal mining and application orientation for underground coal mines in Quangninh coal basin / X. H. Tran // Institute of Mining Science and Technology, Hanoi. –2011. – P. 185.

122. Truong, D. Z. Results of applying chemical testing to strengthen rock mass during excavation and mining at Khe Cham Coal Company / D. Z. Truong // Institute of Mining Science and Technology, Hanoi. – 2021. – Vol. 5. – P. 25–33

123. Vu, T. T. Development of Support Plan and Operation Scheme for Semi–mechanized Longwall Face of Coal Seam 10T, Nam Khe Tam Mine–86 Company, Dong Bac Corporation / T. T. Vu, T. D. Le, & T. T. D. Vu // Inżynieria Mineralna. – 2021. – Vol. 1(2). – P. 321–330.

124. Vu, T. T. Solutions to prevent face spall and roof falling in fully mechanized longwall at underground mines, Vietnam / T. T. Vu // *Mining of Mineral Deposits*. – 2022. – Vol. 16(1). – P. 127–134.

125. Vu, T. T. Study on the utilization of the chemicals DMT–601 A/B for preventing landslides in the fully mechanized longwall at Khe Cham coal company / T. T. Vu, A. S. Do & V. Q. Nguyen // *Journal of Science and Technology – Geology*, Hanoi. – 2014. – Vol. 47. – P. 52–55.

126. Wang, G. J. Polymer grouting materials for coal mines / G. J. Wang, & S. M. Zhang // *Chemical Management*. – 2017. – Vol. 29. – P. 25–30.

127. Wang, H. Water Injection and Dust Removal in High–Pressure and Low–Porosity Coal Seam / H. Wang, H. Yao & Y. Li // *Geo–Resources Environment and Engineering (GREE)*. – 2017. – Vol. 2. – P. 125–129.

128. Wang, J. Systematic principles of surrounding rock control in longwall mining within thick coal seams / J. Wang, & Z. Wang // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2019. – Vol. 29(1). – P. 65–71.

129. Wang, Q. Application of coal rock body grouting reinforcement technology in Zhangcun coal mine / Q. Wang // *Coal*. – 2008. – Vol. 17(10). – P. 49–50.

130. Wanghua, S. The state–of–the–art of chemical grouting treatment for quicksand hazards in coal mines and the prospect of several key problems / S. Wanghua, Z. Gailing, J. Zhenquan, & W. Dangliang // *Journal of Engineering Geology*. – 2008. – Vol. 16(S1). – P. 73–77.

131. Więckowski, A. Technika zamrażania gruntów i skał luźnych / A. Więckowski, D. Hajto & P. Proficz // *Przegląd budowlany*. – 2018. – Vol. 3. – P. 16–19.

132. Xie, M. H. Research and application of the new type macromolecule material reinforcement airtight technology / M. H. Xie // *Hebei Coal*. – 2011. – Vol. 4. – P. 48–49.

133. Yang, C. Surface pre–grouting and freezing for shaft sinking in aquifer formations / Yang, C. & Wang, Z. (2005) // *Mine Water and the Environment*. – 2005. – Vol. 24. – P. 209–212.

134. Yang, S. An evaluation of longwall face stability in thick coal seams through a basic understanding of shield–strata interaction / S. Yang, G. Song & D. Kong // *Journal of Geophysics and Engineering*. – 2019. – Vol. 16(1). – P. 125–135.

135. Yao, Q. Numerical investigation of the effects of coal seam dip angle on coal wall stability / Q. Yao, X. Li, B. Sun, M. Ju, T. Chen & J. Zhou. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2017. – Vol. 100. – P. 298–309.

136. Yue, J. Freezing method for rock cross–cut coal uncovering I: Mechanical properties of a frozen coal seam for preventing outburst / J. Yue, G. Yue, Z. Wang, M. Li, B. Wang & F. An // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9(1). – 18 p.

137. Zhang, K. Coal seam water infusion for dust control: a technical review / K. Zhang, J. Zhang, J. Wei, T. Ren & X. Xu // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 26. – P. 4537–4554.

138. Zhou, G. Numerical simulation of combined water injection in deep coal seam and its field application for dust suppression and de–stressing: A case study at dongtan coal mine, China / G. Zhou, M. Xu, & T. Fan // *Geotechnical and Geological Engineering*. – 2018. – Vol. 36. – P. 283–291.

139. Zhu, C. Mechanical mechanism of water injection to enhance the stability of soft coal / C. Zhu, H. Fan, W. Liu, & S. Li // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – 10 p.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА***РИСУНКИ***

Рисунок 1.1 – Схема расположения угольных провинций бассейна Куангнин

Рисунок 1.2 – Объемы добычи угля в отрасли за период 2013–2022 г

Рисунок 1.3 – Соотношение различных видов средств крепления лав при подземной добыче угля в период с 2013 по 2022 год

Рисунок 1.4 – План развития угольной промышленности Вьетнама на период с 2020 по 2025 год и прогноз до 2030 года

Рисунок 1.5 – Состояние и план потребности в угле, добычи и экспорта–импорта Вьетнама к 2035 г

Рисунок 1.6 – Самопроизвольное обрушение угля из кровли и высыпание из забоя лавы

Рисунок 1.7 – Типовая система разработки угольных пластов длинными столбами, применяемая на перспективных шахтах Вьетнама

Рисунок 1.8 – Основные причины травматизма на шахтах Вьетнама

Рисунок 1.9 – Гистограммы распределения запасов угля шахты «Хечам»

Рисунок 1.10– Типичный инженерно–геологический разрез месторождения «Хечам» по линии Т.Іхс

Рисунок 1.11 – Геологический разрез месторождения «Хечам» по линии Т.ІХс

Рисунок 1.12 – Схема вскрытия шахты «Хечам»

Рисунок 1.13 – Выкопировка из плана горных выработок по угольному пласту 14–5 (шахта «Хечам»)

Рисунок 1.14 – Соотношение различных категорий средств крепления лав шахты «Хечам» в период с 2013 по 2022 год

Рисунок 1.15 – Прогрессивная технологическая схема разработки мощного наклонного пласта механизированным комплексом ZFY–5000/16/28 с выпуском угля подкровельной толщи на завальный конвейер

Рисунок 1.16 – Система разработки с выпуском угля подкровельной толщи с использованием гидравлической комплектной крепи ZH или GK

Рисунок 2.1 – Предотвращение внезапного притока воды в штреках угольной шахты «Киевская» в Украине

Рисунок 2.2 – Схема технологии нагнетания цементного раствора в полость вывала с дневной поверхности

Рисунок 2.3 – Технология нагнетания цементного раствора из проходимой горной выработки

Рисунок 2.4 – Схема расположения глиноцементных скважин в шахтной двора на уровне 960 м

Рисунок 2.5 – Схема оборудования скважин, используемых в способе глинирования

Рисунок 2.6 – Принципиальная схема укрепления грунта и породы жидким битумом

Рисунок 2.7 – Принципиальная схема метода замораживания

Рисунок 2.8 – Укрепление угольного массива химической смесью в лаве

Рисунок 2.9 – Технологии повышения устойчивости подкровельного слоя и забоя лавы путём установки деревянной (костровой) крепи

Рисунок 2.10 – Технологии укрепления угольного массива в лаве смесью химикатов

Рисунок 2.11 – Затяжка, применяемая при проходке подготовительных выработок по углям с низкими прочностными характеристиками (пласт 14–5, шахта «Хечам»)

Рисунок 2.12 – Самопроизвольные обрушения угля в марте, июне и августе 2018 г. по длине лавы 14–5.5 шахты «Хечам»

Рисунок 2.13 – Распределение параметров самопроизвольных обрушений угля по длине лавы 14–5.5 угольной шахты «Хечам» за 3 месяца 2018 г

Рисунок 2.14 – Укрепление угольных и каменных массивов химической смесью в проходке выработки

Рисунок 2.15 – Самопроизвольные обрушения угля в призабойном пространстве лав: причины и способы их предотвращения

Рисунок 3.1 – Характерные этапы нагружения подкровельной пачки угля до ее выпуска на завальный конвейер

Рисунок 3.2 – Типовые формы полостей, формируемых при обрушении угля из кровли и груди очистного забоя

Рисунок 3.3 – Механическая модель взаимодействия между угольным пластом, крепью и породой кровли

Рисунок 3.4 – Графическое изображение закона Кулона

Рисунок 3.5 – Процессы смачивания угольной массы

Рисунок 3.6 – Представительная структура угля

Рисунок 4.1 – Образцы угля были отобраны из забоя лавы

Рисунок 4.2 – Общий вид «мягкого угля»

Рисунок 4.3 – Электромеханическая универсальная испытательная машина ЦДМ 2,5 (Германия)

Рисунок 4.4 – Устройство для определения величины силы сцепления угля: N – сжимающая сила

Рисунок 4.5 – График зависимости сопротивления сдвигу от величины вертикальных нормальных сжимающих напряжений.

Рисунок 4.6 – Схема эксперимента на определение сопротивления сдвигу угля

Рисунок 4.7 – – График зависимости касательных напряжений τ от нормальных напряжений σ и при использовании воды без добавок

Рисунок 4.8 – График зависимости касательных напряжений τ от нормальных напряжений σ при использовании воды с растворённой в ней каменной солью

Рисунок 4.9 Влияние влажности угля на силу сцепления «мягких» углей при продолжительности их увлажнения равной 4–5 часов

Рисунок 4.10 – Образцы угля для испытания на предел сопротивления сдвигу

Рисунок 4.11 – Влияние продолжительности увлажнения на силу сцепления угля с влажностью 15%

Рисунок 4.12 – Испытательная машина и пробы угля влажностью 15%

Рисунок 4.13 – Влияние времени на прочность образцов угля с влажностью 15 %

Рисунок 4.14 – Общий вид модели

Рисунок 4.15 – Система разработки с выпуском угля подкровельной толщи

Рисунок 4.16 – Дробление угля с использованием барабанной шаровой мельницы

Рисунок 4.17 – Подготовка угля и загрузка модели

Рисунок 4.18 – Шаги по разработки модели

Рисунок 4.19 – Состояние забоя лавы при различной влажности угля

Рисунок 4.20 – Влияние влажности угля на суммарную площадь обрушений угля из забоя лавы

Рисунок 4.21 – Влияние влажности угля (%) на процесс деформирования и обрушения подкровельной угольной пачки

Рисунок 4.22 – Влияние влажности угля на суммарную площадь обрушения угля подкровельной пачки

Рисунок 4.23 – Влияние влажности угля на площадь вывалов из подкровельной пачки при различном расстоянии (S) от крепи до забоя лавы

Рисунок 5.1 – Технологическая схема нагнетания жидкости в угольный массив через шпур и короткие скважины, пробуренные из очистных забоев

Рисунок 5.2 – Технологическая схема нагнетания жидкости в угольный пласт впереди забоя лавы из подготовительных горных выработок через длинные скважины

Рисунок 5.3. Влияние времени и расхода воды при ее нагнетании нагнетании в пласт на расстояние между скважинами для пластов мощностью до 7 м

Рисунок 5.4. Влияние времени нагнетания и мощности пласта на расстояние между скважинами при расходе воды при ее нагнетании в пласт около 10 л/мин.

Рисунок 5.5. Процесс осмоса жидкости в пористый угольный пласт на конечно–элементной модели

Рисунок 5.6 – Технологическая схема отработки пласта угля с низкими прочностными характеристиками (вариант 1)

Рисунок 5.7 – Технологическая схема отработки пласта угля с низкими прочностными характеристиками (вариант 2)

Рисунок 5.8 – Гидравлический буровой станок типа WDP–1C

Рисунок 5.9 – Выкопировка из плана горных работ (экспериментальный участок), технология нагнетания воды в угольный пласт через скважины впереди забоя лавы из противопожарно–оросительного трубопровода

Рисунок 5.10 – Бурение из подготовительных горных выработок через длинные скважины

Рисунок 5.11 – Забой лавы

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1.1 – Общие запасы угля Социалистической Республики Вьетнам

Таблица 1.2 – Запасы угольных пластов с «мягкими углями» на перспективных шахтах Куангнинского бассейна

Таблица 1.3 – Промышленные запасы угля на шахте «Хечам»

Таблица 1.4 – Физико–механические свойства горных пород

Таблица 2.1 – Результаты применения метода повышения устойчивости выработок химической смесью в процессе их проходки на некоторых шахтах Вьетнама

Таблица 2.2 – Физико–химические свойства компонентов клея системы Erkadol–К/Erkadur

Таблица 3.1 – Результаты расчетов расстояния от кромки забоя подсечного слоя до максимума опорного давления

Таблица 4.1 – Результаты определения показателей физико–механических свойств «мягких» углей

Таблица 4.2 – Результаты испытаний по определению сопротивления сдвигу и силы сцепления образцов угля при различной их влажности

Таблица 4.3 – Влияние фактора времени на силы сцепления угля с влажностью 15% (вода с добавками)

Таблица 4.4 – Результаты испытаний по определению прочности образцов угля с влажностью 15 % во времени

Таблица. 4.5 – Исходные параметры модели

Таблица 4.6 – Зависимость угольной массы от влажности угля

Таблица 4.7 – Результаты испытания моделей с различной влажностью угля (от 1,1 до 25%)

Таблица 5.1– Технические характеристики гидравлического бурового станка

Таблица 5.2 – Технические характеристики гидравлической буровой станка

Таблица 5.3 – Технические параметры скважин для нагнетания воды в угольный пласт

Таблица 5.4 – Техничко–экономические показатели лавы 14–5.16 до и после нагнетания воды в пласт

Таблица 5.5 – Сравнение основных производственных и эксплуатационных затрат на очистные работы до и после нагнетания воды в пласт при работе лавы 14–5.16.

Таблица 5.6 – Сравнение основных критериев экономической эффективности очистной выработки до и после нагнетания воды лавы 14–5.16.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022684076

**Программа для вычисления радиуса эффективного
регионального увлажнения угольного пласта при
разработке пластов с низкими прочностными
характеристиками угля**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Тхан Ван Зуи (VN), Зубов Владимир Павлович (RU),
Федоров Анатолий Сергеевич (RU)*

Заявка № 2022680111

Дата поступления 31 октября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 декабря 2022 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Документ подписан электронной подписью
Сертификат 6068007702 4 390694e8bd24145d5c7
Владимир Зубов Юрия Сергеевич
Действителен с 01.01.2022 по 26.05.2025

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт о внедрении результатов

K/T GIÁM ĐỐC
PHÓ GIÁM ĐỐC Утверждаю

Заместитель директора угольной
Компании «Хечам» - Винакомин, Вьетнам
Луонг Тхань Чунг

20/06/2023 г.



АКТ

о внедрении результатов
кандидатской диссертации

Тхан Ван Зуи

по научной специальности 2.8.8 Геотехнология, горные машины

Комиссия (НТС, рабочая, специальная) в составе:

Председатель: Чан Куанг Туан;

Члены комиссии: Май Дык Тинь, До Чонг Тан


составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Разработка технологии подземной выемки пластов с низкими прочностными характеристиками угля для условий шахт Куангниньского бассейна (Вьетнам)», представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы при отработке мощных пологих и наклонных угольных пластов (пласты 14.5) с низкими прочностными характеристиками в условиях шахты «Хечам» Куангниньского угольного бассейна.

Основные результаты исследования диссертации: обладают актуальностью, представляют практический интерес и применяются для разработки угольных пластов с низкими прочностными характеристиками на шахте «Хечам» и изначально дали хорошие результаты.


Использование указанных результатов позволяет:

- повысить устойчивость угольного массива впереди забоя лавы при нагнетании воды в угольный пласт. Суть решения заключается в том, что когда влажность угля достигает определённого уровня, увеличивается пластичность, устойчивость угольного массива и сила сцепления между частицами, при этом снижается хрупкость;
- уменьшить частоту самопроизвольных обрушений угля из подкровельной пачки угля и его высыпания из забоя;
- увеличить скорость подвигания забоя лава и повысить безопасность горных работ.


Председатель комиссии

Начальник отдела технологических разработок  Чан Куанг Туан

Члены комиссии:

Начальник отдела безопасности  Май Дык Тинь

Главный инженер

 До Чонг Тан