

*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*

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2023

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор

*Зубов Владимир Павлович*

**Официальные оппоненты:**

*Игнатов Виктор Николаевич*

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Горное дело», заведующий кафедрой;

*Румянцев Александр Евгеньевич*

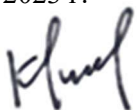
кандидат технических наук, ООО «Институт Гипроникель», лаборатория геотехники, главный специалист.

**Ведущая организация** – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва.

Защита диссертации состоится 21 сентября 2023 года в 10 ч 30 мин. на заседании диссертационного совета ГУ.2 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, ауд. № 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).  
Автореферат разослан 21 июля 2023 г.

УЧЕНЬЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ  
Евгений Ростиславович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

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 Куангиньского 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–механизованная 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.

Содержание диссертации соответствует **паспорту научной специальности** по пунктам п.1 «Научные основы создания и развития технологий и оборудования для комплексного освоения и сохранения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях.», п.5 «Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых».

**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.

**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.

**На защиту выносятся следующие положения:**

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 простоев 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 диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 4 печатных работах, 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.

**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.

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены

основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведён анализ современного состояния и перспектив развития шахтного фонда Вьетнама. Сделаны выводы о перспективных технологиях отработки пологих мощных угольных пластов. Приведена характеристика объекта исследований.

**Во второй главе** выполнен анализ практического опыта подземной разработки пластов угля с низкими прочностными характеристиками на шахтах Вьетнама, Китая, России и других стран мира.

**В третьей главе** приведены результаты исследований и анализ научных основ повышения устойчивости угольных обнажений при отработке мощных пластов угля с низкими прочностными характеристиками.

**В четвертой главе** приведены результаты исследований на моделях из эквивалентных материалов влияния степени увлажнения угольного массива на его устойчивость в призабойном пространстве лавы, а также результаты экспериментов по определению физико-механических характеристик «мягких» углей.

**В пятой главе** рассмотрена рекомендуемая технология подземной разработки мощных пластов угля с низкими прочностными характеристиками. Выполнена технико-экономическая оценка рекомендуемой технологии для условий шахты «Хечам».

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

**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.**

Удельный вес подземной добычи угля из лав при использовании системы разработки мощных пластов длинными столбами с выпуском угля подкровельной пачки за последнее 10-15 лет на шахтах Вьетнама составил около 60%.

При переходе горных работ на более глубокие горизонты все



большую актуальность для шахт бассейна Куангнинь приобретают вопросы, связанные с отработкой пластов, характеризующихся низкими прочностными характеристиками.

В работе приведены результаты исследований для условий отработки угольных пластов 7, 9, 10 и 14-5

на шахтах Куангниньского угольного бассейна с балансовыми запасами угля более 165 млн т., что составляет около 50 % общих балансовых запасов угля. Указанные пласты во Вьетнаме называют пластами с «мягкими» углями. Отличительными признаками этих пластов являются: большое количество слоёв угля, толщина которых составляет 0,5-5,0 см; низкая естественная влажность угля (0,8-1,3%); низкая устойчивость угольного массива при его обнажении очистными работами.

Шахтные исследования показали, что 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, исчисляемые секундами; обрушившийся уголь в навале характеризуется фракциями до 2-4 мм (не менее 95%); небольшой угол (до 30 град) естественного откоса обрушившейся угольной массы в движении.

Масса угля, поступающего в призабойное пространство лавы, при разовом самопроизвольном обрушении угля из забоя и покровельной пачки составляет 1,5-2,0 т и более, высота полостей над перекрытием крепи достигает мощности подкровельного слоя (до 2,5м и более), ширина зоны высыпания угля впереди забоя лавы составляет до 2-3 мощностей подсечного слоя (Рисунок 1а). Данный процесс начинающийся, как правило, с высыпания угля из забоя лавы, оказывает существенное отрицательное влияние на безопасность горных работ, производительность труда и себестоимость добычи угля. Доля производственного травматизма, связанного с обрушениями угля в призабойном пространстве лав, является максимальной (более 35%) по сравнению с другими причинами несчастных случаев.

В течение трех месяцев наблюдений в лаве 14-5 постоянно

происходили самопроизвольные высыпания угля из забоя лавы на глубину 1,0-2,5 м, сопровождавшиеся обрушениями подкровельного слоя на высоту 0,8-1,8 м. Суммарная длина участков, в пределах которых происходили опасные обрушения угля, достигала 40-60% длины забоя лавы. На практике эту задачу решают путем установки в образовавшихся пустотах костров из деревянных стоек (Рисунок 1б).

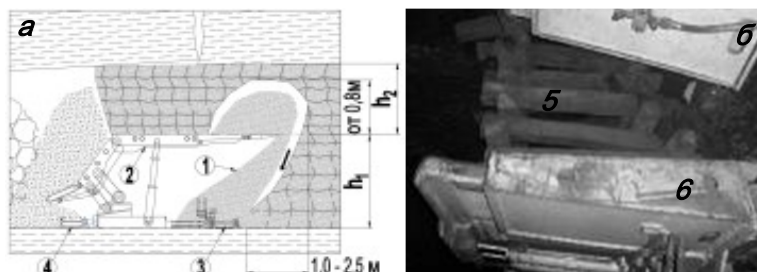


Рисунок 1 – Типовые ситуации в очистном забое при отработке пластов с «мягкими» углями: а) характерная форма вывала угля; б) костры из деревянных стоек 5 над секциями крепи 6

На рисунке 1: 1 – навал угля после обрушения подкровельного слоя и забоя лавы; 2 – перекрытие механизированной крепи; 3 – забойный конвейер; 4 – завальный конвейер;  $h_1$ ,  $h_2$  – мощность подсечного слоя и подкровельной пачки соответственно.

Проведение мероприятий по устранению негативных последствий обрушений угля обычно приводят к простоям лав и невосполнимым потерям добычи до 10-15% и больше. Наиболее резкое увеличение частоты самообрушений угля в призабойном пространстве лавы наблюдается после ее простоев. Из практического опыта следует, что для устранения последствий крупных аварий обычно требуется до 8-12 рабочих смен.

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 в качестве затяжки крепи металлических решеток с размерами ячеек 10×10 см не исключало интенсивного высыпания угля из кровли выработки. Положительный эффект был достигнут только после прокладки между кровлей и металлическими

решетками бамбукового полотна.

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, сделан вывод о том, что предотвращение этих опасных случайных событий путем изменения конструкций и параметров механизированных крепей очистного забоя не позволит получить существенных положительных эффектов. Эти мероприятия также, как и сооружение костров на перекрытиях крепи (Рисунок 1), не устраняют причин самопроизвольных обрушений забоя лавы и подкровельного слоя.

Условия для снижения интенсивности обрушения «мягких» углей в призабойном пространстве лавы могут быть созданы при применении превентивных способов, позволяющих повысить устойчивость угольных обнажений в призабойном пространстве лав.

**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%.**

В соответствии с идеей работы для снижения интенсивности самопроизвольных обрушений угля в лавах при отработке пластов угля с низкими прочностными характеристиками с определенным опережением лавы в угольный пласт необходимо нагнетать жидкость, например, на основе шахтной воды. Это позволит увеличить силы сцепления между отдельными частицами угля и повысить устойчивость угольных обнажений в течение времени передвижки крепи.

Исследования влияния влажности на сцепление «мягких» углей проведены в лаборатории физико-механических свойств и разрушения горных пород Санкт-Петербургского горного университета. Для проведения исследований использован уголь, отобранный из забоев лав при отработке пласта 14-5 (шахта

«Хечам») на глубинах 260-300м. Для сохранения естественной влажности (0,8-1,3%) образцы угля сразу после их извлечения из пласта размещались во влагонепроницаемых пакетах.

Результаты эксперимента: предел прочности при одноосном сжатии 1,11-4,8 МПа; предел прочности при растяжении 0,34-1,87 МПа; сила сцепления 0,68-2,04 МПа; угол внутреннего трения – 8,5- 16,8.

Исследования влияния влажности угля на устойчивость забоя лавы и подкровельного слоя проведены в лабораторных условиях на модели (Рисунок 2), 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).

Результаты экспериментов показали, что влажность угля оказывает неоднозначное влияние на устойчивость угольных обнажений (Рисунок 3).

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 5-10 м, глубина распространения зоны разрушенного угля впереди забоя лавы примерно равна мощности подсечного слоя (2,2- 2,5м).

Влияние увлажнения угля на устойчивость подкровельной пачки угля иллюстрируется графиком на рисунке 3. Как следует из графика на рисунке 3 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.

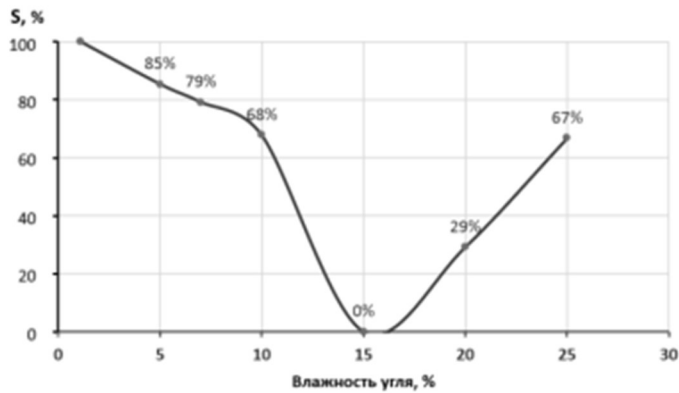


Рисунок 3 – Влияние влажности угля на площадь обрушения угля подкровельной пачки

Величину силы сцепления угля при различной его влажности определяли в соответствии с апробированной методикой, применяемой в Санкт–Петербургском горном университете (Рисунок 4). Для экспериментов использовались два варианта воды: водопроводная и водопроводная с растворенной в ней каменной солью.

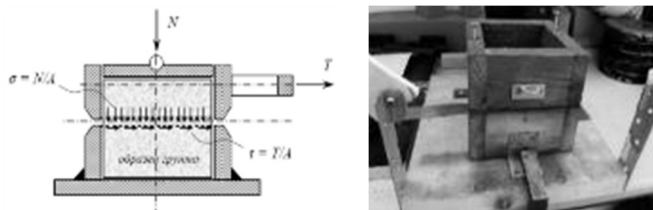


Рисунок 4 – Устройство для определения величины силы сцепления угля:  $N$  - сжимающая сила;  $T$  - сдвигающая сила;  $A$  - площадь поперечного сечения образца

Результаты экспериментов показали, что при использовании воды

без добавления соли увеличение влажности от 1,1% до 15% приводит к постепенному увеличению силы сцепления угля (Рисунки 5 и 6). Увеличение влажности до 20-25% снижает силы сцепления угля.

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 %.

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.

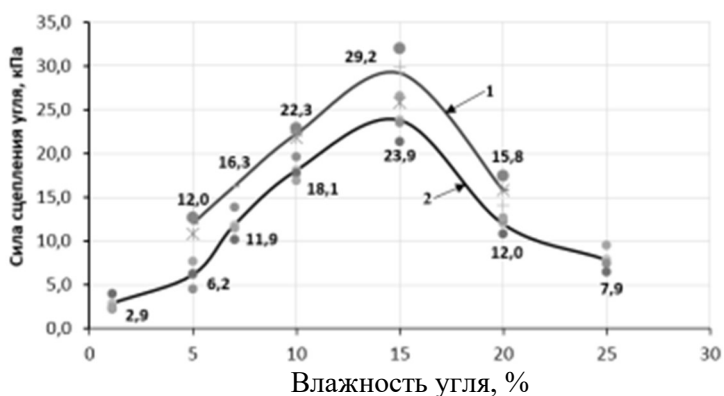


Рисунок 5 – Влияние влажности угля на силу сцепления «мягких» углей при продолжительности их увлажнения равной 4–5 часов: 1) для воды с растворённой в ней каменной солью; 2) для воды без добавок каменной соли

Влияние продолжительности увлажнения угля на силу сцепления «мягких» углей иллюстрируется графиком, представленным на рисунке 7. При построении данного графика использованы данные с продолжительностью увлажнения угля от 5 до 70 часов. Влажность угля во всех случаях была равна 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.

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.

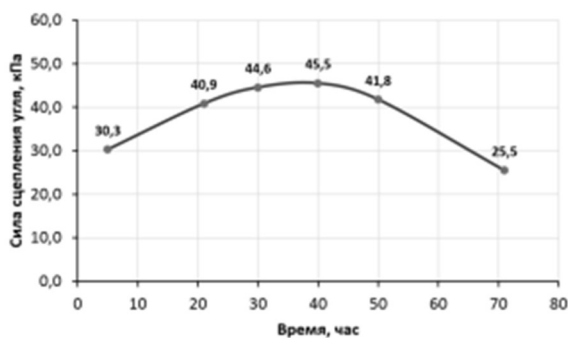


Рисунок 7 – Влияние продолжительности увлажнения на силу сцепления угля с влажностью 15%

**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 простоев лавы и увеличение объемов добычи не менее, чем на 15–20%.**

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

Сущность разработанных рекомендаций заключается в следующем. С определенным опережением забоя лавы в угольный пласт нагнетается раствор 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.

В зависимости от параметров системы разработки пласта и скорости подвигания лавы для условий шахт Куангнинского бассейна Вьетнама, обрабатывающих пласты с «мягкими» углями, рекомендуются технологические схемы, представленные на рисунках 8 и 9.

На рисунках 8 и 9: 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  $h_o$  – соответственно мощность подсечного слоя, подкровельной пачки, непосредственной кровли и основной кровли;

Технологическая схема, представленная на рисунке 8, предназначена для использования при отработке пластов угля механизированными комплексами. 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.

На рисунках 8 и 9 красными линиями заштрихованы участки выемочного столба с повышенным разрушением угля впереди забоя лавы 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  $x_1 \approx h_1$ ,  $x_2 \approx 1,5 h_1$ .

При подходе лав к зонам с повышенными разрушениями угля очистные работы рекомендуется вести с максимально возможной скоростью подвигания лавы. Не исключается необходимость проведения на рассматриваемых участках дополнительных мероприятий по повышению устойчивости угольных обнажений.

Основными параметрами рекомендуемых схем (Рисунки 8 и 9), от правильности определения которых зависит их техническая и экономическая эффективность, являются: содержание воды (%) в разрушенном угле, обеспечивающее наибольшее сцепление отдельных частиц угля; расстояние между скважинами; величина



угла  $\beta$  между осями скважин и линией очистного забоя.

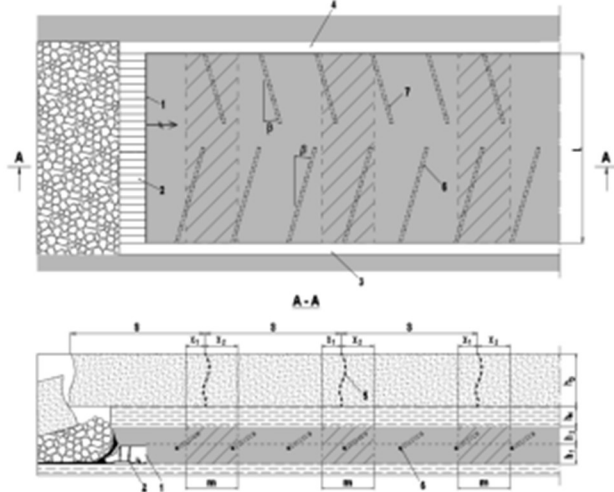


Рисунок 8 – Технологическая схема обработки пласта угля с низкими прочностными характеристиками (вариант 1)

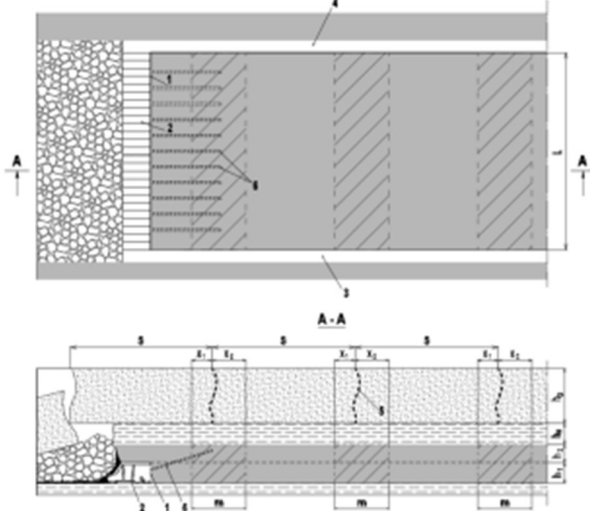


Рисунок 9 – Технологическая схема обработки пласта угля с низкими прочностными характеристиками (вариант 2)

Анализ результатов выполненных исследований с учетом

данных, приведенных в «Инструкции по борьбе с пылью в угольных шахтах», позволяет сделать выводы относительно качественных и количественных параметров технологических схем (Рисунки 8 и 9), рекомендуемых при отработке пластов с «мягкими» углями. 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  $\beta$  между осями скважин и линией очистного забоя (Рисунок 8) рекомендуется принимать равной  $15^{\circ}$ .

Опытно-промышленная проверка рекомендуемой технологической схемы, представленной на рисунке 8, проведена в лаве 14-5.16 шахты «Хечам». При проведении данного эксперимента расстояние между скважинами, определенное с учетом эффективного радиуса водопроницаемости угольного массива при нагнетании в него воды, составляло 14-16 м; длина скважины 50-80 м; продолжительность нагнетания воды в скважину 4-7 суток; давление при нагнетании воды 6-10 МПа; темп нагнетания воды 100-140 л/мин; удельный расход шахтной воды на  $1 \text{ м}^3$  угля от 0,13-0,18  $\text{м}^3$ ; влажность угольного пласта после нагнетания воды составляла 10-17%.

Применение разработанной технологии (Рисунок 10) на шахте «Хечам» в течение 3-х месяцев (с 7 по 10.2022 г.), позволило: увеличить устойчивость угольных обнажений в призабойном пространстве лавы; снизить затраты на дополнительное крепление; уменьшить частоту самопроизвольных обрушений угля из кровли и высыпания его из забоя; увеличить скорость подвигания лавы с 15-20 м до 30-35 м в месяц; повысить производительность труда на 14%, а добычу угля увеличить с 21 000 т/мес до 37 000 т/мес по сравнению с работой в не увлажнённом угольном массиве.

### **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 высypаний 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 ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК:*

1. Сокол, Д.Г. Актуальные проблемы и перспективы совершенствования охраны повторно используемых подготовительных выработок при отработке калийных пластов / Д.Г. Сокол, Ле Куанг Фук, **Тхан Ван Зуи** // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 33–43. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–12–0–33–43.

2. 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). – С. 3–18. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_5\_2\_3.

3. 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. 37–45. Doi: <http://dx.doi.org/10.18796/0041–5790–2023–5–41–49>

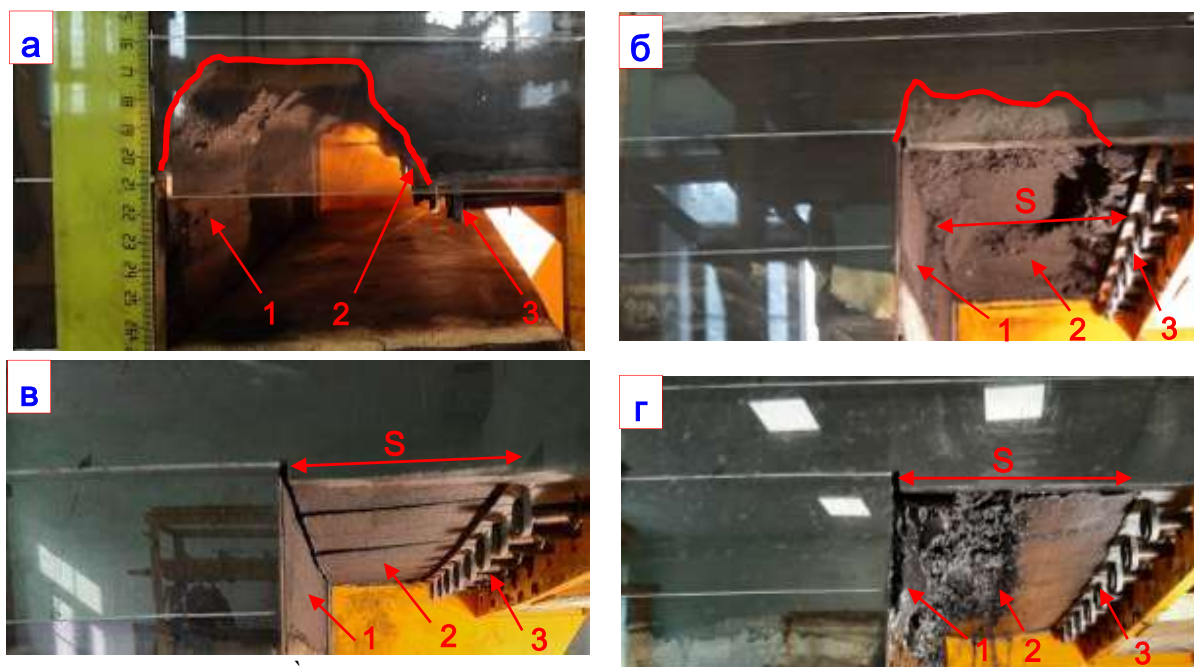
*Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus:*

4. Phuc, L.Q. Influence of the main roof on the parameters of the abutment pressure zone in the selvedge of the seam / Phuc L.Q., Dmitriev P.N., **Van Duy T.**, Yunpeng L. // Mining Informational and Analytical Bulletin. - 2022. - № 6-1. - P. 68-82. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_68.

*Свидетельство:*

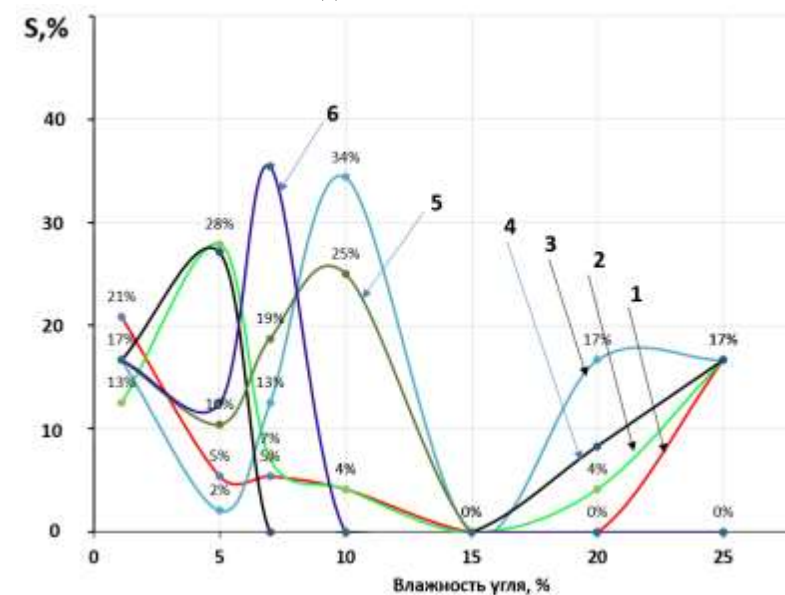
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022684076 Российская Федерация. Программа для вычисления радиуса эффективного регионального увлажнения угольного пласта при разработке пластов с низкими прочностными характеристиками угля: № 2022680111: заявл. 31.10.2022: опубл. 12.12.2022 / **Тхан Ван Зуи**, В.П. Зубов, А.С. Федоров; заявитель СПГУ – 1 с.

Состояние подкровельной пачки при различной влажности угля



а, б, в, г при влажности угля 1%; 5-7%; 15%; 20-25%; 1– забой лавы; 2– подкровельная угольная пачка; 3– верхняк лавной крепи

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

Рисунок 2 – Примеры результатов лабораторных исследований влияния влажности угля на устойчивость подкровельного слоя

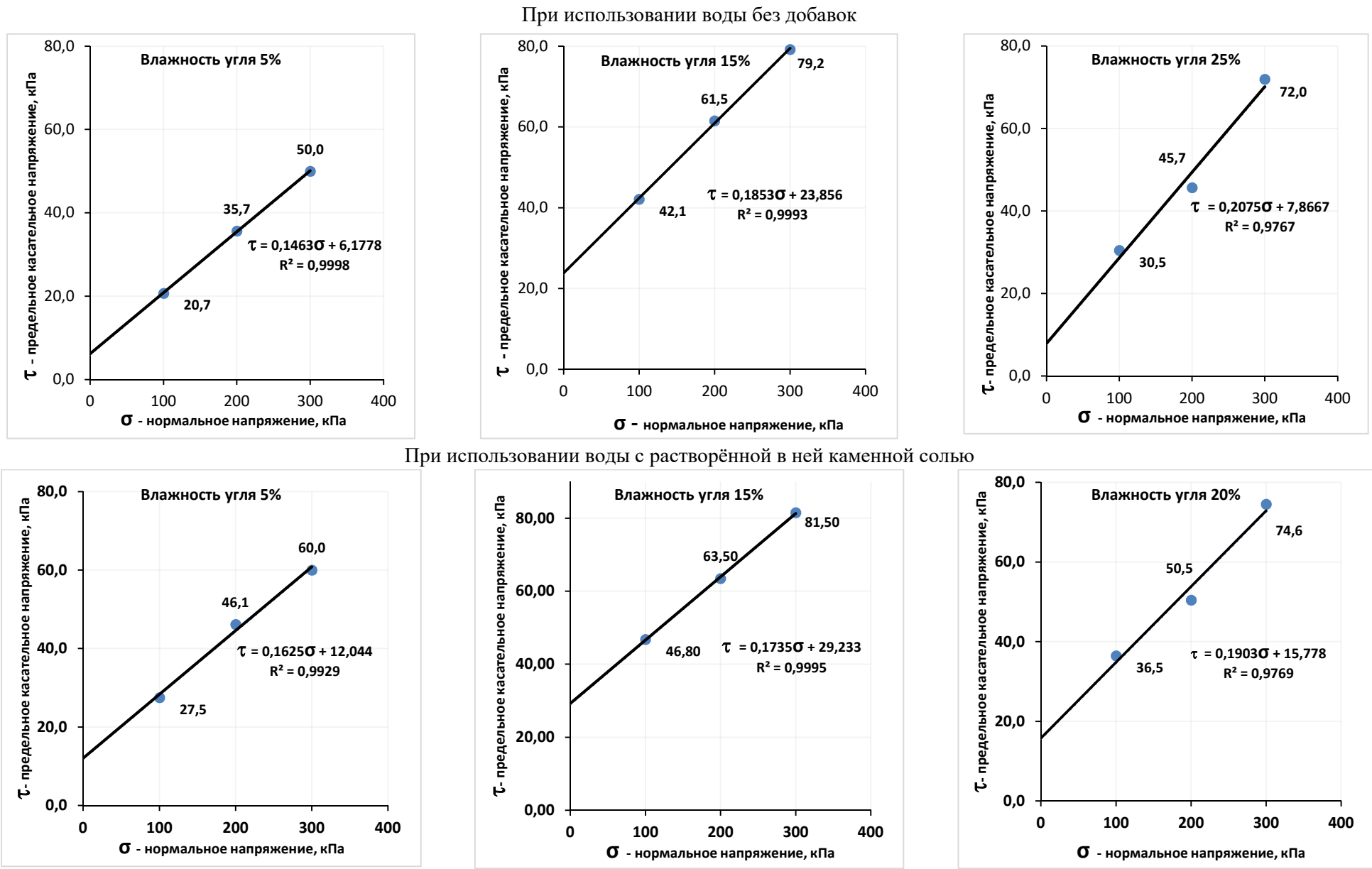
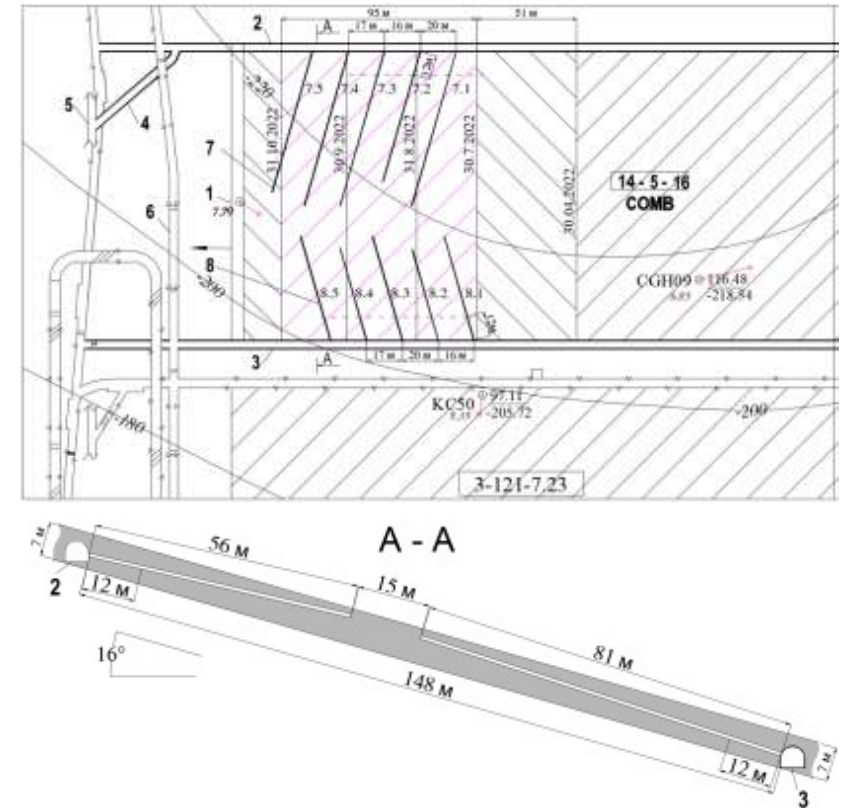


Рисунок 6 – Результаты экспериментов по исследованию влияния нормальных напряжений ( $\sigma$ ) на величину предельных касательных напряжения ( $\tau$ )

Технико-экономические показатели лавы 14-5.16 до и после нагнетания воды в пласт

Показатели	Единица 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 <sup>3</sup>	-	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

Выкопировка из плана горных работ



1 – забой лавы; 2, 3 вентиляционный и транспортный штреки; 4 – печь; 5– уклон; 6– вентиляционный ходок ; 7, 8 – скважины,

Рисунок 10 – Результаты опытно – промышленной проверки рекомендуемой технологии в лаве 14-5.6 шахты «Хечам» (Вьетнам)