

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

На правах рукописи

Ли Юньпэн



Разработка технологии слоевой выемки мощных пологих пластов угля
с труднообрушающимися породами кровли
(на примере шахты «Хан Лайвань», Китай)

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 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТАХ ЮЙШЭНЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАССЕЙНА ЮЙШЭНЬФУ	10
1.1 Горно-геологические условия Юйшэньского месторождения каменноугольного бассейна Юйшэньфу	10
1.2 Горно-геологические условия отработки пластов на шахте «Хан Лайвань»....	16
1.3 Состояние технологических схем отработки мощных пологих пластов на шахте «Хан Лайвань».....	25
1.4 Выводы по главе 1	36
ГЛАВА 2 ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТАХ КИТАЯ	37
2.1 Роль мощных пластов угля при решении задач угольной промышленности Китая.....	37
2.2 Разработка мощных угольных пластов одним слоем на всю мощность пласта.....	39
2.3 Разработка угольных пластов с разделением их на наклонные слои.....	42
2.4 Механизированная технология добычи с выпуском подкровельной пачки угля в призабойное пространство лавы.....	47
2.5 Направления совершенствования технологий разработки мощных угольных пластов.....	52
2.6 Выводы по главе 2	54
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНО -ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МОЩНОСТЬ МЕЖСЛОЕВОЙ ЗАЩИТНОЙ УГОЛЬНОЙ ПАЧКИ	56
3.1 Исследования напряженно-деформированного состояния надрабатываемого угольного массива при ведении очистных работ в верхнем слое	56
3.2 Влияние горнотехнических факторов на минимально необходимую мощность межслоевой защитной угольной пачки	75

3.3 Лабораторные исследования процессов деформирования и разрушения межслоевой защитной угольной пачки на моделях из эквивалентных материалов	80
3.3.1 Методика исследования	80
3.3.2 Результаты лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов	83
3.4 Выводы по главе 3	91
ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ МОЩНОГО ПЛАСТА В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ "ХАН ЛАЙВАНЬ"	92
4.1 Особенности горно-геологических и горнотехнических условий шахты "Хан Лайвань	92
4.2 Рекомендуемая технология отработки мощного пласта двумя наклонными слоями в условиях шахты "Хан Лайвань"	94
4.3 Техничко-экономическая оценка рекомендуемой технологии	99
4.4 Выводы по главе 4	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	107
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	122
ПРИЛОЖЕНИЕ А Свидетельство о государственной регистрации базы данных	126
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	127
ПРИЛОЖЕНИЕ В Акт о внедрении результатов диссертации	128

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

К числу перспективных систем разработки пологих и наклонных угольных пластов мощностью более 7-8м на шахтах Китая, России, Вьетнама и других угледобывающих стран относятся системы разработки длинными столбами с разделением пластов на слои и оборудованием лав высокопроизводительными механизированными комплексами. Комплексно-механизированная технология очистных работ с разделением пластов на слои в последние 15-20 лет широко используется на шахтах Китая (шахты «Хан Лайвань», "Сунлоу", "Жэнган", "Люцзялян" и др.). Применение варианта данной технологии с разделением пласта на два наклонных слоя при отработке пологих угольных пластов мощностью 8-12м позволяет значительно снизить потери угля и трудоёмкость очистных работ, а также повысить производительность труда по сравнению с альтернативной технологией, предусматривающей обрушение и выпуск угля подкровельной толщи.

Степень разработанности темы исследования.

Вопросами, связанными с повышением эффективности отработки мощных пластов занимались и занимаются в настоящее время многие научно-исследовательские организации в Китае, России, Вьетнаме и других угледобывающих странах. Большой вклад в решение этих вопросов внесли N. Zhang, B. G. Wang, X. G. Zheng, В.П. Зубов, Ю.В. Громов, Д. Ю. Никишин, В.И. Клишин, В.В. Семенов, Е.Я. Махно, В.А. Еременко, И.А. Шундулиди, Н.М. Качурин, В.В. Мельник, Т. З. Ву и др. В результате ранее выполненных исследований разработаны рациональные схемы одновременной и последовательной отработки слоев, способы управления состоянием горного массива при ведении очистных работ в слоях, а также методики определения мощности слоев для различных горнотехнических ситуаций. При этом в качестве основного рассматривался вариант с оставлением между отработываемыми наклонными слоями защитных пачек угля.

Вместе с тем анализ практического опыта отработки мощных угольных пластов показал, что существенными недостатками данного варианта являются значительные эксплуатационные потери угля в защитных межслоевых пачках, достигающие 10-12% и более балансовых запасов выемочных участков, а также повышенная опасность очистных работ в призабойном пространстве лав надрабатанных слоев. Наибольшими фактическими потерями угля характеризуется отработка пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы.

Объект исследования – Технологии отработки мощных (8-12м) пологих и наклонных угольных пластов наклонными слоями.

Предмет исследования – Процессы деформирования и разрушения межслоевых пачек угля при слоевых системах разработки.

Цель работы:

Обоснование параметров технологии слоевой выемки мощных (8-12м) пологих угольных пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы, обеспечивающих снижение эксплуатационных потерь угля и повышение безопасности очистных работ в надрабатываемых слоях.

Идея работы: заключается в том, что при слоевой выемке мощных пологих угольных пластов толщину защитной межслоевой пачки необходимо принимать с учётом наиболее неблагоприятного сочетания влияющих факторов, а очистные работы в надрабатываемом слое вести с обрушением и выпуском угля, содержащегося в защитных межслоевых пачках, на завальный конвейер.

Задачи исследования:

1. Установление на основании анализа мирового практического опыта отработки пологих мощных угольных пластов, наиболее эффективных способов предотвращения обрушений пород кровли в лавах надрабатываемых слоев.

2. Определение особенностей геологических и горнотехнических условий отработки пологих мощных угольных пластов в условиях шахты «Хан Лайвань» (Юйшэньский бассейн, Китай).

3. Оценка влияния горнотехнических факторов на напряженно-деформированное состояние межслоевой защитной угольной пачки.

4. Обоснование методики оценки минимально необходимой толщины межслоевой защитной угольной пачки для различных стадий деформирования основной кровли пласта.

5. Разработка ресурсосберегающей безопасной технологии выемки мощного (8-12м) пологого угольного пласта с разделением его на два наклонных слоя.

Научная новизна:

1. Установлена зависимость глубины разрушения угля в нижнем слое под воздействием опорного давления, формируемого впереди забоя лавы верхнего слоя, от стадии деформирования труднообрушающихся пород основной кровли в выработанном пространстве лавы верхнего слоя.

2. Установлено, что при отсутствии защитной межслоевой пачки угля процесс обрушения пород в призабойном пространстве лавы надроботанного слоя связан, как правило, с отжимом угля в верхней части забоя лавы, ослабленной трещинами, сформированными в зоне опорного давления лавы вышерасположенного слоя.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Исследована динамика напряженно-деформированного состояния межслоевой защитной пачки угля при ее надрботке под воздействием опорного давления лавы верхнего пласта.

2. Использование разработанной технологии при выемке мощных пологих и наклонных пластов позволяет повысить безопасность очистных работ в лавах надроботанного слоя по фактору «обрушение защитной межслоевой пачки и пород кровли»; снизить эксплуатационные потери угля на 10-15% и более; уменьшить вероятность возникновения эндогенных пожаров в выработанном пространстве.

3. Реализация разработанной технологии в горнотехнических условиях пласта №3 (шахта «Хан Лайвань») позволяет дополнительно добыть при

отработке одного выемочного столба по нижнему слою около миллиона тонн высококачественного ликвидного угля.

4. Результаты исследований используются при слоевой системе разработки мощного пологого угольного пласта № 3 с труднообрушающимися породами кровли в условиях шахты «Хан Лайвань» Юйшэньского угольного бассейна. Имеется акт внедрения результатов диссертации угольной компанией «Юйлинь», Китай от 14.04.2023 г. (Приложение В).

Методология и методы исследования.

Для решения поставленных задач был использован комплексный метод исследований, включающий анализ практического опыта отработки мощных угольных пластов, лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов; компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния пласта на различных стадиях его отработки, с использованием метода конечных элементов.

Положения, выносимые на защиту

1. Использование известных технологий слоевой выемки мощных пологих и наклонных угольных пластов не позволяет снизить уровень эксплуатационных потерь угля в пределах выемочного участка до величин менее 10-12 % балансовых запасов и не обеспечивает, как правило, безопасности ведения очистных работ в призабойном пространстве лавы надрабатываемого слоя по фактору «обрушение межслоевой защитной пачки и пород кровли».

2. Повышение безопасности очистных работ в лавах надрабатываемого слоя по фактору «обрушение межслоевой защитной пачки угля и пород кровли» достигается при определении минимально необходимой толщины межслоевой защитной пачки угля с учетом глубины разрушения угля в надрабатываемом угольном массиве, установленной при наиболее неблагоприятном сочетании основных влияющих геологических и горнотехнических факторов, к числу которых относятся глубина работ, тип кровли пласта по ее обрушаемости в выработанном пространстве лавы верхнего слоя, прочностные характеристики угля.

3. Использование разработанной технологии выемки мощных (8-12м) пологих и наклонных угольных пластов, включающей обрушение и выпуск угля, содержащегося в защитной межслоевой пачке, на завальный конвейер, позволяет в несколько раз снизить эксплуатационные потери полезного ископаемого, повысить безопасность очистных работ в лавах наработанного слоя, исключить оставление больших масс угля в выработанном пространстве.

Степень достоверности результатов исследования.

Обеспечивается использованием комплексного метода, позволяющего всесторонне исследовать различные аспекты решаемой задачи; использованием современных апробированных методов лабораторных и аналитических исследований; положительной экспертной оценкой полученных данных специалистами шахты «Хан Лайвань».

Апробация результатов. Основные результаты выполненных исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях, в том числе: X Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Эффективное освоение месторождений полезных ископаемых» (г. Санкт-Петербург, октябрь 2020 г.); IV Международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (г. Санкт-Петербург, октябрь 2021 г.). В мае 2023 г. рекомендуемая технология обсуждалась и получила положительную оценку техническими работниками шахты «Хан Лайвань», КНР.

Личный вклад автора: заключается в формулировании цели и задач исследований; разработке методики и проведении лабораторных, шахтных и аналитических исследований; выполнении интерпретации полученных результатов; формулировке основных защищаемых положений и выводов

Публикации по работе.

Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 5 печатных работах (пункты списка литературы № 8, 9, 10, 12, 26), в том числе 2 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, 1 статья - в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено два свидетельства на программу для ЭВМ (пункты списка литературы № 40, 41, приложения А и Б).

Структура работы.

Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 125 наименований, списка иллюстративного материала и 3 приложений. Диссертация изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков и 8 таблиц.

Благодарности.

Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Зубову Владимиру Павловичу за помощь, оказанную при работе над диссертацией, сотрудникам кафедры РМПИ Горного университета и лаборатории моделирования Горного университета за помощь при подготовке диссертации и за помощь в организации и проведении лабораторных исследований.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТАХ ЮЙШЭНЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАССЕЙНА ЮЙШЭНЬФУ

1.1 Горно-геологические условия Юйшэньского месторождения каменноугольного бассейна Юйшэньфу

Юйшэньфуский угольный бассейн расположен на севере провинции Шэньси в центральной части богатого углем бассейна Ордос, в западной части северной оконечности провинции Шэньси, под юрисдикцией уездов (районов), таких как Юлинь Фугу, Шэньму, Юян, Хэншань, Цзинбянь и Динбянь (рисунок 1.1). Юйшэньфуский угольный бассейн Ордос (Дуншэн) во Внутренней Монголии распространяется в провинциях Нинся и Ганьсу на западе и юго-западе соответственно. Общие совокупные доказанные и прогнозные ресурсы угля составляют 211,173 млрд тонн, а совокупные доказанные и нераспределенные ресурсы угля составляют 136,056 млрд тонн [53, 91]. От простого до относительно простого строения угольные пласты обладают хорошей выдержанностью и непрерывностью, и это редкое гигантское угольное месторождение внутреннего окраинного происхождения в мире.

С начала 21 века угольные ресурсы юрских каменноугольных месторождений на севере провинции Шэньси вступили в стадию крупномасштабной разработки. В 2009 году государство заложило 13 крупных угольных шахт, из которых основная часть «Северная база Шэньси» и «База Шэндонг» расположены на этом угольном месторождении, которое включает в себя три общенациональных горнодобывающих района: Шэньфу, Юйшэнь и Юхэн [76, 89, 115]. В 2013 году добыча угля на месторождениях юрского возраста в северной части провинции Шэньси превысила 300 млн тонн, что составляет около 8,9% от общего объема добычи угля в стране (рисунок 1.4).

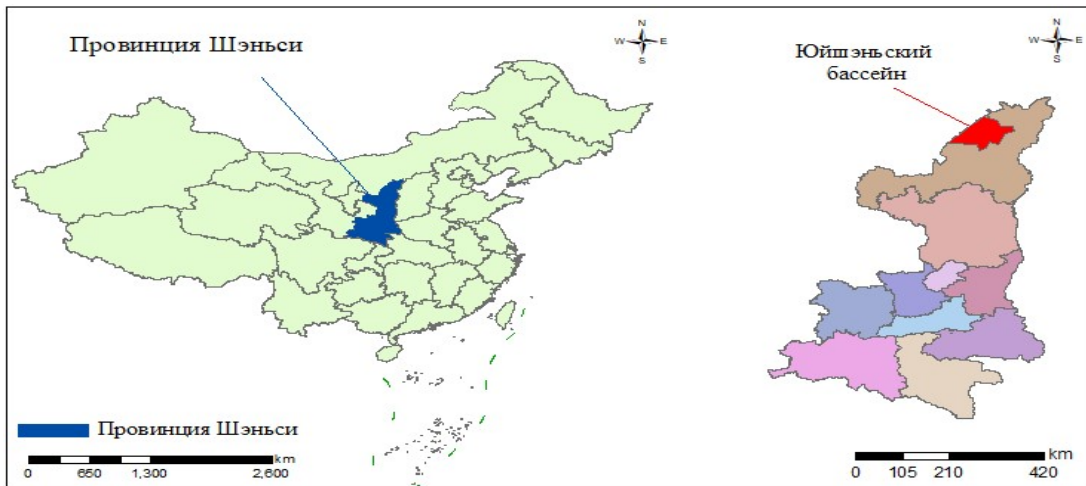


Рисунок 1.1 – Расположение Юйшэньфуского месторождения[61]

Месторождение Юйшэнь расположено на западе уезда Шенму с центром в городе Юйлинь и к северу от района Юян [91, 111]. Ширина района добычи составляет около 23-60 км с севера на юг и около 45-70 км в длину с востока на запад. площадь добычи составляет около 2735 км², а совокупные доказанные ресурсы угля — 47,969 млрд тонн. Яньаньская свита в пределах шахтное поле содержит от 9 до 23 угольных пластов, в среднем 18 пластов, из которых основные угольные пласты составляют 2 пласта: 2 и 3 (рисунок 1.2). Общая мощность извлекаемых угольных пластов на этом участке составляет 15,80-23,39 м (рисунок 1.5), в основном 18-20 м[61, 123].

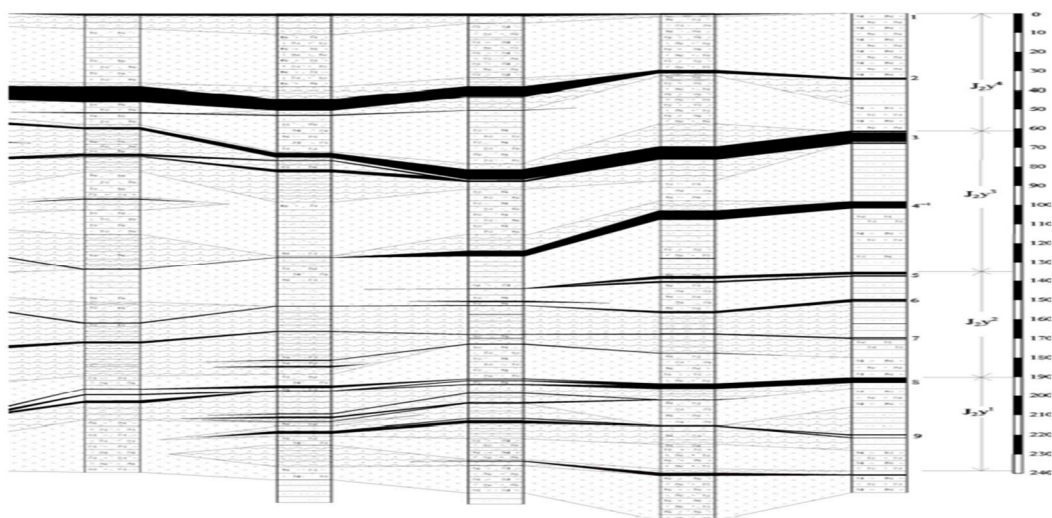


Рисунок 1.2 – Характерный структурный геологический разрез по Юйшэньскому месторождению[123]

Шахтный фонд Юйшэньского месторождения. В данный момент на территории Юйшэньского бассейна отработку угля подземным способом осуществляют следующие шахты (рисунок 1.3): «Ман Хуанлиан», «Хан Лайвань», «Юй Шувань», «Цао Цзятан», «Цзинь Цзитань», «Байлу», «Дизи Джи», «Шэньшань», «Гу Жиатан», «Сяо Баодан».

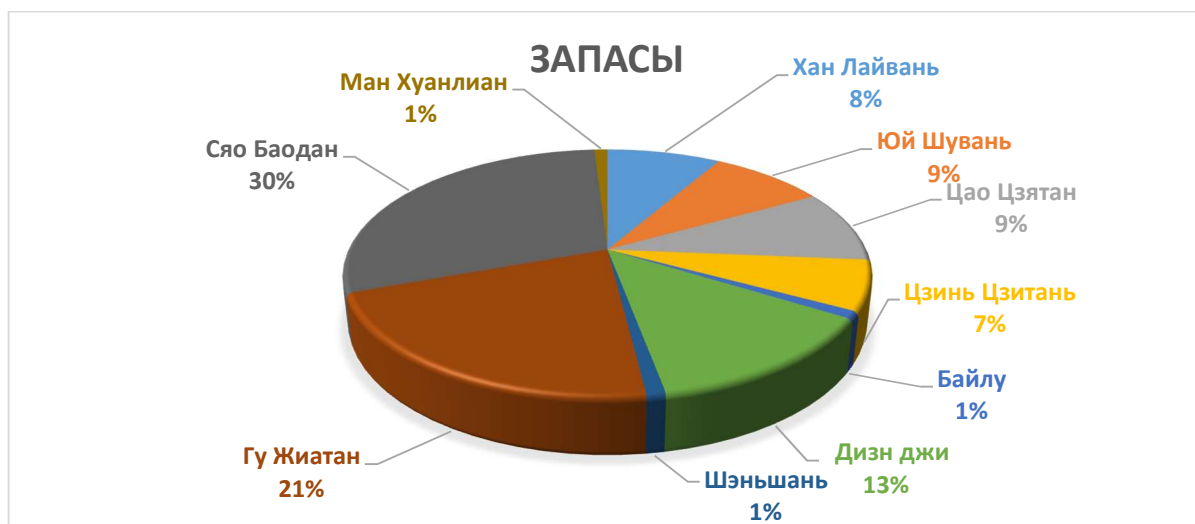


Рисунок 1.3 – Запасы угля на шахтах Юйшэньского месторождения [54, 83, 86]

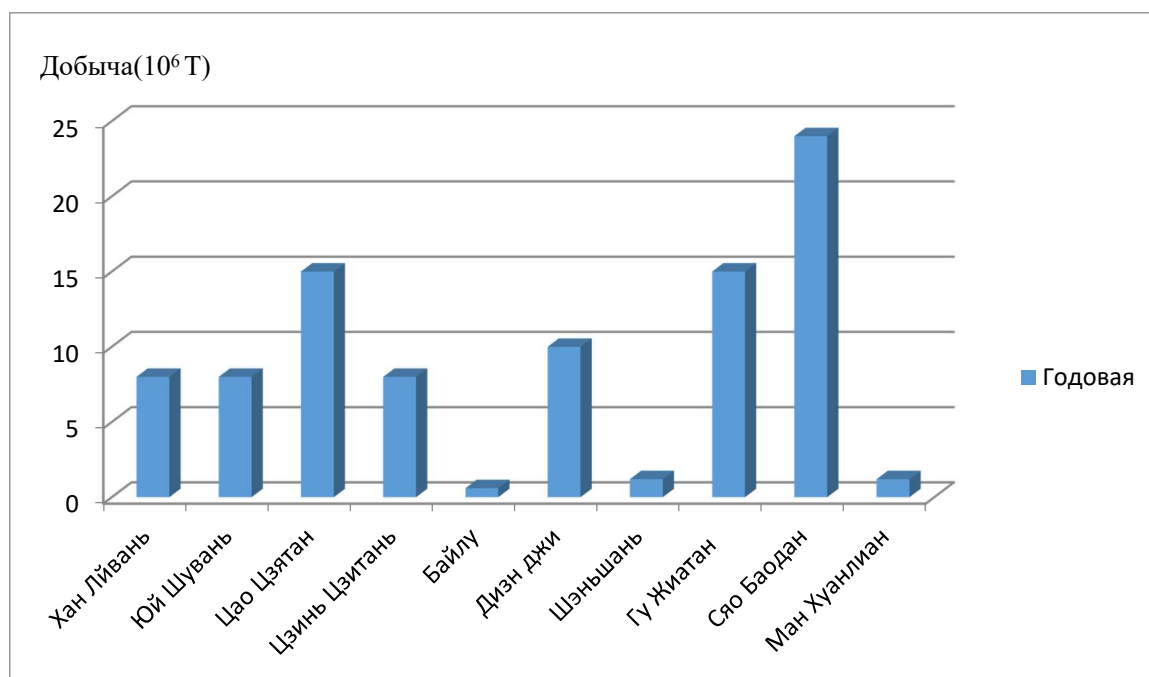


Рисунок 1.4 – Годовая добыча шахт Юйшэньского месторождения [83, 109]

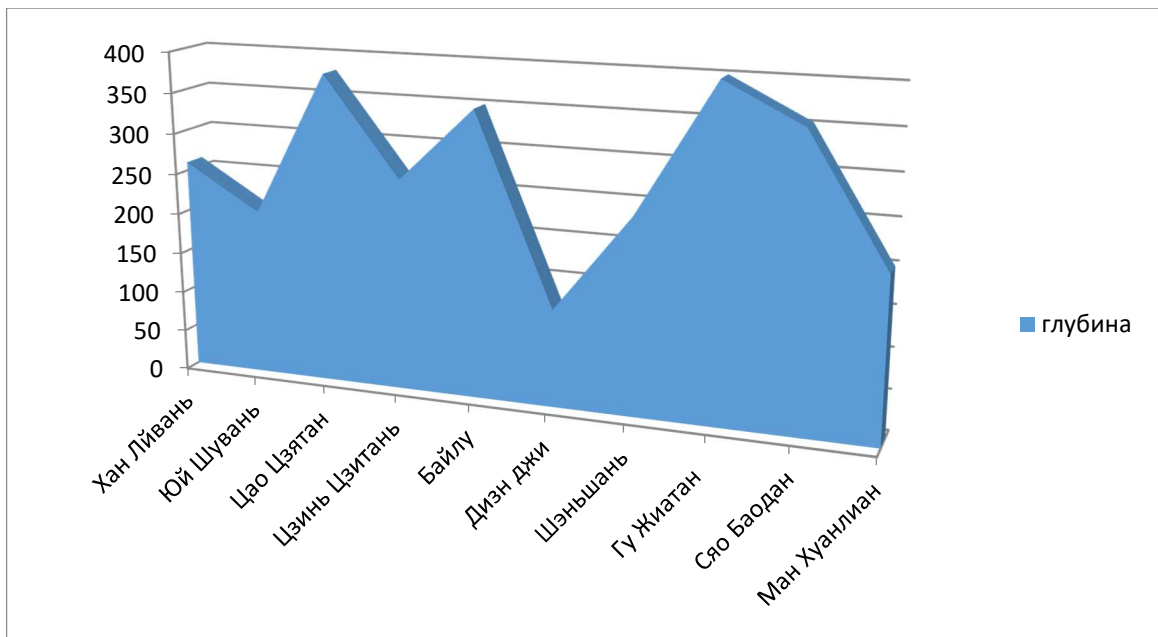


Рисунок 1.5 – Глубина ведения горных работ шахт Юйшэньского района [75, 78, 124]

Среднеюрская яньаньская свита (J2y) представляет собой угленосную толщу в этом районе мощностью 238,34-306,06 м. В целом с севера на юг мощность толщи увеличивается с очевидной закономерностью [79].

Угленосная свита месторождения Яньань

В яньаньской свите насчитывается до 16 угленосных пластов (и пропластков), из них 9 угленосных пластов имеют относительную промышленную ценность. Номера этих пластов сверху вниз: 1, 2, 3, 4-1,5, 6,7,8,9.

Угленосная свита месторождения Яньань

Угленосная свита состоит из двух частей: кайнозойской осадочной толщи и мезозойской подстилающей коренной породы. Мощность кайнозойской толщи в основном контролируется дочетвертичным палеорельефом. Мощность толщи сильно варьируется, по данным наиболее глубокой скважины ЗК1246 достигает 120,49 м, а мощность подстилающих коренных пород, в основном, ограничивается почти горизонтальным залеганием и палеотопографией: маломощная на юге и мощная на севере, маломощная на западе и мощная на востоке.

Все угольные пласты на изучаемом участке имеют простое слоистое

строение, нарушенность пликативная с локальным развитием пологих волнистостей и без выраженной резкой смены мощности пласта. Угольные пласты выдержаны по простиранию, просты по строению, имеют небольшую тектоническую нарушенность, в свите залегают согласно, наклонены на северо-запад, угол падения $<1^\circ$. В свите имеется 10 угольных пластов промышленного значения. Номера этих пластов: 9, 8, 7, 6, 5, 4-2, 4-1, 3, 2 и № 1 угольных пластов[68, 77].

Качество углей

Каменноугольные пласты в этом районе имеют среднюю влажность, зольность от сверхнизкой до низкой, содержание серы от низкого до среднего, очень низкое содержание фосфора, содержание летучих веществ от среднего до высокого и очень высокого, богатого летучими, содержание мышьяка оценивается как низкое, фтора от сверхнизкого до низкого, хлора от сверхнизкого до низкого, или относительно низкого. Битуминозный уголь на низкометаморфической стадии с температурой плавления от низкой до средней и высокой теплотворной способностью. Зола и другие вредные элементы легко обогатимы. С точки зрения использования угля, угольный пласт в этом районе может соответствовать требованиям качества товара для топлива и энергетики, является хорошим грузом для перевозки морским или железнодорожным транспортом, для производства теплоэнергетики, используется для сжигания в бытовых и промышленных котлах. Он хорошо подходит для газификации в кипящем слое и для газификации в плотном слое. Выход каменноугольной смолы из битуминозного угля значительный: это богатый смолой уголь, который хорошо подвергается низкотемпературной сухой перегонке, может быть использован для производства химического сырья, среди номенклатуры которых прежде всего востребован кокс, который также может быть непосредственно использован в качестве бытового топлива.

Угленосные пласты яньваньской свиты Юйшенского месторождения имеют индексы 1^{-2} , 2^{-2} , 3^{-1} , 4^{-2} , 5^{-2} , 5^{-3} . Характеристики этих пластов приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Показатели свойств углей Юйшэньского месторождения: выход летучих веществ $V_{daf}(\%)$ и индекс спекаемости $G_{R.I}[114]$

Индекс пласта	1 ⁻²	2 ⁻²	3 ⁻¹	4 ⁻²	4 ⁻³	4 ⁻⁴	5 ⁻²	5 ⁻³
$V_{daf}(\%)$	35.62	35.97	35.53	35.40	34.93	33.63	34.43	34.43
$G_{R.I}$	7	9	10	10	10	9	7	15

Угольный пласт 1⁻² распространен в юго-восточной части провинции Чжунцзи и западе горнорудного района Мэнцзявань, в перспективном районе Сяохаоту-Эрлинтун имеет вынимаемую мощность 0,80–9,72 м, которая возрастает от минимальных значений на северо-востоке и до самых мощных - на северо-востоке и западе-юго-западе. Центр подземной угледобычи на месторождении располагается на западном перспективном участке Мэнцзявань, где отрабатываемый пласт имеет мощность 7-9,72 м.

Угольный пласт 2⁻² распространен на большой площади, на востоке выходы пласта под наносы, где запасы пласта 2⁻² полностью выработаны, на севере в районе Гунбогоу и на западе в районе реки Юйси запасы нарушены многочисленными нарушениями, и потому не могут быть отработаны. Извлекаемая мощность угольного пласта составляет от 0,8 до 12,49 м, центр угленакопления расположен в районе Баодан, где пласт 2⁻² имеет среднюю мощность 10,04 м[60].

Мощность угольных пластов 3, 4 и 4⁻² Юйшэньского месторождения, в основном, не превышает 8 м. В частности, основные запасы по пласту 3-1 расположены в западной части месторождения.

Основные отрабатываемые запасы месторождения Юшэнь по пласту 5⁻² сосредоточены в горнодобывающем районе Маэ-Мэнцзяван-Цзинцзиган-Дабаодан-Цзинцзе к северу и востоку от Цзиньцзе с извлекаемой мощностью угольного пласта от 0,80 до 8,82 м[60, 80]. На площади разработки пласта 5⁻³ его мощность в основном более 3 м.

1.2 Горно-геологические условия обработки пластов на шахте «Хан Лайвань»

Шахта «Хан Лайвань» находится в юго-западной части планируемой к первоочередной разработке части месторождения Юйшэнь. Это основное строящееся добывающее предприятие месторождения Юйшэнь, по административному делению предприятие относится к юрисдикции деревни Цзиньцзитань и деревни Махуанлян района Юйян города Юйлинь. Географические координаты горного отвода: между $109^{\circ}46'49''$ и $109^{\circ}56'27''$ восточной долготы, и между $38^{\circ}24'52''$ и $38^{\circ}32'08''$ северной широты[75].

В районе разработки рельеф местности в целом ровный, относительные перепады высот рельефа небольшие, в средней части немного выше, в южной и западной части – ниже, высота над уровнем моря находится в пределах от +1170 до +1320 м, точка минимума (русло реки Тоудао) +1165 м, точка максимума (к югу от Дахайцзэвань) +1321 м. Максимальный перепад высот 156 м[111].

Характеристика угольных пластов

Свита Яньвань среднего отдела юрской системы (J_{2y}) является угленосной на всей площади района, мощность свиты от 238,34 до 306,06 м, в целом в направлении с севера на юг с отчётливой закономерностью мощность свиты возрастает.

1. Угленосность свиты Яньвань

К свите Яньвань в поле шахты «Хан Лайвань» относится 16 пластов угля (и пропластков), в том числе наибольшие запасы содержатся в 9 угольных пластах, сверху вниз они пронумерованы следующим образом: № 3, 3^{-1} , № 4^{-1} , № 4^{-2} , № 5, № 6, № 7, № 8, № 9[110, 111].

2. Вмещающие породы свиты Яньвань

Перекрывающие породы угленосной свиты в районе разработки состоят из рыхлого слоя кайнозойского возраста и коренной породы мезозойской эры; мощность кайнозойского покрывающего слоя, в основном, определяется древним рельефом более позднего четвертичного периода, для которого, если оценивать укрупнено, наблюдаются относительно большие перепады высот древнего

рельефа, следствием чего стал достаточно большие колебания мощности четвертичной системы, максимальная мощность которой по скважине ZK1246 достигает 120,49 м. Мощность покрывающего слоя коренной породы, в основном, ограничивают угленосная толща и древнейший рельеф, причем на юге покрывающий слой тоньше, на севере – толще, на западе – тоньше, на востоке – мощнее.

Средняя часть рельефа района разработки расположена выше, южная и северная часть – ниже; с запада на восток рельеф повышается. Угленосная свита имеет падение в направлении с юго-востока на северо-запад, поэтому в северо-восточной части суммарная мощность покрывающей толщи пород является сравнительно большей (угольный пласт № 3 по скважине № ZK192 на отметке 250,74 м), тогда как в южной части – гораздо меньшей (угольный пласт № 3 по скважине № ZK1946 на отметке 115,90 м); мощность покрывающей толщи пород для пласта № 3 на линии геологического разреза ZK105 – ZK135 в северо-западной части описываемого района достигает 242,60-268,05 м[110].

3. Особенности разрабатываемых угольных пластов

Входящий в девять представляющих интерес угольных пластов группы Яньань угольный пласт № 3 имеет большую мощность, выдержан на всей площади шахтного поля, благодаря чему пласт №3 является главным разрабатываемым угольным пластом месторождения. Хотя мощность угольных пластов № 3⁻¹ и № 8 сравнительно невелика, но они выдержаны по мощности и потому на площади шахтного поля являются разрабатываемыми угольным пластам; угольные пласты № 4⁻¹, № 5 и № 7 лишь частично разрабатываемые, у прочих угольных пластов свиты промышленные запасы отмечены лишь на отдельных участках.

Характеристики шести разрабатываемых в настоящее время угольных пластов представлены ниже (таблица 1.2):

Угольный пласт № 3

Расположен верхним в свите Яньань, отрабатывается на всей площади,

мощность извлекаемого пласта составляет от 4,85 до 11,90 м, средняя мощность равна 8,36 м, высотная отметка почвы угольного пласта изменяется от +1004,72 до +1066,88 м, в целом наблюдается пологое падение пласта с юго-востока на северо-запад, угол падения примерно $0,5^\circ$; глубина залегания составляет от 115,90 до 268,05 м. Мощность коренных покрывающего пород составляет от 52,87 до 234,80 м в направлении с юга на север, с запада на восток глубина залегания постепенно увеличивается со средним положительным градиентом 5,18 м/км [113, 124].

Угольный пласт имеет простую структуру, локально содержит 1-2 прослойка аргиллита или углистого аргиллита (местами крупнозернистый песчаник) с обломками размерами 0,05х0,46 м. К западу от разведочной линии ZK105-ZK1845 наблюдается расщепление пласта.

Непосредственная кровля в основном представлена алевролитом, аргиллитом, небольшим количеством мелко- и крупнозернистого аркозового песчаника. Непосредственная почва в основном представлена алевролитом, аргиллитом, небольшим количеством мелко- и крупнозернистого песчаника, углистого аргиллита. Простираение данного угольного пласта постоянное, пласт имеет простую структуру, изменения мощности незначительны.

Угольный пласт № 3⁻¹

Междупластье с угольным пластом № 3 составляет 0,80-13,49 м. К востоку от разведочной линии ZK172-ZK173-ZK184-ZK186-ZK1242 происходит соединение пласта № 3⁻¹ с угольным пластом № 3. Район добычи расположен в средней и восточной части месторождения, площадь добычи равна 53,16 км², вынимаемая мощность составляет 0,80-1,87 м, в среднем вынимаемая мощность составляет 1,22 м, стандартное отклонение мощности равно 0,33, коэффициент вариации равен 26,95 %, с юго-запада на северо-восток наблюдается значительное изменение мощности, причём закономерность изменения достаточно отчётливая.

Высотная отметка почвы угольного пласта меняется от +990,38 до +1058,36 м, наблюдается пологое падение с юго-востока на северо-запад, угол падения составляет около $0,5^\circ$, глубина залегания изменяется от 130,99 до 268,18 м. С юга на север, с востока на запад глубина залегания постепенно увеличивается,

средний положительный градиент составляет 5,67 м/км[124].

Угольный пласт имеет простую структуру, лишь на отдельных участках появляются отдельные прослойки аргиллита и углистого гравелистого аргиллита мощностью 0,06-0,55 м. Непосредственная кровля в основном представлена мелкозернистым песчаником, глинистым алевролитом, небольшим количеством углистого аргиллита, среднезернистого песчаника. Непосредственная почва в основном представлена аргиллитом, алевролитом, небольшим количеством мелкозернистого песчаника.

Простираение данного угольного пласта постоянное, имеет простую структуру, колебания мощности невелики, уголь в основном представлен длиннопламенным углём, во вторую очередь представлен неспекающимся углём, распространено небольшое количество слабоспекающегося угля, изменение качества угля достаточно незначительно, большая часть в районе разработке подлежит извлечению, пласт относят к относительно стабильным тонким угольным пластам, большая часть которого подлежит добыче.

Угольный пласт № 4⁻¹

Расположен в средней, наклоненной к югу части месторождения, междупластье с угольным пластом 3⁻¹ составляет 26,83-37,38 м. Подлежащий разработке район расположен в средней части месторождения с наклоном к востоку, площадь добычи равна 28,20 км², мощность составляет 0,80-1,12 м, средняя мощность оставляет 0,88 м, стандартное отклонение определения мощности угольного пласта равно 0,09, коэффициент вариации равен 10,15 %. Изменение мощности: на западе тоньше, на востоке толще, на севере тоньше, на юге толще[124].

Высотная отметка почвы угольного пласта от +961,22 до +1024,67 м, наблюдается пологое падение угольного пласта с юго-востока на северо-запад, угол падения составляет 0,5°; глубина залегания 247,95-303,85 м. С юга на север, с востока на запад глубина залегания постепенно увеличивается, средний положительный градиент составляет 5,29 м/км.

Угольный пласт имеет простую структуру, местами содержит 1-3 прослоя

аргиллита, глинистого алевролита с твёрдыми включениями с поперечником 0,01-0,75 м; непосредственная кровля в основном представлена аргиллитом, глинистым алевролитом, небольшим количеством мелкозернистого песчаника. Непосредственная почва в основном сложена аргиллитом, алевролитом, небольшим количеством углистого аргиллита.

Простираение данного угольного пласта стабильное, пласт имеет простую структуру, колебания мощности незначительны. Уголь в основном представлен длиннопламенным углём, изменение качества угля достаточно незначительно. В районе разработки отмечаются небольшие колебания извлекаемой мощности, пласт относят к невыдержанным по мощности тонким угольным пластам, участками подлежащим, разработке.

Угольный пласт № 5

Является верхним во втором блоке свиты Яньань. В основном, пласт №5 распределён по всему району, расположен выше на 34,45-54,61 метров от угольного пласта № 4⁻¹. Район добычи расположен к юго-востоку от железной дороги Шэньань, продуктивная толща занимает площадь около 17,92 км², вынимаемая мощность составляет 0,80-1,31 м, средняя мощность- 0,91 м. Стандартное отклонение определения мощности угольного пласта составляет 0,15, коэффициент вариации равен 16,65 %.

Высотная отметка почвы угольного пласта составляет от +907,72 до +977,02 м, наблюдается пологое падение угольного пласта с юго-востока на северо-запад, угол падения составляет 0,5°; глубина залегания меняется от 211,50 до 365,45 м. С юга на север, с востока на запад глубина залегания постепенно увеличивается, средний положительный градиент составляет 5,78 м/км[64, 116].

Угольный пласт имеет простую или относительно простую структуру, обычно содержит несколько слоёв гравелистого аргиллита с твёрдыми включениями с поперечником 0,02-0,75 м, например, в одном участке выявлено 4 прослоя с гравелитом. Непосредственная кровля в основном представлена аргиллитом, глинистым алевролитом, небольшим количеством мелкозернистого

песчаника. Непосредственная почва в основном представлена аргиллитом, небольшим количеством глинистого алевролита, мелкозернистого песчаника.

Простираение данного угольного пласта постоянное, пласт имеет от простой до относительно простой структуру, изменения мощности невелики. Уголь в основном представлен неспекающимся углём, местами представлен длиннопламенным углём, изменение качества угля достаточно незначительно. На площади разработки отмечено незначительное колебание полезной мощности, пласт относят к невыдержанным по мощности тонким угольным пластам, частично подлежащим добыче.

Угольный пласт № 7

В основном распространён по всему месторождению, залегает на расстоянии 34,45-45,63 м ниже угольного пласта № 5. Район добычи расположен в средней части месторождения, площадь добычи равна 39,23 км², полезная мощность 0,80-1,05 м, стандартное отклонение мощности угольного пласта равно 0,07, коэффициент вариации равен 7,93 %. Средняя мощность пласта не превышает 0,87 м.

Относительная отметка почвы угольного пласта от +875,04 до +937,29 м, наблюдается пологое падение угольного пласта с юго-востока на северо-запад, угол падения составляет не более 0,5°, глубина залегания меняется от 256,57 до 405,02 м. С юга на север, с востока на запад глубина залегания постепенно увеличивается, средний положительный градиент составляет 5,19 м/км [116].

Угольный пласт имеет от простой до относительно сложной структуру, локально содержит 1-2 прослоя аргиллита, глинистого алевролита с твердыми включениями поперечником 0,03х0,29 м. Непосредственная кровля в основном представлена мелкозернистым песчаником, во вторую очередь представлена алевролитом, аргиллитом. Непосредственная почва в основном представлена алевролитом, алевролитом, аргиллитом, во вторую очередь представлена мелкозернистым песчаником.

Простираение данного угольного пласта стабильное, он имеет от простой до сложной структуру, колебания мощности невелики. Пласт в основном сложен

неспекающимся углём, местами представлен длиннопламенным углём, изменение качества угля весьма незначительно, большая часть запасов в пределах отвода подлежит извлечению, пласт относят к относительно выдержанным по мощности тонким угольным пластам, большая часть которого подлежит добыче.

Угольный пласт № 8

Расположен в верхней части первого разрабатываемого участка свиты Яньань. Кроме восточной части месторождения, пласт в основном распространён по всему району, залегает ниже на 17,38-26,95 м угольного пласта № 7. Район добычи расположен в средней части и в северной части месторождения, площадь добычи равна 57,61 км², составляет 63,37 % площади, указанной в лицензии на изыскания. Полезная мощность пласта составляет 0,80-1,35 м, стандартное отклонение мощности угольного пласта 0,16, коэффициент вариации равен 16,07 %. Средняя мощность составляет 1,02 м; с юга на север наблюдается заметная закономерность увеличения мощности.

Относительная отметка почвы угольного пласта от +854,54 до +919,20 м, наблюдается пологое падение угольного пласта с юго-востока на северо-запад, угол падения около 0,5°, глубина залегания от 280,03 до 424,45 м. С юга на север, с востока на запад глубина залегания постепенно увеличивается, средний положительный градиент составляет 5,39 м/км[64, 116].

Угольный пласт имеет простую структуру, в отдельных участках наблюдался 1 прослой аргиллита с твердыми включениями поперечником 0,04-0,27 м. Непосредственная кровля в основном представлена мелкозернистым песчаником, глинистым алевролитом, который местами замещен алевролитом, углистым аргиллитом. Непосредственная почва в основном представлена аргиллитом, алевролитом, местами замещается мелкозернистым песчаником.

Простираение данного угольного пласта стабильное, пласт имеет простое строение, колебания мощности невелики. Уголь в основном представлен длиннопламенным углём, во местами представлен несспекающимся углём, распространено небольшое количество слабоспекающегося угля. Изменение качества угля достаточно незначительное, большая часть пласта в месторождении

подлежит извлечению, пласт относят к относительно выдержанным по мощности тонким угольным пластам, большая часть которого разрабатывается.

Характеристика качества добываемого угля

Угольные пласты данного месторождения в основном представлены длиннопламенным углём (пласты СУ41, 42), неспекающимся углём (пласт 31), содержание инертинита достаточно высоко, содержание пустых минералов относительно низкое. Угли этих пластов относят к каменному углю уровня низкой деградации, с особо низким или низким содержанием золы, особо низким или низким содержанием серы, особо низким или низким содержанием фосфора, обогащённым смолой-первичный дёготь, со средней или низкой температурой плавления золы, сверхвысокой или высокой теплотворностью. Угли имеют хорошую обогатимость, хорошую жаропрочность, сильную химическую активность. В состав угля входит малое количество вредных элементов – мышьяк, фтор, хлор. В целом, уголь в данном районе отличного качества. Основные показатели качества угля в угольных пластах № 3, № 3⁻¹, № 4⁻¹, № 5 изменяются незначительно, виды угля в основном представлены длиннопламенным углём и неспекающимся углём, изменение качества угля небольшое, его относят к стабильному по качеству. В угольных пластах № 7, № 8 наблюдается среднее изменение основных показателей качества угля, изменение качества угля необходимо относить к относительно незначительному.

Обводненность:

Присутствует вода напорного горизонта в трещинах осадочных пород кровли угольного пласта № 3: эта вода увлажняет угольный пласт № 3 и доходит до трещин выветривания коренной породы в почве пласта, мощность водоносного пласта увеличивается с востока на запад; водоносный пласт в основном образован песчаниками месторождения Циличжэнь, подстилающими свиту Чжило и песчаниками месторождения Чжэньбудун четвёртого блока свиты Яньань [124]. Так как структура данного района не развита, поэтому не развиты трещины, и водообильность водоносного пласта относительно слабая. Согласно данным бурения для опытной откачки, глубина залегания уровня воды равна 6,20-66,20 м,

мощность водоносного пласта составляет 15,04-69,10 м, при понижении глубины до 31,25-50,88 м водообильность пласта возрастает до величин 1,607-32,31 м³/сут, удельная водообильность составляет 0,00049-0,00074 л/с·м, коэффициент фильтрации 0,0013-0,014 м/сут. Тип гидрохимии: вода HCO₃·Cl – Na, степень минерализации 273-521 мг/л.

Таблица 1.2 – Сводные эксплуатационные характеристики пластов свиты Яньань[66]

№	3	3 ⁻¹	4 ⁻¹	5	7	8
мощность, м	11,90	1,87	1,12	1,31	1,05	1,35
	4,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	8,36	1,22	0,88	0,91	0,87	1,02
	0,03-0,46	0,06-0,55	0,01-0,75	0,02-0,75	0,03-0,29	0,04-0,27
	аргиллит, песчаник	аргиллит	аргиллит	аргиллит	аргиллит, алевролит	аргиллит
непосредственная кровля	0,08-49,86	0,20-10,25	0,07-7,85	0,20-14,96	0,05-10,30	0,07-14,95
	алевролит ,аргиллит	аргиллит, песчаник алевролит	аргиллит песчаник	алевролит ,аргиллит	алевролит ,аргиллит	аргиллит песчани алевролит
непосредственная почва	0,22-10,25	0,24-18,23	0,09-7,05	0,35-9,61	0,21-9,19	0,19-13,53
	алевролит ,аргиллит	алевролит аргиллит	алевролит аргиллит	алевролит аргиллит	алевролит аргиллит	алевролит аргиллит
глубина залегания, м	268,05	268,18	303,85	365,45	405,02	424,45
	115,90	130,99	211,50	247,95	256,57	280,03
относительная отметка высоты залегания, м	1004,72	990,38	961,22	907,72	875,04	854,54
	1066.88	1058.36	1024.67	977.02	937.29	919.20
Качество угля	Д	Д	Д	Н	Н	Д

Продолжение таблицы 1.2

Степень выдержанности залегания пласта	В	В	НВ	НВ	НВ	ОВ
--	---	---	----	----	----	----

Условные обозначения: Д - Длиннопламенный уголь, Н - Неспекающийся уголь, В - Выдержанный, ОВ - Относительно выдержанный, НВ – Не выдержанный

1.3 Состояние технологических схем отработки мощных пологих пластов на шахте «Хан Лайвань»

Главный наклонный ствол проведен вкрест простирания пласта, оборудован ленточным конвейером, угол наклона ствола составляет 14° , длина ствола составляет 1075 м, а ленточный конвейер оснащен резиновой лентой шириной 1600 мм (рисунок 1.6). Трубопровод шахтного дренажа проложен вдоль основного наклонного ствола, а дренажный трубопровод представляет собой трехходовую бесшовную стальную трубу $\Phi 325 \times 9$, причем трехходовой трубопровод подвешен на установочной балке подвесного пассажирского монорельса. По всей длине основной наклонный ствол также оборудован противопожарным спринклерным трубопроводом. Здесь же проложены силовые, осветительные и коммуникационные кабели.

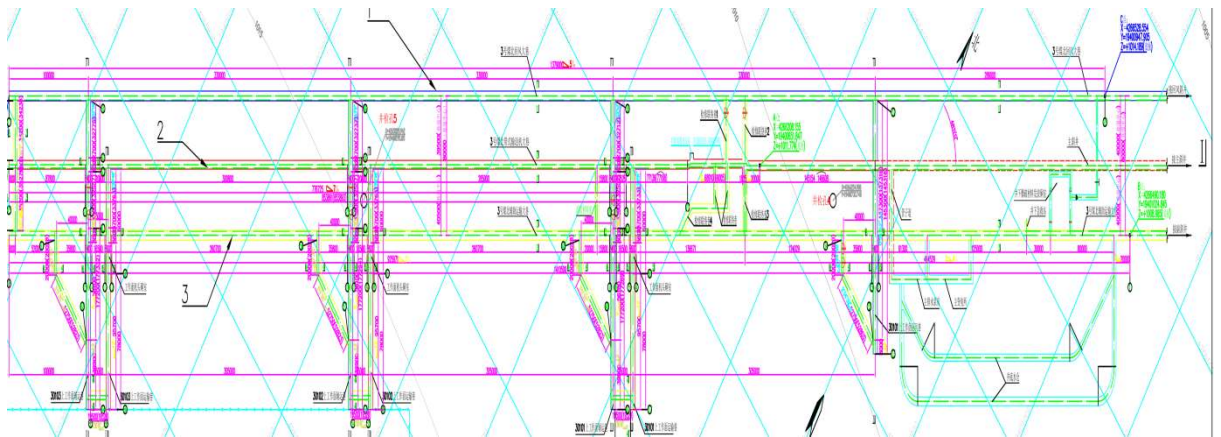


Рисунок 1.6 – Проекция схемы вскрытия шахтного поля

1 – Вентиляционный ствол, 2 – Главный ствол, 3-Вспомогательный ствол

Вспомогательный ствол оборудован одноконцевой напочвенной дорогой на обрешеченных катках с углом наклона пути $5,5^\circ$ и длиной около 3147 м (включая

горизонтальный маневровый участок). Ствол имеет ширину в свету 5600 мм и свободную площадь поперечного сечения 22,4 м². Во вспомогательном наклонном стволе также проложены трубопровод пожаротушения, кабели связи и освещения[80].

Вентиляционный ствол имеет угол наклона 20° и наклонную длину 748 м. Он используется для выдачи исходящей струи из шахты, а также служит в качестве аварийного выхода. Ширина ствола в свету составляет 5200 мм, а свободная площадь поперечного сечения 19,5 м² (рисунок 1.7). В наклонном вентиляционном стволе проложены одна труба сжатого воздуха Ф219×6, одна труба нагнетания азота Ф219×6, одна цементационная труба и один противопожарный спринклерный трубопровод.

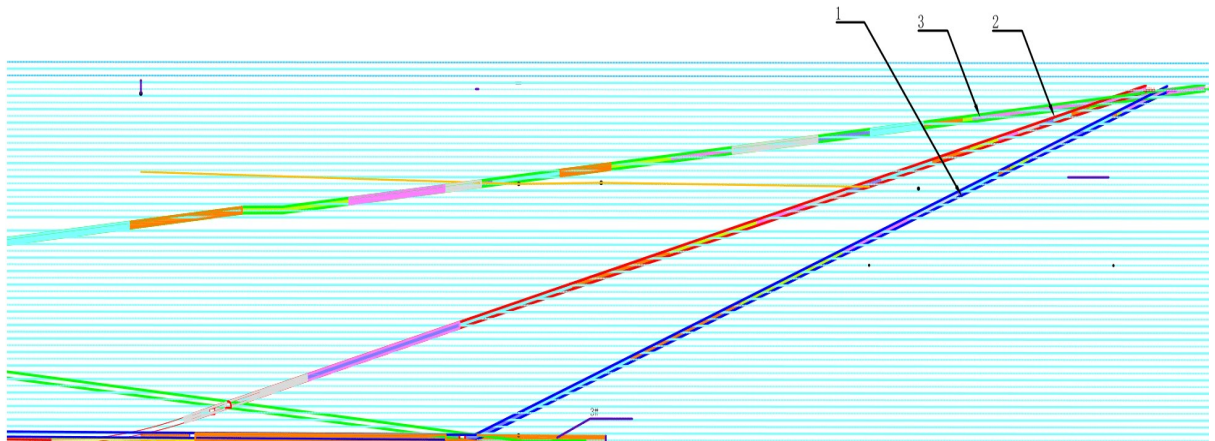


Рисунок 1.7 – Вертикальная схема вскрытия: 1 – вентиляционный ствол, 2 – главный ствол, 3 – вспомогательный ствол

Система разработки угольных пластов

Угольный пласт № 3: расположен в верхней части третьей секции свиты Яньвань, вся площадь может быть добыта, извлекаемая мощность пласта составляет 8,27 - 10,41 м, средняя мощность составляет 9,13 м, относительная отметка почвы пласта от +1010 до +1040 м, весь пласт полого наклонен с юго-запада на северо-восток, угол падения около 0,5°, глубина залегания около 260 м. Угольный пласт выдержан по залеганию, прост по строению и имеет наибольшую мощность[12, 117].

Угольный пласт № 3 разделен на четыре панели, очистные забои

отрабатывают ярусы по простиранию. Первая выемочная панель, состоящая из 30 ярусов, расположена на северо-востоке шахтного поля. Протяженность панели с севера на юг 4,6-5,2 км, ширина с востока на запад 5,6 км. Угольный пласт имеет простое строение и содержит 1-2 прослойки аргиллитов и углистых аргиллитов (местами крупнозернистых песчаников) с прослоями пустой породы. Промышленные запасы панели 301 составляют 204,44 млн тонн, а проектные извлекаемые запасы — 127,56 млн тонн.

Технологии для отработки пластов на шахте «Хан Лайвань»

Для обеспечения удобства проходки и проветривания забоя выработки, удобства обслуживания оборудования очистного забоя, выемочный участок первого яруса подготавливают тремя штреками: конвейерный ленточный, вспомогательный транспортный и возвратный вентиляционный. Среди них, вспомогательный транспортный штрек и конвейерный штрек ленточного конвейера расположены параллельно по одну сторону очистного забоя, причем между двумя этими выработками оставлен 35-метровый изолирующий угольный целик. Вспомогательная транспортная выработка предыдущего забоя может быть использована для отвода воздушной струи из очистного забоя следующего по порядку яруса, поскольку для каждого очистного забоя также используют три штрека: вентиляционный штрек для отвода исходящей воздушной струи, транспортный штрек ленточного конвейера и вспомогательный транспортный штрек (рисунок 1.8).

Угольный пласт № 3 является самым верхним угольным пластом в данном районе разработки, вынимаемая мощность пласта в границах панели участка 301 угольного пласта № 3 составляет 8,27-10,41 м, среднее значение 9,13 м, что подходит для послойной комплексно механизированной отработки угольного пласта [12].

С учетом указанных выше условий залегания угольного пласта № 3 и для обеспечения проектной производительности шахты, было решено отрабатывать первый забой по угольному пласту № 3 [40]. После достижения проектной мощности, производственная мощность одного подземного забоя составит

8,0 млн т/год.

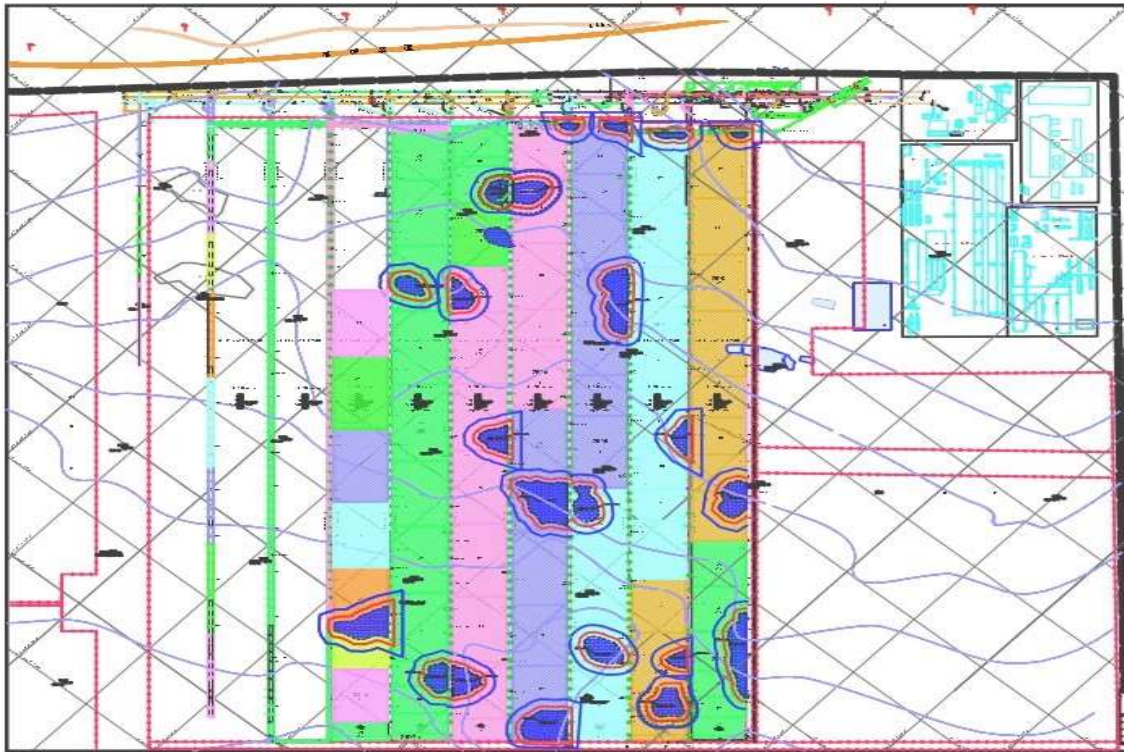


Рисунок 1.8 – Выкопировка из плана горных выработок

Согласно геологическим условиям данного месторождения, особенностям залегания угольного пласта и производительности шахты, а также с учётом информации о состоянии развития китайских и зарубежных методов добычи угля, при проектировании следует учесть следующие четыре метода комплексно-механизированной добычи угля как перспективные или подходящие для добычи угля из угольных пластов данного месторождения: комплексно-механизированная разработка с выемкой пласта сразу на всю мощность и большой высотой разработки, комплексно-механизированная отработка пласта большой мощности с обрушением и выпуском подкровельной толщи, метод комплексно-механизированной выемки угля с установкой наклонной ложной кровли из металлической сетки (пластиковой сетки), метод комплексно-механизированной разработки угля с установкой наклонной композитной ложной кровли.

1. Комплексно-механизированная разработка с выемкой пласта на всю

мощность в один слой

Под комплексно-механизированной разработкой угля выемкой пласта на всю мощность в один слой подразумевают комплексно-механизированную разработку с отбойкой угля угледобывающей машиной из пласта угля мощностью более 3,5 м. В конце семидесятых годов прошлого века в Китае начали применять механизированные крепи производства Германии для разработки пластов большой мощности в комплексе с оборудованием для отбойки и транспортирования угля[106]. Наряду с этим, начались работы по разработке и испытанию китайских механизированных крепей и угледобывающих машин для разработки пластов большой мощности, так что через более чем двадцать лет работы был достигнут заметный прогресс. В настоящее время максимальная высота разработки однослоевого забоя достигает 6 м, в Китае максимальная проектная высота разработки составляет 6,2 м[101]. По мере дальнейшего развития оборудования и технологий разработки с большой высотой, комплексно-механизированная разработка угля с выемкой угля в один слой для пластов большой мощности стала одним из основных методов разработки угля на высокопродуктивных и высокоэффективных китайских шахтах.

Основные особенности комплексно-механизированной разработки пластов большой мощности в один слой[98]:

Высокая концентрация работ на единицу площади очистного забоя, высокий потенциал дальнейшего увеличения производительности.

Малое количество оборудования в забое, простая технология, простое управление.

По сравнению с комплексно-механизированной разработкой с обрушением и выпуском подкровельной толщи, здесь меньше просыпание породы в углепородную массу.

Основные недостатки метода выемки мощного пласта в один слой[12, 20]:

На пластах большой мощности хрупких и слабосвязных – возрастает опасность разрушения и высыпания груди забоя.

Требуется высокая скорость и выполнение большого объема

подготовительных работ для своевременной подготовки фронта очистных работ.

Нужны достаточно значительные первоначальные капиталовложения в оборудование.

Мощность угольного пласта № 3 первого панельного яруса данной шахты составляет 8,27-10,66 м, средняя мощность достигает 9,13 м, коэффициент крепости угольного пласта по шкале М.М.Протоdjяконова достигает 2,0. В случае применения на данной шахте комплексной механизации для выемки пласта сразу на всю мощность, притом, что эта цифра будет максимальной для Китая – 6,2 м, то тогда потери мощности пласта составят 3,0 м, а средний коэффициент извлечения будет не более 67,9 %. С учётом потерь на транспорте, участковые потери при очистной выемке достигнут 60 %, что значительно хуже сопоставимого коэффициента извлечения 93 % для мощных пластов меньшей мощности, отрабатываемых в один слой. Вместе с тем, угольные пласты данной шахты средней крепости, так что при большой мощности разработки пласта обрушение груди забоя достаточно опасно. Поэтому для разрабатываемого на первоначальном этапе угольного пласта № 3 не подходит применение комплексно-механизированной разработки с выемкой пласта сразу на полную мощность.

2. Комплексно-механизированная разработка с обрушением и выпуском подкровельной толщи.

В последние годы по мере совершенствования конструкций механизированных комплексов для разработки с обрушением и выпуском подкровельной толщи, в особенности начиная с девяностых годов прошлого века, комплексно-механизированная разработка с обрушением и выпуском подкровельной толщи стала быстро развиваться. В большинстве забоев мощных и особо мощных угольных пластов используют метод комплексно-механизированной разработки с обрушением и выпуском подкровельной толщи. Согласно последним статистическим данным, метод широко применяют в 159 забоев 61 шахты на 34 месторождениях[84, 101]. Шахта «Дун Тань» в Яньч Жоу, шахта «Син Лунчжуан», шахта «Гу Шуюань» в городском округе Цзиньчэн, шахта «Ван Чжуан» в Луане, шахта «Ян Цюаньсы» и прочие шахты одна за другой с

учетом особенностей геологических и технико-экономических условий стали применять комплексно-механизированную разработку с обрушением и выпуском, повысили уровень производительности на единицу площади забоя, добились хороших экономических и социальных результатов.

По сравнению с традиционной слоевой отработкой, комплексно-механизированная разработка с обрушением и выпуском подкровельной толщи имеет следующие преимущества [20, 102, 105]:

- Низкий удельный объем подготовительных работ: по сравнению с традиционной слоевой разработкой при комплексно-механизированной разработке с выемкой пласта сразу на всю мощность: удельное количество подготовительных работ можно уменьшить на 50-60 %, эксплуатационные расходы на поддержание выработки снижаются соответственно.

- Низкий объем расхода материалов: по сравнению с традиционной слоевой разработкой, при комплексно-механизированной разработке с обрушением и выпуском подкровельной толщи значительно уменьшается объём потребления металлических сеток, крепёжного леса, эмульсии, материалов для крепления выработки и т. д., себестоимость тонны угля можно уменьшить примерно на 10 юаней.

- Уменьшение количество перемонтажей оборудования для комплексно-механизированной разработки и расходов, если один раз не перемещать оборудование, экономия составляет 300 тыс. юаней.

- Достаточно хорошая применимость технологии к геологическим условиям с большими колебаниями мощности угля, его нарушенности.

Основные недостатки технологии [20]:

По сравнению со слоевой отработкой, себестоимость каменного угля немного выше.

Большое количество оборудования в забое, сложность управления, высокие первоначальные капитальные затраты.

При обрушении кровли пласта легко происходит примешивание пустой породы, из-за чего повышается зольность горной массы.

Поэтому обычно считают, что если у угольного пласта есть условия для применения технологии выемки с обрушением, то необходимо по возможности использовать комплексно-механизированную разработку с обрушением и выпуском подкровельной толщи.

Комплексно-механизированная разработка с обрушением и выпуском подкровельной толщи уже стала самым распространенным методом разработки угля для мощных угольных пластов (особенно для мощных угольных пластов с большой невыдержанной мощностью).

Так как в данном районе разработки угольные пласты залегают достаточно неглубоко, поэтому связность основной кровли относительно невысокая. В процессе отработки нижнего слоя мощного пласта, перед периодическим разрушением пород кровли давление породы от трещиноватых консолюно зависающих пород возрастает незначительно, породы кровли не способны создавать сколько-нибудь значительные зависания и своим весом пригружать и разрушать подработанную пачку крепкого угольного пласта. Поэтому для разрушения подработанной пачки угля в кровле используют гидромониторы, высоконапорная струя воды которых выполняет предварительное щелеобразование, после чего дробят ослабленный массив угля взрывами, а также другими инженерными средствами.

Угольная шахта «Синь Чжоуяо» месторождения Датун отрабатывает залежь с крепкими углями и крепкими породами кровли; длина очистного забоя составляет 140 м. Здесь используют высоконапорную воду для предварительного щелеобразования с последующим разрыхлением подработанного массива угля взрывами, причем производительность достигает 2,00 млн т/г [104].

Возможность использования на данной шахте технологии разработки мощного пласта с обрушением и выпуском подкровельной толщи определяется необходимостью провести этап исследований и изысканий, чтобы обеспечить заданную рынком производственную мощность на уровне 8,00 млн т/г; в противном случае потребуются большое количество слоевых забоев с множеством работников, а прибыль от работы которых будет незначительной.

3. Метод комплексно-механизированной разработки угля с установкой временной ложной кровли из металлической (пластиковой) сетки.

Для мощных угольных пластах с небольшим углом падения, для которых не подходит разработка с обрушением и выпуском, следует применять послойную комплексно-механизированную разработку с межслоевыми перекрытиями из металлической (пластиковой) сетки. В аналогичных условиях на месторождениях Яньчжоу, Цзиньчэне и прочих были получены результаты с годовым объёмом производства более 2,0 млн т/г [74]. Согласно соответствующим статистическим данным, в 1994 году в шахте «Яньцзы» в провинции Датун объём производства на один очистной забой составил 2,227 млн т [71]; в 1995 году на шахте «Сяонань» компании «Гефа» итоговый объём добычи угля из забое комплексно-механизированной разработки слоями составил 2,50 млн т; из забое одного лишь верхнего слоя 11303 шахты «Гу Шуюань» в Цзиньчэне годовой объём добычи составил более 2,00 млн т [67]. Главным преимуществом отработки слоями является низкая себестоимость каменного угля, причем коэффициент извлечения мощного угольного пласта может превысить 95 %. В частности, по мере модернизации технологии установки кровельной сетки, непрерывно увеличивается производительность работ по созданию межслоевых перекрытий для слоевой комплексно-механизированной разработки. Основные недостатки метода: увеличение трудоемкости производства, сложность применения на пластах, сложенных углями, склонными к самовозгоранию, затруднительность поддержания в рабочем состоянии выработки в нижележащих слоях.

Учитывая конкретные условия месторождения, метод комплексно-механизированной разработки угля с установкой временной ложной кровли из металлической (пластиковой) сетки является сравнительно высокоэффективным методом. Однако, принимая во внимание достаточно большую достигнутую производительность на шахтах данного месторождения, использование метода комплексно-механизированной разработки угля с установкой искусственной ложной кровли из металлической сетки (пластиковой сетки) имеет низкую эффективность из-за увеличения количества сотрудников, необходимых для

прокладки сетки и монтажа сетки. Увеличение трудоемкости работ снижает производственную мощность очистного забоя, так что для достижения заданных проектом 8,00 млн т/г, необходимо будет запустить большее количество забоев. Поэтому мы не рекомендуем использовать метод комплексно-механизированной разработки угля с установкой временной ложной кровли из металлической сетки (пластиковой сетки).

4. Метод комплексно-механизированной разработки угля составлением межслоевых защитных пачек

При первоначальном проектировании было предположено, что разработка угольного пласта № 3 месторождения Хан Лайвань будет реализована в следующих основных условиях:

Структура непосредственной кровли угольного пласта №3 месторождения Хан Лайвань представлена чередованием слоёв аргиллита, алевроитового аргиллита, глинистого алевролита и гравелита, в породах кровли весьма велико содержание пластичной глины.

Кровля угольного пласта №3 расположена в нижней части участка замкнутого водоносного слоя, сложенного обломочными породами, и, хотя в данном водоносном слое трещины развиты слабо и водопроницаемость его невелика, но он по-прежнему имеет достаточное количество воды; его водообильность слабая до средней, такое большое количество воды способствует формированию из склонных к слеживанию пород *вторичной* кровли пласта № 3.

Если говорить о данной шахте, то при использовании указанного метода добычи пласта мощностью 4,2-5,5 м необходимо осуществлять разработку двумя слоями. Пласт мало изменчив по геологической мощности, поэтому легко произвести деление его на слои.

Угольная шахта «Хан Лайвань» расположена на юго-западе района Юйшень. Геологические характеристики угольного пласта: неглубокий, тонкий и средней мощности слой коренных пород, перекрытый неоднородным слоем выветрелых наносов, главным образом, песков. Мощность коренных пород составляет 52,87-234,80 м, при средней мощности 150 метров. Мощность наносов 60,00-90,00

метров, при средней мощности 80 метров. Мощность непосредственной кровли 0,90-14,23 метра, сложена в основном алевролитами и аргиллитами, местами встречаются мелкозернисто-крупнозернистые песчаники. Мощность основной кровли составляет 14,5-49,86 м. Сложена основная кровля, в основном, средне- и мелкозернистым песчаником, местами встречается крупнозернистый песчаник. Структура песчаника однородная и прочная, трещины развиты локально, секущих трещин нет. Мощность непосредственной почвы 10,25 м, в основном, представлена алевролитом. Встречается аргиллит. Основная почва сложена монолитным песчаником Литология песчаника относительно прочная, а блочные образования, в основном, представляют собой массивные структуры.

В первой выемочной панели отрабатывается угольный пласт №3. Максимальная мощность угольного пласта в одной панели составляет 10,41 м, минимальная мощность – 8,27 м, а средняя – 9,13 м. метров. Угольный пласт наклонен с юго-запада на северо-восток с углом наклона менее 0,5, глубиной залегания 115,9-268,05 м, при средней глубине залегания 230 м. Способ отработки нижнего пласта не был в полной мере учтен в схеме горных работ. Шахта приняла комплексный механизированный способ добычи угля с наклонными ярусами и большой мощностью слоя 5,0-5,5 м. Забой -30110 по верхнему слою имеет вынимаемую мощность 5,0-5,5 м, а средняя проектируемая мощность нижнего слоя 4 м [12, 75, 82, 117]. При полностью механизированной отработке верхнего слоя из-за технологических неурядиц возникли неровности в профиле почвы верхнего слоя, что помешало созданию искусственной ложной кровли в виде укладки сетки, так что и цементация межслоевой пачки при отработке не проводилась. Чтобы не повлиять на схему выработки и продолжение отработки нижележащего пласта 3⁻¹, необходимо срочно решить проблему с угольным пластом № 3. Для послойной добычи правильность выбора метода добычи угольного пласта № 3 напрямую связана с тем, может ли угольная шахта «Хан Лайвань» работать эффективно и с высокой степенью извлечения.

1.4 Выводы по главе 1

1. Бассейн Юйшэньфуа относится к числу наиболее крупных и перспективных угольных бассейнов Китая. Совокупные доказанные ресурсы угля в месторождении Юйшэнь превышают 211,173 млрд тонн. Угольные пласты характеризуются простым строением и обладают хорошей выдержанностью и непрерывностью залегания. Добыча угля на месторождениях юрского возраста в северной части провинции Шэньси превысила 300 млн тонн, что составляет около 8,9% от общего объема добычи угля в стране.

2. Наиболее экономически эффективными шахтами на территории Юйшэньского месторождения являются следующие шахты: «Махуанлянь», «Хан Лайвань», «Юй Шувань», «Цао Цзятан», «Цзинь Цзитань», «Байлу», «Дизиджи», «Шэньшань», «ГуЖиатан», «Сяо Баодан».

3. Промышленную ценность в угленосной свите месторождения Яньань имеют 10 угленосных пластов: 9, 8, 7, 6, 5, 4-2, 4-1, 3, 2 и № 1, характеризующихся средней влажностью, зольностью от сверхнизкой до низкой, содержанием серы от низкого до среднего, низким содержанием фосфора и содержанием летучих веществ от среднего до высокого.

4. Центр подземной угледобычи на месторождении располагается на западном перспективном участке Мэнцзявань, где отрабатываемый пласт № 1 имеет мощность 7-9,72 м.

5. Угольный пласт № 3, входящий в девять представляющих интерес угольных пластов группы Яньань, имеет мощность 4,85 до 11,90 м, выдержан на всей площади шахтного поля и является главным разрабатываемым угольным пластом месторождения. Глубина залегания пласта постепенно увеличивается составляет от 115,9м. на юго-востоке до 268,05 м. на северо-западе.

ГЛАВА 2 ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТАХ КИТАЯ

2.1 Роль мощных пластов угля при решении задач угольной промышленности Китая.

Китай сегодня является крупнейшим в мире производителем и потребителем угля: по данным за 2022 год общая добыча угля в Китае составляет 5,41 млрд тонн, что на 4,3% больше уровня 2021 года. Доля угля в энергетическом балансе страны составляет 56,2%. Огромная часть 94% потребляемого высококачественного энергетического угля добывается подземным способом, причем до 44% всех запасов угля и 45% объема добываемого угля приходится на мощные и весьма мощные пласты. Не подлежит сомнению, что в ближайшей перспективе безопасная и эффективная разработка мощных угольных пластов будет иметь исключительно важное значение для экономики Китая. В мощных угольных пластах Китая сосредоточено 44% всех его запасов каменного угля (рисунок 2.1).

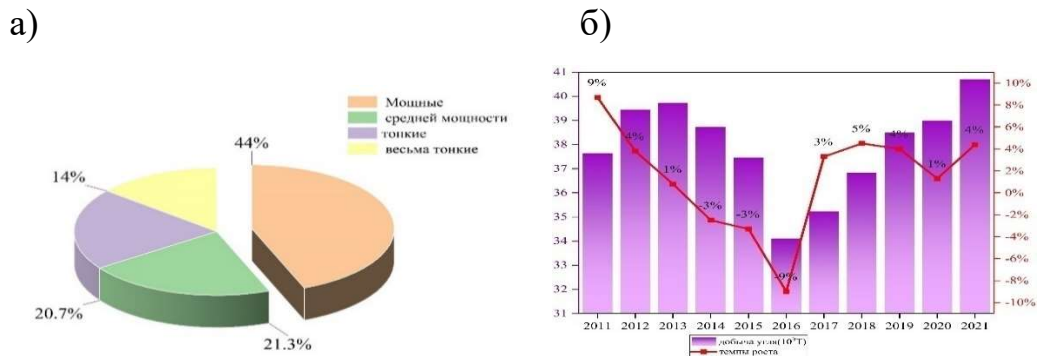


Рисунок 2.1 – а - Распределение разрабатываемых пластов по мощности, %;
б - добыча угля в 2011-2021 гг [65, 93, 100].

Как следует из мирового практического опыта освоения угольных месторождений процесс отработки мощных пластов угля (более 3,5м) характеризуется различными специфическими проблемами, рассмотрение которых необходимо начинать на первоначальных этапах выбора технологии очистных работ, системы разработки и способа подготовки выемочных участков, с учетом допустимых потерь угля, склонности угля к самовозгоранию в

выработанном пространстве, интенсивности отжима пласта в лавах, способов управления основными кровлями и других факторов.

Существенное влияние на эффективность решения этих проблем оказывает глубина горных работ и темпы ее увеличения. Чжан Нонг[62] указывает в своей статье, что глубина разработки угольных шахт Китая увеличивается в среднем на 8-12 м в год[73]. Наиболее высокие темпы изменения этого показателя (до 10-25 м в год) у шахт восточно-центральной части страны. Естественным следствием увеличения глубины разработки является рост горного давления и его проявлений в очистных и подготовительных выработках, что существенно осложняет технологию угледобычи при выемке мощных пластов.

Ниже приведены результаты системного анализа применяемых в настоящее время технологических схем отработки мощных угольных пластов в Китае с учетом их технико-экономических характеристик на фоне общего развития традиционных методов отработки мощных угольных пластов, оценка их достоинств и недостатков, а также оценка путей решения проблем, возникающих при добыче мощных угольных пластов.

В настоящее время на шахтах Китая для отработки мощных угольных пластов, в основном, используют следующие технологии[96, 98, 100, 104]:

- отработка пласта одним слоем и управлением кровлей способом полного обрушения в выработанном пространстве;
- разделение мощного пласта на слои условными плоскостями, параллельными плоскости напластования;
- отработка слоя у почвы пласта с последующим выпуском вышерасположенного слоя или подкровельной пачки угля в призабойное пространство лавы.

Анализ практического опыта отработки мощных угольных пластов на шахтах Китая и других угледобывающих стран показал[9, 13, 21, 27, 98], что каждая из указанных технологий характеризуется, как достоинствами, так и недостатками, которые, в конечном итоге, определяют область их эффективного применения.





2.2 Разработка мощных угольных пластов одним слоем на всю мощность пласта.

Комплексно механизированная разработка пластов мощностью более 3,5 метров в Китае получила широкое распространение. Так, на месторождении Юйшен (таблица 2.1) были отработаны несколько комплексно механизированных участков на пластах особо мощных, например, первый в мире 8-метровый забой в угольной шахте «Булианта» в Шэндуэне с углом падения угольного пласта 2° при средней мощности пласта 7,26 м. Совместная работа призабойной гидрофицированной крепи типа ZY1800/32/70D с комбайном SL1000 обеспечили производительность 45200т/сутки[54, 112].

На соседней угольной шахте «Хун Люлинь» компании Шанси отработан пласт мощностью 6,8 м по схеме «шахта-лава», годовая добыча из забоя составила 12 миллионов тонн. Проектируется отработка пласта мощностью 8 м с опытной китайской крепью ZY2600/40/88D для разработки мощных пластов с китайским узкозахватным комбайном MG1100/2925-WD производительностью 58400 тонн в сутки и месячной производительностью до 1,46 млн. тонн[94]. В настоящее время в аналогичных условиях используется крепь ZY21000/38/82D, с суточным подвиганием забоя № 12-15 метров[78, 86, 95].

В 2009 году промышленная группа Шенхуа применила отечественную горную крепь с раздвижностью до 7,2 м для обеспечения производительности комплекса оборудования до 12 млн тонн рядового угля в год при отработке угольного пласта средней мощностью 7,59 м на шахте «Цин Цитан»[40, 59, 101]. В 2020 году угольная шахта «Шанвань» успешно ввела в действие первый интеллектуальный комплексный очистной забой на пласте мощностью 8,8м в лаве длиной 300 м, установив рекорд максимальной суточной добычи в 65 500 тонн и месячной добычи в 1 506 000 тонн. В таблице 2.1 упомянуты некоторые угольные шахты Китая, которые внедрили технологию комплексной механизации отработки пластов большой мощности, достигнув уровня годовой добычи более 3 млн тонн.

Таблица 2.1 – Техничко-экономические показатели добычи при отработке мощных пластов[78, 94, 97, 106]

Шахта	Область применения	Горнотехнические параметры	Суточная добыча, тонн	Очистной забой
Булинта	Мощность пласта 4,4-8,8м. Угол падения пласта 1-3°.	Длина лавы 301 м. Вынимаемая мощность пласта 6,8 м	Асут=45200	
Хун Люлин	Мощность пласта 6,05-8,6м. Угол падения пласта 0-3°	Длина лавы 354 м. Вынимаемая мощность пласта 6,8 м	Асут=35000	
Шанван	Мощность пласта 6-8,3м. Угол падения пласта 1-3°.	Длина лавы 318 м. Вынимаемая мощность пласта 8 м.	Асут=50000	
Цин Цитан	Мощность пласта 5.5-8.4м. Угол падения пласта 0-1°.	Длина лавы 300 м. Вынимаемая мощность пласта 7 м.	Асут=20000	

С увеличением мощности вынимаемых пластов, в краевой части пласта усиливается отжим, первоначально в форме шелушения, причем постепенно крупность шелушения возрастает, глубина отжима в пласте увеличивается,

увеличиваются прогибы слоев пород кровли над разрушающейся кромкой пласта, в свою очередь, увеличение площади неподдерживаемой кровли в призабойном пространстве снижает ее устойчивость и приводит к вывалообразованию и куполению.

Сложности обеспечения стабильной работы дорогостоящих комплексов оборудования возрастают: в общем случае, надежность оборудования и общее качество машин и механизмов современного механизированного комплекса считаются обеспеченными, однако с увеличением угла падения пласта более 8° проблемой становится обеспечение линейности передвижения механизированного комплекса, предотвращение сползания вниз по падению пласта забойного конвейера и гидрофицированной крепи, вплоть до ее опрокидывания, причем и эта проблема становится всё более значимой при увеличении угла падения.

Достоинства вовлечения в разработку мощных пластов: высокая нагрузка на отдельный забой, высокий потенциал для увеличения добычи, рост концентрации горных работ, простые технологические операции и простота управления оборудованием, лучшая сортность добываемого угля сравнительно с технологией с выпуском подкровельной пачки.

Технология отработки мощного пласта угля в один слой обычно применяется на пластах выдержанной мощности от 3,5 до 7 м, когда вынимаемая мощность пласта может соответствовать максимальной полезной мощности, для достижения максимального коэффициента извлечения. Углы падения угольного пласта предпочтительны от 12° до 20° [87]. При увеличении углов падения затруднительно обеспечить направленность перемещения массивных машин и механизмов комплекс, и предотвратить их сползание, механизмы перемещения—домкраты будут испытывать повышенные нагрузки при работе, что снизит общую рабочую скорость передвижения всего комплекса оборудования. Наиболее благоприятны для отработки в один слой пласты простого строения, с устойчивыми породами кровли и почвы, с кровлями средней обрушаемости, которые не создают значительные зависания пород кровли над кромкой пласта и разрушающих ее; непосредственная почва угольного пласта должна иметь

достаточную прочность, чтобы выдерживать вес тяжелых секций крепи и конвейера.

Область предпочтительного применения включает пласты каменного угля крепостью $f > 1,5$, выдержанной мощности и небольшим отжимом. Важным представляется условие инвестиционной привлекательности, когда крупные шахты большой с проектной мощностью, обладающее мощным вспомогательным транспортом и производительным подъемом, способны обеспечить транспортировку к месту работы тяжелых механизированных комплексов оборудования.

2.3 Разработка угольных пластов с разделением их на наклонные слои

Технология слоевой отработки заключается в разделении мощного угольного пласта на несколько сравнительно менее мощных слоев-пластов с последующей последовательной отработкой каждого выделенного слоя такого угольного пласта. Последовательность отработки каждого технологически выделяемого слоя реализуется в виде двух различных схем: восходящая отработка слоев в пласте или нисходящая отработка слоев в пласте.

По ориентации слоев относительно элементов залегания мощного пласта выделяют три типа ориентации слоев: наклонные слои, горизонтальные слои и поперечно-наклонные слои.

Разделение пологозалегающих угольных пластов на наклонные слои производят путем разделения мощного угольного пласта на несколько слоев плоскостями, параллельными плоскостям напластования пород. Разработка каждого наклонного слоя ведется как отработка независимо залегающего пласта забоями по падению или простиранию.

Выемка слоёв может осуществляться сверху вниз или снизу вверх. Чаще используют нисходящий порядок отработки слоев с управлением кровлей полным обрушением. Мощность слоев составляет 2,5-4,5м.

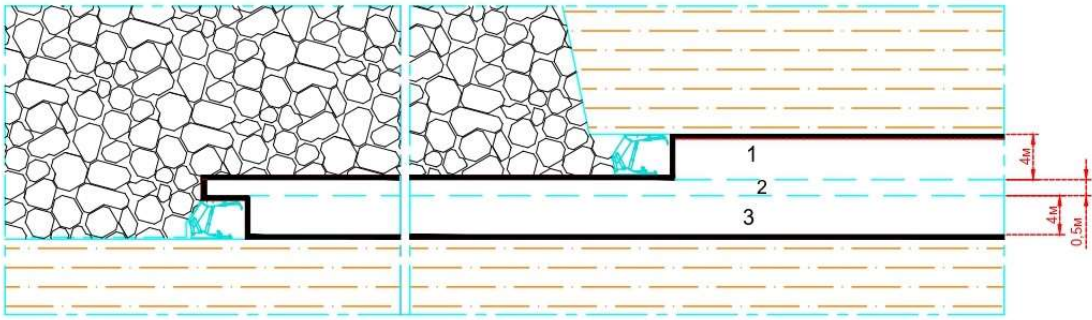


Рисунок 2.2 – Схема отработки мощного пологого угольного пласта двумя слоями с оставлением межслоевой защитной пачки: 1-верхний слой; 2-межслоевая защитная пачка; 3-нижний слой. (шахта им. В.И. Ленина, Россия) [88]

Достоинства слоевой разработки заключаются в том, что технология является относительно отработанной и уже давно используется в Китае как обычная технология добычи угля, с небольшими удельными инвестициями в оборудование, небольшой высотой первого разрабатываемого слоя, сравнительно эффективной технологией управления газовыделением, контролируруемыми процессами разрушения подрабатываемых покрывающих пород и управляемыми деформациями поверхности. Однако у этой технологии есть и множество недостатков, среди которых укажем наиболее важные.

Сложная система сооружения и поддержания слоевых подготовительных выработок при высоких скоростях подвигания слоевых очистных забоев. Высокая стоимость нарезных работ и поддержания слоевых подготовительных выработок.

Необходимость возведения временных кровель из искусственных материалов при отработке верхних слоев требует значительных трудозатрат, что повышает эксплуатационные издержки.

Слоевые технологии плохо приспособлены к переходу разрывных тектонических нарушений; пликативная нарушенность резко увеличивает эксплуатационные потери, поскольку все участки переменной мощности пласта уходят в потери; низка и концентрация работ.

Диапазон мощностей угольных пластов, при котором в основных угледобывающих странах применяют слоевые системы разработки, составляет 7–

13м. При большей мощности пластов наблюдается уменьшение коэффициента извлечения.

Слоевая разработка обычно используется в следующих условиях: мощные угольные пласты, залегающие на малых глубинах разработки под освоенными территориями; шахты с небольшими балансовыми запасами; шахты с высоким газовыделением; пласты с невыдержанной мощностью; шахты отрабатывающие пласты под водоемами, где подрабатываемая водозащитная толща должна медленно деформироваться и опускаться без резких перегибов.

В Кузнецом угольном бассейне на шахте «Распадская» при отработке пласта 7 мощностью 3,3 м на глубине 80м использовали механизированный комплекс КМ-130[25, 85, 88]. Мощность оставляемой защитной угольной пачки для нижнего слоя, отрабатываемого с отставанием, составляла 0,2-0,6 м. Там же, на шахте им. В. И[88]. Ленина была успешно применена схема отработки мощного пологого угольного пласта двумя слоями с оставлением межслоевой защитной пачки (рисунок 2.2).

В Гусиноозерском шахтоуправлении в Забайкалье при выемке пласта № 24 мощностью 10 м использовались комплексы ОМКТ с оставлением межслоевой пачки мощностью в среднем 0,6м, потери угля достигали 19%[88].

Кроме того, существуют альтернативные способы (рисунок 2.3) предотвращения обрушений пород кровли в лавах наработанных слоев, позволяющие избежать оставления мощной межслоевой защитной угольной пачки[6, 45, 57, 69]:

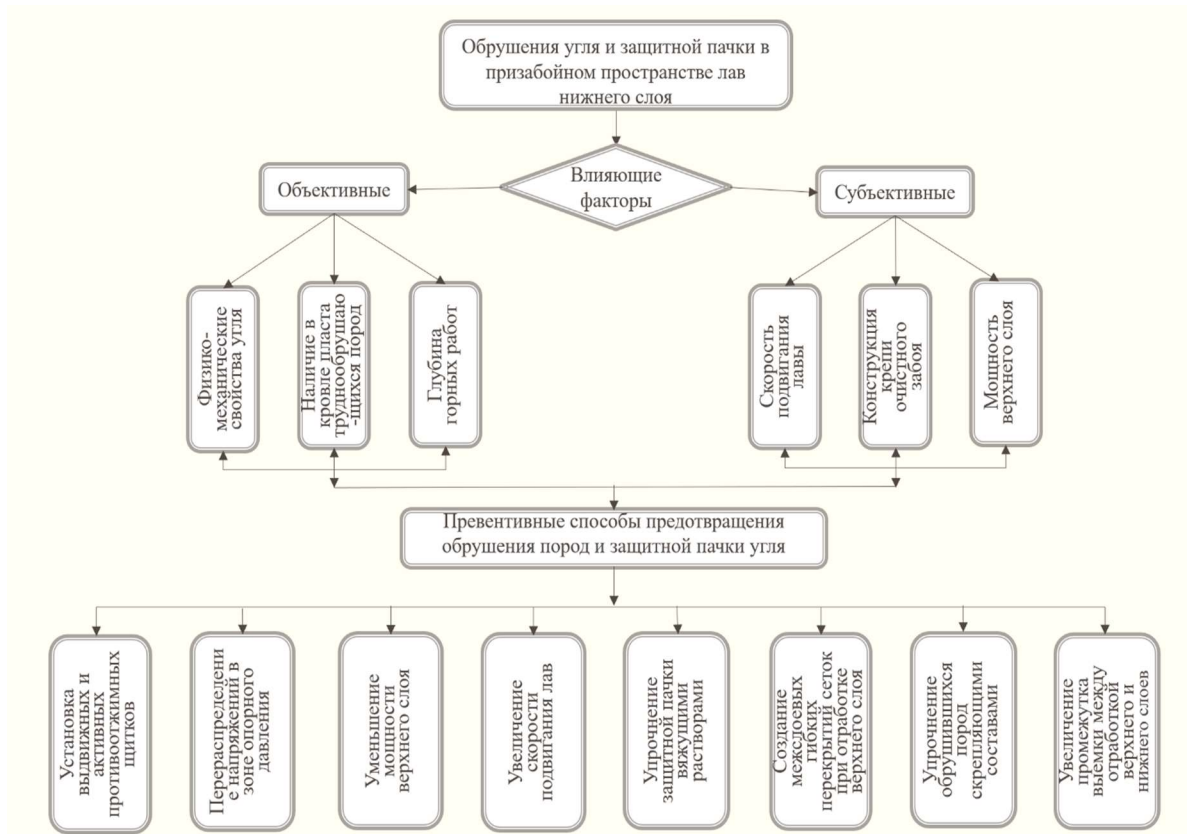


Рисунок 2.3 – Способы предотвращения обрушений межслоевых защитных пачек и пород кровли в призабойное пространство лав надрабатываемых слоев

Опыт отработки мощных угольных пластов с небольшими углами падения на шахтах Китая свидетельствует о том, что при невозможности отработки пласта одним слоем на всю мощность, возможно применение послышной комплексно-механизированной разработки с межслоевыми перекрытиями из металлической (пластиковой) сетки. На месторождениях Яньчжоу, Цзиньчэне и др (таблица 2.2). были получены результаты с годовым объёмом производства более 2,0 млн. т. угля. Согласно соответствующим статистическим данным, в 1994 году в шахте «Яньцзы» в провинции Датун объём производства на один очистной забой составил 2,227 млн. т. В 1995 году на шахте «Сяонань» компании «Тефа» итоговый объём добычи угля из забоя комплексно-механизированной разработки слоями составил 2,50 млн. т. Из забое одного лишь верхнего слоя 11303 шахты «Гушуюань» в Цзиньчэне годовой объём добычи составил более 2,00 млн. т. Главным преимуществом отработки слоями в этих случаях являлась низкая себестоимость каменного угля, причем коэффициент извлечения превышал 95 %.

Таблица 2.2 – Шахты слоевой системы разработки в Китае[12, 55, 63, 122]

Название шахты	Мощность пласта, м	Применяемое очистное оборудование	Мощность нижнего Слая, м	Суточная добыча, тонн
Пин И	5,2-6,8	ZY43000/17/37	3.0-4.0	2210
Люй Шан	5,5-8,2	ZZS3800/15/25	2,6-3,5	2678
Пан Бэ	4.6-5.9	ZZ6400/18/38	2,3-3,4	4333
Бао Ди	8,1-9,8	ZFS5200/17/35	5.1-7.9	17667
Ху Циту	9,6-10,3	ZFY10200/25/42	3.1-4.3	20000
Май Юйго	7,5-9,8	ZF4600/19/30	5,4	4306

По мере модернизации технологии установки кровельной сетки, непрерывно увеличивается производительность работ по созданию межслоевых перекрытий для слоевой комплексно-механизированной разработки. Основные недостатки метода: увеличение трудоемкости производства, сложность применения на пластах, сложенных углями, склонными к самовозгоранию, затруднительность поддержания в рабочем состоянии выработок в нижележащих слоях.

Учитывая конкретные условия месторождения, метод комплексно-механизированной разработки угля с установкой временной ложной кровли из металлической (пластиковой) сетки является сравнительно высокоэффективным методом. Однако, принимая во внимание достаточно большую достигнутую производительность на шахтах данного месторождения, использование метода комплексно-механизированной разработки угля с установкой искусственной ложной кровли из металлической сетки (пластиковой сетки) имеет низкую эффективность из-за увеличения количества сотрудников, необходимых для

прокладки сетки и монтажа сетки. Увеличение трудоемкости работ снижает производительность очистного забоя. Для достижения заданных проектом 8,00 млн. тонн угля в год необходимо запустить большее количество забоев. Это резко ограничивает область использования способа комплексно-механизированной разработки угля с установкой временной ложной кровли из металлической сетки (пластиковой сетки).

При оценке возможности комплексно-механизированной разработки угольного пласта № 3 на шахте «Хан Лайвань» угля с составлением межслоевой защитной пачки необходимо учитывать следующие обстоятельства. При первоначальном проектировании шахты предполагалось, что разработка угольного пласта № 3 будет реализована в следующих условиях[12]. Структура непосредственной кровли угольного пласта №3 месторождения «Хан Лайвань» представлена чередованием слоёв аргиллита, алевроитового аргиллита, глинистого алевролита и гравелита, в породах кровли весьма велико содержание пластичной глины. Основная кровля представлена труднообрушающимися породами.

Кровля угольного пласта №3 расположена в нижней части участка замкнутого водоносного слоя, сложенного обломочными породами, и, хотя в данном водоносном слое трещины развиты слабо и водопроницаемость его невелика, но он по-прежнему имеет достаточное количество воды; его водообильность достигает средней. Такое большое количество воды способствует формированию из склонных к слеживанию пород вторичной кровли пласта № 3.

При использовании указанного метода отработку пласта необходимо осуществлять двумя слоями мощностью по 4,2-5,5 м. Пласт мало изменчив по геологической мощности, поэтому легко произвести деление его на слои. Принципиальным вопросом при этом является определение минимально допустимой толщины защитной межслоевой пачки.

2.4 Механизированная технология добычи с выпуском подкровельной пачки угля в призабойное пространство лавы.

Данная технология обеспечивает высокую производительность, безопасность работ и высокую их эффективность. Благодаря одновременной

работе по добыче нижней пачки пласта и выпуску угля верхней пачки, можно одновременно извлекать уголь на нескольких участках по длине очистного забоя, благодаря чему достигается увеличение производительности и повышается эффективность работы оборудования на 80-100%[103, 119].

Существенным фактором ограничения является снижение общей скорости подвигания очистного забоя на 30-50% по сравнению со скоростью подвигания работающего по традиционной технологии очистного забоя. Положительным является уменьшение эксплуатационных расходов, улучшается организация работ, создаются условия для концентрации производства. Достигается снижение удельного расхода материалов, электроэнергии и заработной платы на тонну добываемого угля. Сравнительно с разрушением угля резанием, значительно сокращается потребление лесоматериалов, металлической сетки, режущих зубков, электроэнергии и заработной платы; снижаются общие затраты на проведение подготовительных выработок и на вспомогательный транспорт.

Технология «с выпуском угля» успешно применяется в самых разнообразных геологических условиях и на пластах сложного строения. Опытом доказана успешность отработки «с выпуском» различных не выдержанных по мощности с колебаниями от 4 до 20 м пологих наклонных угольных пластов[20]. Эта технология успешно применяется при отработке нарушенных пластов, когда амплитуда нарушения не превышает вынимаемой мощности пласта, а также пластов с неустойчивой кровлей и почвой.

«Выпуск угля» доказал свою эффективность при отработке крутонаклонных особо мощных угольных пластов. Горизонтальный секционный выпуск верхней пачки угля позволяет не только механизировать разработку крутонаклонных особо мощных угольных пластов, но и обеспечить безопасное и эффективное выполнение всех производственных процессов[20, 30, 51].

Несмотря на все достоинства, обширную область применения и быстрое совершенствование технологии разработки пластов «с выпуском», остаются нерешенными некоторые специфические проблемы, еще не нашедшие своего решения. Главная проблема технологии «с выпуском» - низкий коэффициент

извлечения. Производственные потери в очистном забое, потери угля при транспортировании в пределах выемочного участка, а также потери угля от неполноты выпуска части пласта над подготовительной выработкой и в целиках, оставленных для охраны такой подготовительной выработки – вот проблемы, которые долгое время не были успешно решены[107, 120]. В результате, коэффициент извлечения при отработке пластов «с выпуском» обычно ниже, чем на выемочных участках, которые могут быть подготовлены и отработаны в один слой. Согласно статистике, средний коэффициент извлечения комплексно-механизированного забоя на шахтах (таблица 2.3) Китая достигает 81%-83%, тогда как коэффициент извлечения бесцеликовых систем разработки не превышает 75%, а коэффициент извлечения столбовых систем разработки с оставлением целиков будет менее 75%.

Газовая опасность применения технологии «с выпуском» является особенно трудноразрешимой. Поскольку при отработке мощного пласта вся угольная масса извлекается одновременно, процессы смещения налегающих пород после извлечения пласта, распределение опорного давления в краевой части его, процесс разрушения и выпуска угля в призабойное пространство, раскрытие газопроводящих трещин и их влияние на процессы распространения и концентрации газа, фильтрации газа и накопления его в выработанном пространстве существенно отличаются от газовой обстановки при отработке мощных пластов в один слой, в том числе при уступных схемах движения выемочной машины[3, 7]. По мере отработки любого выемочного столба происходит его дегазация, причем относительное количество газа, поступающего из выработок, существенно снижается. Тем не менее, в выработанном пространстве позади забоя остается известное количество газа высокой концентрации, который по мере выпуска верхней пачки угля этот газ будет поступать в призабойное пространство, загазовывая его.

Таблица 2.3 – Шахты технологии отработки мощных пологих пластов с выпуском угля в Китае[52, 81, 121]

Название шахты	Мощность пласта, м	Применяемое очистное оборудование	Отношение Мощности слоя к мощности подкровельной пачки угля	Угол падения пласта, °	Уточная добыча, тонн
Бу Айтэ	6,5-7,2	ZFY18000/25/ 39	1:0,81	1-9	29166
Ма Циалян	6,5-7,5	ZF13000/25/38	1: 0,86	3-4	33300
Тун Щин	5,6-15,9	ZF15000/27,5/ 42	1:2,81	0-4	30000
Та Шан	9,0-20,0	ZF13000/25/38	1:2,81	3-10	29354
Тун Лю	3,5-8,5	ZF7000/19,5/38	1:0.78	1-3	21800
Ию Шутин	8,5-11,37	ZF9000/20/32	1:2	5-17	3100
Бэ Щиню	4,3-7,0	ZF13000/25/38	1:0,75	19-25	6119

Проблема самовозгорания весьма серьезна. Склонность некоторых углей к самовозгоранию является реальной проблемой при отработке мощных пластов из-за большого объема потерь измельченного угля, а также затруднительности изоляции выработанных пространств большого объема.

Проблема серийного производства надежных и эффективных люков для выпуска угля и вспомогательного оборудования до сих пор в Китае не решена, что также снижает коэффициент извлечения и увеличивает потери системы разработки, притом, что потери угля вызывают опасность самовозгорания на соседних выемочных участках.

Условия применения технологии добычи угля с выпуском: крепость угольного пласта должен быть не более 2,5 без применения технологии ослабления верхней пачки, в противном случае верхняя пачка должна быть ослаблена первой; коэффициент крепости угольного пласта должен возрастать с увеличением мощности пласта, причем минимальное значение крепости не должно быть менее 1 для предотвращения раздавливания кромки пласта; мощность прослойков твердой породы в верхней пачке угля не должна превышать 0,4 м. В то же время, суммарная мощность пропластков в пласте сложного строения не должна быть больше 15% мощности вынимаемой мощности угольного пласта; для угольного пласта с коротким периодом естественного самовозгорания, большой метанообильностью и склонностью угольной пыли к взрыву необходимо принять соответствующие меры обработки пласта прежде применения технологии разработки «с выпуском»; особого внимания заслуживают обводненные угольные пласты, залегающие на небольших глубинах, под старыми выработанными пространствами, заполненными дренажными водами. Дополнительным ограничением является применение гидропошневого выпуска: в таком случае угол падения пласта не должен превышать 30°.

Резюмируя вышеизложенное, следует подчеркнуть факторы, оказывающее наибольшее влияние на область применения технологии полностью механизированной выемки с обрушением и выпуском подкровельной части угольного пласта[3]:

- Мощность угольного пласта. Как правило, кратность выемки нижней и подкровельной частей при полностью механизированной добыче составляет от 1 до 4. Этот параметр может быть увеличен или уменьшен в зависимости от размеров выработанного пространства и мощности отрабатываемого слоя, которая составляет обычно от 2,5 м до 3,0 м. Высота обрушения угля при этом изменяется от 6 м до 12 м. Соответствующая этим показателям полная мощность угольного пласта должна быть от 7 до 15 м.

- Прочностные характеристики угольного пласта. Крепость угля в пласте является важным фактором, влияющим на производительность очистного забоя.

Крепость угольного пласта зависит от степени развития в нем трещин и объемом пропластков пустой породы. Коэффициент крепости самообрушающегося угля не может быть выше 3, в противном случае он должен быть снижен до величин менее 3, например, предварительной обработкой путем нагнетания в пласт воды под высоким давлением.

Угол падения угольного пласта. Чем меньше угол падения угольного пласта, тем благоприятнее управление технологическими процессами в очистном забое.

- Литология почвы и кровли угольного пласта. Кровля угольного пласта должна быть легкообрушаемой. Блоки обрушившейся породы должны максимально заполнить выработанное пространство. Почва угольного пласта должна быть относительно прочной, способной выдерживать вес современной призабойной крепи.

2.5 Направления совершенствования технологий разработки мощных угольных пластов

При исследовании новых способов разработки мощных пластов на шахтах Китая, профильными специалистами в 1998 году было запатентовано и предложено новое техническое решение [50, 72]. В данном патенте на способ разработки было предложено увеличение коэффициента извлечения, поддержки штреков и стабилизации горного оборудования в очистном забое. На Рисунке 2.4 (б) представлен метод разработки с диагональным (крестообразным) расположением штреков. Здесь, по сравнению с другими методами (рисунок 2.4 а). Данные штреки пройдены диагонально друг по отношению к другу (крест-накрест), что дает следующие преимущества: увеличивается коэффициент извлечения угля на 10% и более; уменьшается вероятность самовозгорания угля; увеличивается устойчивость стоек крепи а также прочего оборудования, расположенного в горных выработках [42, 50].

В июне 2003 года при угле падения 43° и мощности пласта угля 15,5 м на шахте "Цзинъюань Ванцзяшань" была принята схема расположения штреков на месте первоначально проектируемых целиков, в результате чего был сформирован длинный очистной забой длиной 115 м, что резко улучшило технические и

экономические показатели работы по шахте в целом. Доступ к нижнему слою обеспечивает формируемая ступенчатая выработка, что стало ключевым техническим фактором в сокращении потерь угля [72].

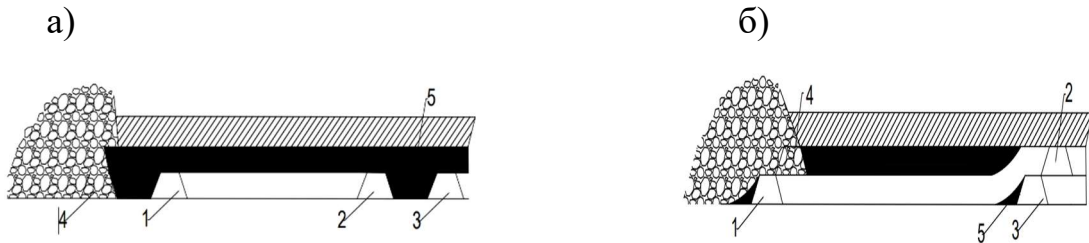


Рисунок 2.4 - Метод разработки с поперечным расположением штреков[72]: 1 — воздухоподающий штрек (свежая струя); 2 — воздухоотводящий штрек (исходящая струя); 3 — вентиляционный штрек следующего забоя; 4 — штрек предыдущего забоя; 5 — потери угля

По сравнению со слоевой комплексно механизированной добычей, выемка пласта на полную мощность имеет ряд преимуществ: большую производительность; относительно простую технологию очистных работ; простые производственные процессы, меньшие объемы проходческих работ, крепления и ремонта подготовительных выработок; высокую эффективность добычи угля, низкую себестоимость. По сравнению с полностью механизированной добычей с обрушением и выпуском подкровельной пачки, выемка пласта на полную мощность характеризуется высокой скоростью подвигания очистного забоя, низким засорением пустой породой.

Известная система разработки с диагональным (крестообразным) расположением штреков, обладает очевидными достоинствами по сравнению с другими применяемыми технологиями, включая повышение коэффициента извлечения и снижение риска самовозгорания угля в выработанном пространстве.

Перспективной является почти забытая сплошная технология ведения работ, не требующая оставления целиков для защиты выработок от опорного давления, в порядке эксперимента примененная на шахте «Юшенфу», причем получен существенный эффект, благодаря решению фундаментальных технических

проблем, связанных с оставлением угольных целиков, таких как потеря целиками устойчивости в зонах тектонических нарушений, потеря запасов, трудное обслуживание сопряжений очистных забоев и т.д., с высокой экономической и социальной выгодой.

2.6 Выводы по главе 2

1. В настоящее время на шахтах Китая для отработки мощных угольных пластов используют, в основном, следующие технологии: с выемкой пласта одним слоем при мощности пласта до 7-8м; с разделением пласта на наклонные слои при мощности пласта 7-13м; с отработкой слоя у почвы пласта и выпуском вышерасположенного подкровельного слоя при мощности пласта более 12-13м.

2. Актуальными проблемами при отработке мощных пластов являются:

- Снижение эксплуатационных потерь угля, достигающих при использовании технологий с выпуском подкровельного слоя 20% и более;

- Обеспечение линейности передвижения механизированного комплекса, предотвращение сползания вниз по падению пласта забойного конвейера и гидрофицированной крепи при углах падения пласта более 80°;

- Снижение вероятности самовозгорания угля в выработанном пространстве лав из-за большого объема потерь измельченного угля, а также трудностей изоляции выработанных пространств;

- Обеспечение безопасности очистных работ в лавах наработанных наклонных слоев;

- Обеспечение надежного проветривания очистных забоев на газовых шахтах.

3. Достоинства слоевой разработки заключаются в том, что технология давно применяется в Китае и, следовательно, является хорошо отработанной и обычной технологией добычи угля с небольшими удельными инвестициями в оборудование, небольшой высотой первого разрабатываемого слоя, сравнительно эффективной технологией управления газовой выделением, контролируемые процессами разрушения подрабатываемых покрывающих пород и управляемыми

деформациями поверхности.

4. Основными недостатками слоевой системы разработки являются: сложная система сооружения и поддержания слоевых подготовительных выработок при высоких скоростях подвигания очистных забоев; необходимость возведения временных кровель из искусственных материалов, для обеспечения безопасности работ в лавах нижнего слоя; резкое снижение технико-экономических показателей при переходе геологических нарушений.

5. Технология «с выпуском угля» успешно применяется в самых разнообразных геологических условиях, в том числе на пластах сложного строения. Опытом доказана успешность отработки «с выпуском» различных невыдержанных по мощности с колебаниями от 4 до 20 м пологих наклонных угольных пластов. Эта технология успешно применяется при отработке пластов, с амплитудами нарушений не превышающих вынимаемой мощности пласта, а также при отработке пластов с неустойчивой кровлей и почвой.

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНО -ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МОЩНОСТЬ МЕЖСЛОЕВОЙ ЗАЩИТНОЙ УГОЛЬНОЙ ПАЧКИ

В качестве основного изучаемого объекта при проведении исследований принят пласт №3, обрабатываемый с использованием системы разработки наклонными слоями в горно-геологических и горнотехнических условиях шахты «Хан Лайвань».

3.1 Исследования напряженно-деформированного состояния надрабатываемого угольного массива при ведении очистных работ в верхнем слое

Обобщенная цель данных исследований заключается в получении новых научных данных, позволяющих более обоснованно подходить к определению мощности защитной межслоевой пачки угля при использовании системы разработки наклонными и горизонтальными слоями с полным обрушением пород кровли в выработанном пространстве [31]. Основанием для такой постановки вопроса является выдвинутое в 2005 г. профессором В.П. Зубовым [35] предположение о том, что отрицательное влияние на прочностные характеристики защитных пачек может оказывать опорное давление, формируемое впереди лав верхнего слоя.

Частной задачей текущего этапа исследований, описание которого приведено в данном параграфе, является оценка характера и интенсивности процессов разупрочнения (разрушения) надрабатываемого угольного массива, являющегося почвой надрабатывающего слоя, под воздействием опорного давления, формирующегося впереди забоя лавы верхнего слоя. Достижение данной цели предлагается с помощью компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния исследуемого пласта и вмещающих пород методом конечных элементов[56, 70, 125].

Выбор цели и метода исследований основан на следующих представлениях о горно-геомеханических процессах, протекающих в окрестности очистного забоя

при слоевой выемке мощного угольного пласта с оставлением защитной межслоевой пачки.

Вначале углепородный массив находится в состоянии равновесия. Уровень напряженного состояния массива на глубине залегания угольного пласта обусловлен действием веса вышележащих пород, т.е. геостатическими гравитационными силами. При слоевой выемке верхнего слоя угольного пласта происходит «снятие» веса вышележащих пород с нижнего слоя, т.е. его разгрузка от напряжений. В результате в нём (а также в подстилающих породах) совокупно реализуются два типа деформационных процессов: а) упругое восстановление пород (их расширение в сторону выработанного пространства) вследствие снятия с них нагрузки; б) выдавливание пород в сторону выработанного пространства (в сторону меньшего сопротивления) опорным давлением на контуре лавы [11, 99].

Реализация данных процессов приводит к разупрочнению или разрушению нижнего почвенного слоя угольного пласта (будущей защитной межслоевой пачки) на определенную глубину при его обнажении по мере подвигания очистного забоя по верхнему слою.

Как результат, впоследствии в процессе выемки нижнего слоя защитная межслоевая пачка угля в его кровле оказывается представлена не сплошной плитой (балкой), как предполагается в методиках определения ее мощности, а напротив – нарушенной и трещиноватой (в том числе, возможно, пронизанной трещинами на всю свою мощность).

Оценка параметров, характера и интенсивности описанного процесса относится к числу сложных горно-геомеханических задач, для решения которых отсутствуют прямые аналитические методы (т.е. методы, которые позволяли бы однозначно решить поставленную задачу с помощью конечного числа математических операций). Это связано, в частности, и с тем, что существующие методики определения мощности защитной пачки (методики ВНИМИ, КуНИУИ, КузГТУ) [1, 29, 48] не учитывают влияние отработки верхнего слоя на процессы разупрочнения угля в подстилающем слое, а лишь рассматривают защитную пачку как целостную плиту (балку), залегающую в кровле нижнего слоя и работающую

на сдвиг и/или на изгиб.

В этой связи, выбор компьютерного моделирования с привлечением метода конечных элементов, главным достоинством которого является сколь угодно близкая аппроксимация незамкнутых решений (по сути, ограниченная лишь вычислительными мощностями), является вполне обоснованным способом исследования для достижения поставленной цели.

1. Основные задачи (этапы) моделирования:

Разработка расчетной схемы, учитывающей описанные выше горно-геомеханические процессы.

2. Обоснование параметров расчетной схемы:

- геометрия моделируемых объектов;
- геомеханическая модель моделируемого массива горных пород (МГП);
- начальные и граничные условия;
- физико-механические свойства моделируемых горных пород.

3. Создание сетки конечных элементов в соответствии с разработанной расчетной схемой.

4. Расчеты с использованием компьютерных программ и интерпретация полученных данных, в частности, определение размера и формы зон разрушения почвы верхнего слоя при его отработке.

Принципиальная схема разработанной модели (расчетная схема) представлена на рисунке 3.1. Модель является плоской и представляет собой идеализированный продольный разрез по центральной оси выемочного столба.

Схема разработана таким образом, чтобы отразить основные классические представления геомеханики о процессах разрушения и деформирования надработанного лавой слоистого массива осадочных горных пород (рисунок 3.2)[22, 23].

Модель включает мощный горизонтально залегающий угольный пласт, подстилающие и вышележащие породы, в том числе породы непосредственной и основной кровли, вплоть до дневной поверхности. Правая и нижняя границы модели отнесены на расстояние, исключаяющее их влияние на область массива

горных пород в окрестности очистного забоя, представляющую непосредственный интерес для моделирования. Левая граница ограничивает полупролет выработанного пространства (ВП). Верхняя граница соответствует положению земной поверхности.

Моделируется горнотехническая ситуация, соответствующая отработке верхнего слоя пласта №3 шахты «Хан Лайвань». Выработанное пространство представлено как полость, при этом пригрузка от веса обрушенных пород на почву отработанного слоя моделируется в форме эпюры давления, приложенной к почве слоя и линейно возрастающей от минимума в призабойной части пласта до максимума у границы полупроекта выработанного пространства.

Выработанное пространство имеет ограниченный полупролет, так что это позволяет отразить в модели то обстоятельство, что вышележащие породные мосты при их подработке оказываются расположенными на двух опорах: с одной стороны – на краевой части отрабатываемого пласта (центральная часть модели), а с другой стороны – на уплотненных обрушенных породах выработанного пространства (находятся за пределами левой границы модели).

Помимо собственно веса вышележащих пород, напряженно-деформированное состояние призабойной части отрабатываемого пласта формируется также нагрузками от воздействия на нее крутящего момента зависающей позади лавы консоли основной кровли (схематично данный момент показан красными стрелками на рисунке 3.1. Для учета этого процесса консоль основной кровли образована в модели путем искусственного создания щелей отрыва: а) горизонтальной продольной щели на всю длину контакта консоли основной кровли и вышележащих пород и б) вертикальной щели на три четверти мощности основной кровли над краевой частью пласта.

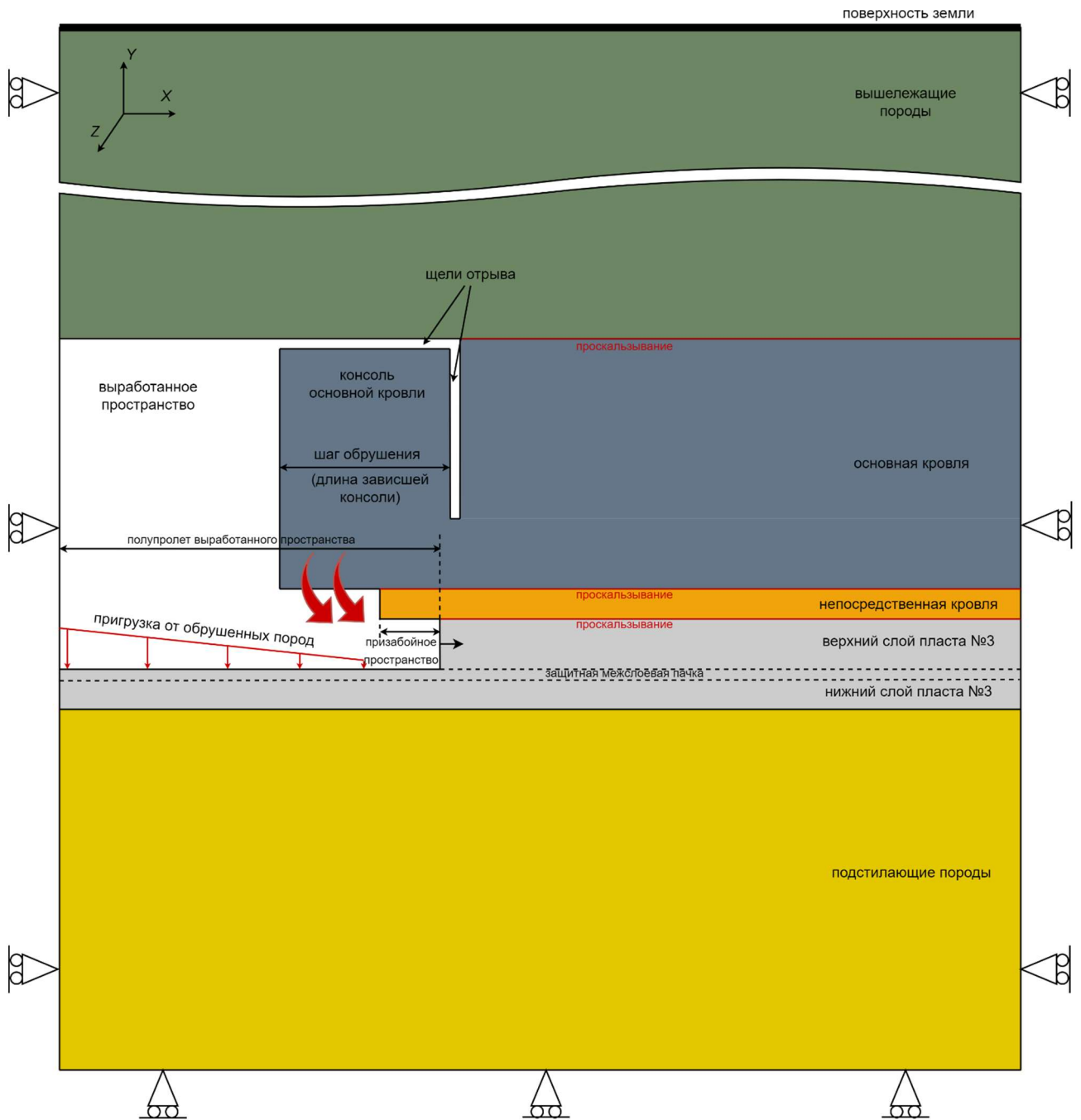


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема компьютерной модели

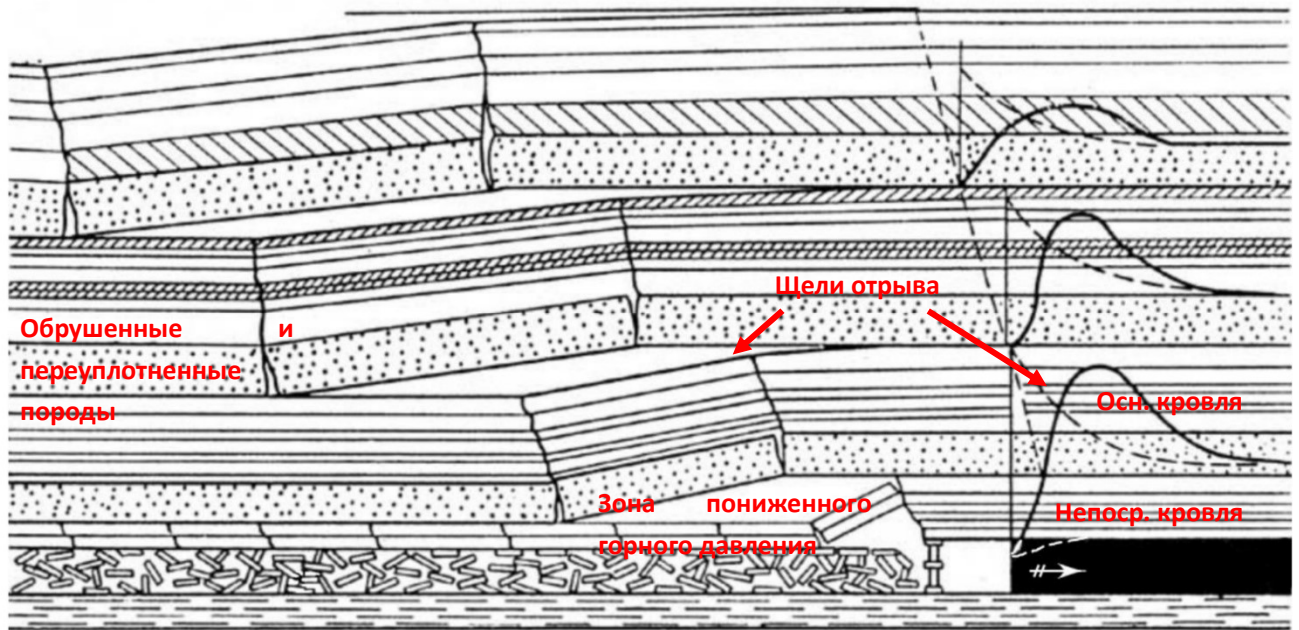


Рисунок 3.2 – Процесс разрушения слоистых пород кровли при отработке угольного пласта

В разработанной схеме предлагается оценивать две граничные ситуации:

1. При максимальной длине зависания сформированной консоли (непосредственно перед ее посадкой) при отработке пласта №3, определяемой величиной установившегося шага обрушения;
2. При минимальной длине консоли, т.е. при ситуации, непосредственно следующей за моментом посадки основной кровли.

Раздельное моделирование указанных горнотехнических ситуаций позволит оценить степень влияния пригрузки призабойной части пласта консолью основной кровли на параметры формируемой зоны разупрочнения/разрушения угля в почве верхнего слоя.

Граничные условия модели заданы следующим образом:

- на нижней границе смещения запрещены по вертикальной оси Y ;
- на левой и правой границах смещения запрещены по горизонтальной оси X ;
- на верхней границе (дневная поверхность) смещения разрешены по всем осям.

Начальные условия в модели описываются геостатическим напряженным состоянием в соответствии с гипотезой А. Динника, согласно которой вертикальные напряжения в массиве горных пород определяются весом вышележащей толщи пород, а горизонтальные – силами упругого бокового распора [23, 38, 44] (3.1):

$$\begin{aligned}\sigma_y &= \gamma H \\ \sigma_x &= \sigma_z = \lambda \sigma_y \\ \lambda &= \frac{\nu}{1-\nu}\end{aligned}\quad (3.1)$$

где σ_y , σ_x , σ_z – вертикальные и горизонтальные компоненты напряжений в массиве горных пород;

γ – объемный вес вышележащих пород;

H – глубина;

λ – коэффициент бокового распора;

ν – коэффициент Пуассона.

Моделирование производится в плоскодеформированной постановке. Массив представлен как сплошная слоистая среда, где каждый слой изотропен и характеризуется своим набором физико-механических свойств, отражающим реальные горно-геологические условия отработки пласта №3 шахты «Хан Лайвань».

Для адекватного отображения передачи пригрузки от зависающих консолей основной и непосредственной кровли на угольный пласт на контактах «вышележащие породы-основная кровля», «основная кровля-непосредственная кровля», «непосредственная кровля-угольный пласт» заданы контактные условия, обеспечивающие возможность проскальзывания данных слоев друг относительно друга вдоль плоскости контакта.

Угольный пласт моделируется как упруго - пластическая среда, поведение которой описывается линейным законом Гука и критерием пластического течения Кулона-Мора. Остальные породы моделируются как упругая среда, т.к. процессы их разрушения (полость выработанного пространства, щели отрыва) уже учтены в модели в явном виде. Такой подход позволяет упростить модель, в то же время

сохраняя требуемую степень идеализации.

Основываясь на горно-геологических и горнотехнических условиях отработки пласта №3 в пределах шахтного поля шахты «Хан Лайвань», в модели были приняты следующие геометрические параметры моделируемого массива горных пород:

- отрабатываемый пласт залегает горизонтально;
- глубина залегания пласта по кровле 230 м;
- мощность пласта 9 м;
- ширина призабойного пространства 6 м;
- вынимаемая мощность верхнего слоя 5 м;
- мощность непосредственной кровли 3 м;
- мощность основной кровли 24 м;
- шаг обрушения основной кровли (максимальная длина зависающей консоли основной кровли) 20 м;
- минимальная длина зависающей консоли 6 м.

Вышележащая толща пород представлена в исходном состоянии, в основном, переслаиваниями среднезернистых и мелкозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов; основная кровля – среднезернистым песчаником; непосредственная кровля – аргиллитами и алевролитами. Физико-механические свойства пород представлены в таблице 3.1. Значения принимались как средние или средневзвешенные (для вышележащих пород) по данным, предоставленным шахтой «Хан Лайвань».

Для определения параметров эпюры давления обрушенных пород на почву верхнего слоя пласта в выработанном пространстве было сделано допущение, что давление обрушенных пород возрастает линейно от нуля в призабойном пространстве до естественного уровня γH на удалении 100 м от забоя в сторону выработанного пространства.

Таблица 3.1 – Принятые для моделирования физико-механические свойства массива горных пород [12, 117]

Моделируемый элемент массива горных пород	Объемный вес, МН/м ³	Модуль упругости, МПа	Предел прочности на одноосное растяжение, МПа	Предел прочности на чистый сдвиг, МПа	Угол внутреннего трения, градусы
Вышележащая толща	0,023	24000	-	-	-
Основная кровля	0,025	33200	-	-	-
Непосредственная кровля	0,023	21800	-	-	-
Угольный пласт №3	0,013	5900	1,1	3,0	37,6
Подстилающие породы	0,023	21800	-	-	-

В соответствии с принятой в модели гипотезой о геостатическом распределении напряжений в нетронутом массиве горных пород до начала отработки пласта, напряжения в окрестности забоя линейно увеличиваются с глубиной и определяются весом горных пород (рисунок 3.3)[46]. Вертикальные напряжения на глубине залегания пласта до начала его отработки составляют 5,3 МПа.

На рисунке 3.4 показано распределение вертикальных напряжений в окрестности очистного забоя верхнего слоя при максимальной длине зависшей консоли (непосредственно перед ее обрушением), а на рисунке 3.5 – при минимальной (сразу после обрушения).

Величина максимума напряжений в зоне опорного давления в обоих случаях

составляет до 13,3 МПа (в 2,5 раза выше уровня естественных напряжений), а расстояние от краевой части пласта до максимума опорного давления составляет около 7 м.

Полученные распределения не демонстрируют существенных качественных и количественных различий в форме и положении зоны концентрации напряжений в пласте впереди забоя (зоны максимума опорного давления) для обоих случаев нагружения [46].

Графики опорного давления впереди лавы, приведенные на рисунке 3.6, дополнительно иллюстрируют описанные обстоятельства.

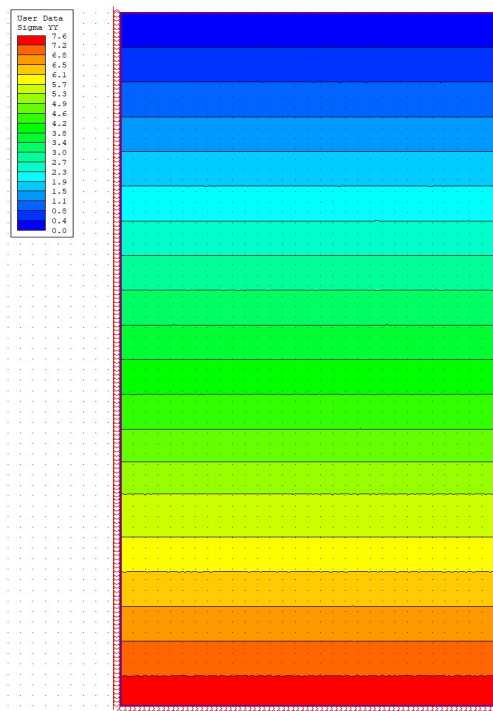


Рисунок 3.3 – Колеровка интенсивности вертикальных напряжений σ_y

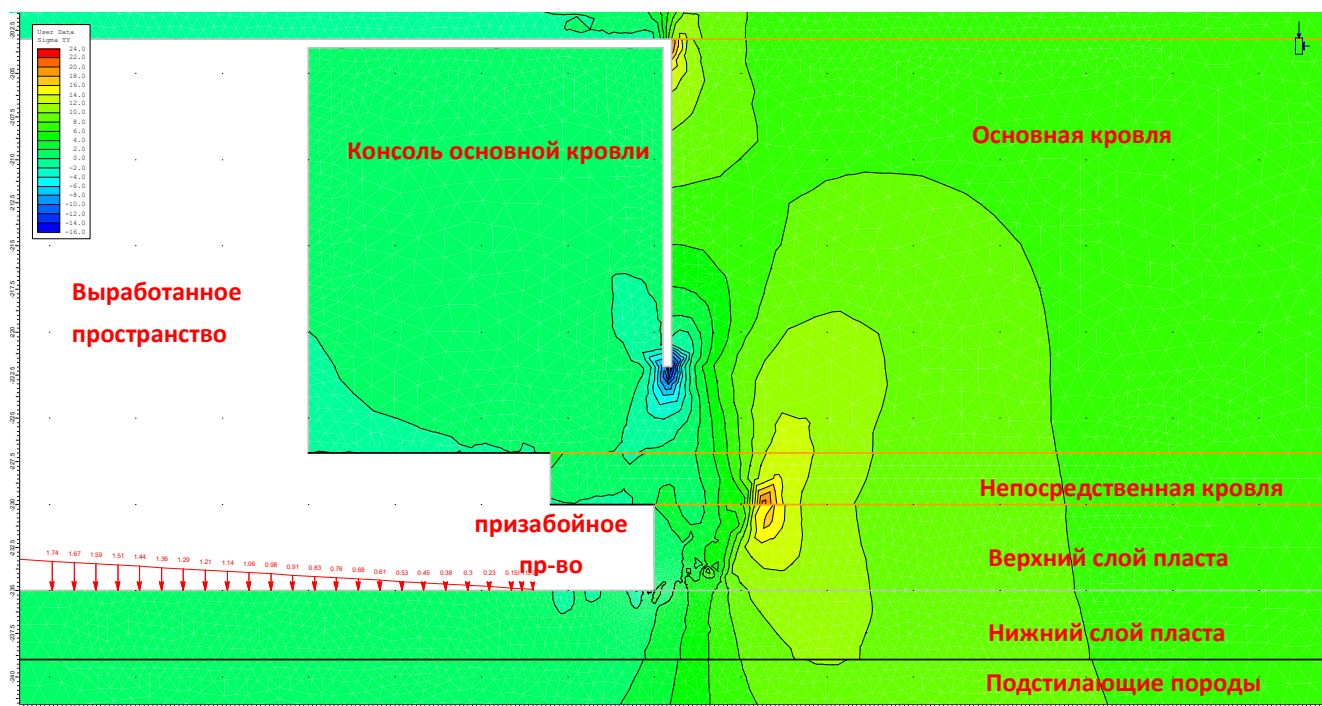


Рисунок 3.4 – Поле вертикальных напряжений σ_y в окрестности очистного забоя при максимальной длине зависшей и отколовшейся консоли основной кровли

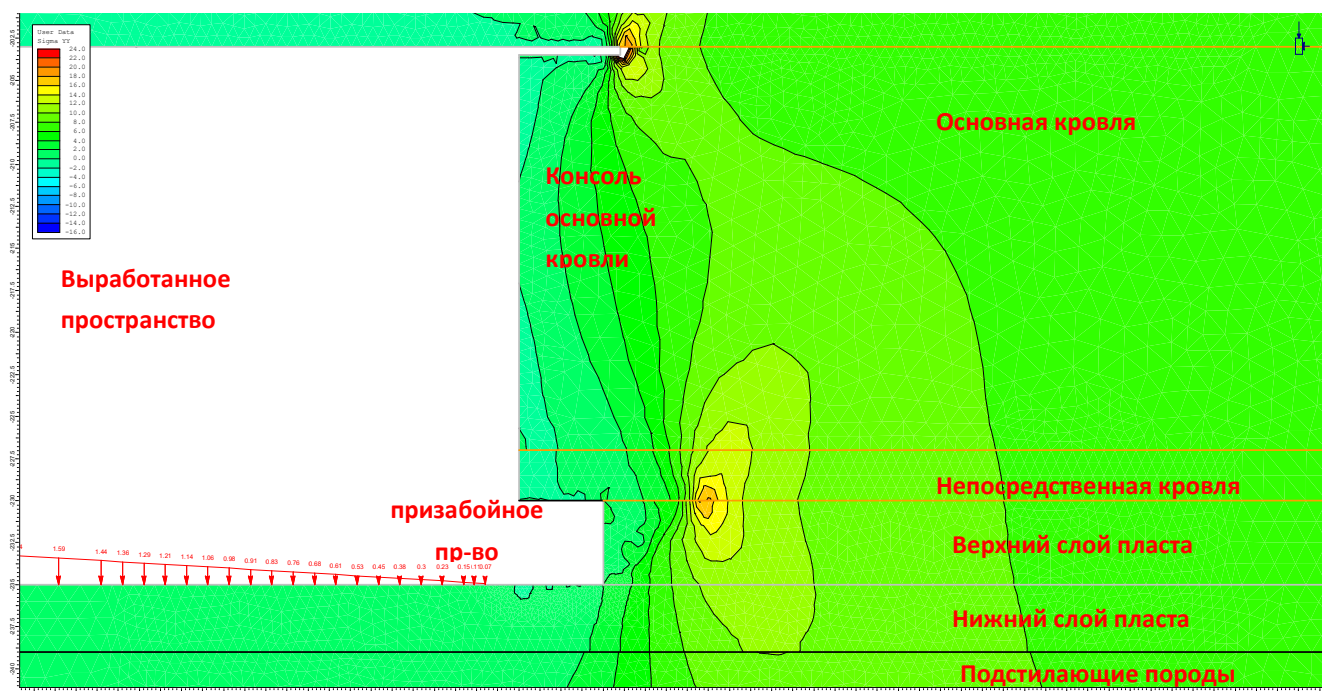


Рисунок 3.5 – Поле вертикальных напряжений σ_y в краевой части очистного забоя при минимальной длине зависшей консоли основной кровли (построены для срединной плоскости вынимаемой мощности первого слоя)

Таким образом, длина зависшей консоли основной кровли не влияет на величину опорного давления впереди забоя лавы. Связано это, по всей видимости

с тем, что при максимальной длине зависшей консоли трещина отрыва находится над краевой частью пласта, тем самым «отрезая» влияние крутящего момента консоли на общую величину опорного давления, находящегося за линией трещины отрыва. При минимальной же длине консоли влияние крутящего момента слишком мало по сравнению с весом вышележащих пород.

При этом, однако, влияние длины зависшей консоли достаточно явно проявляется при анализе зон разупрочнения/разрушения пласта в его краевой части (для сравнения рисунки 3.7 и 3.8). При максимальной длине консоли области разрушения в призабойной краевой части пласта отличаются большей интенсивностью (и большим весом пород, развивающих крутящий момент на опоре), чем при минимальной длине консоли.

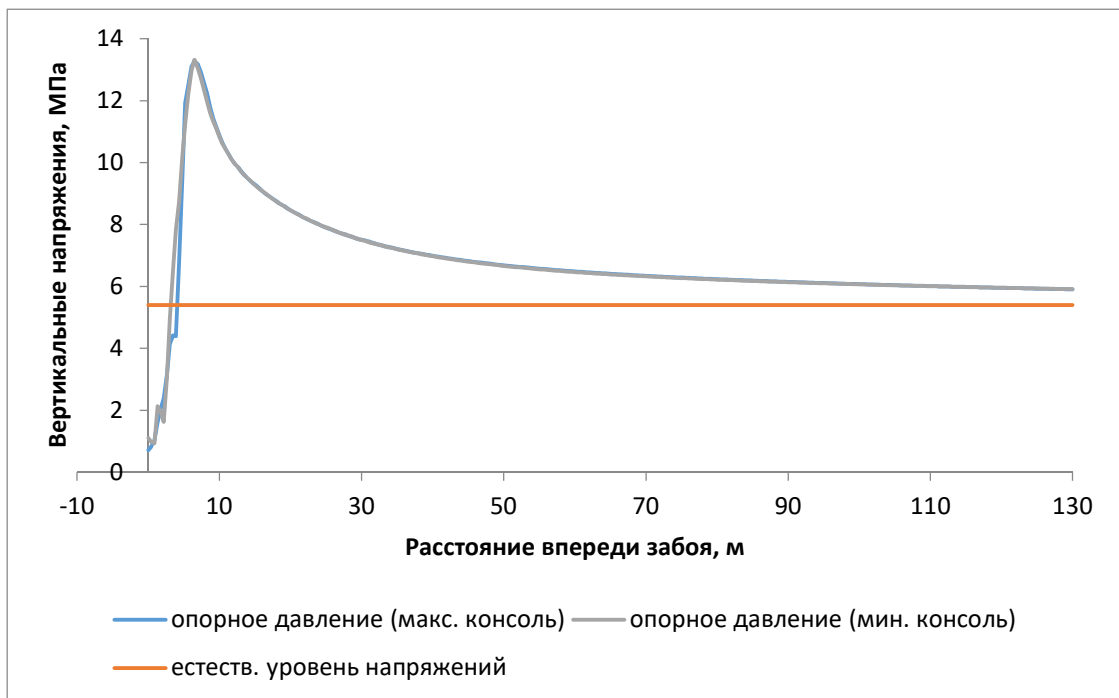


Рисунок 3.6 – Распределение опорного давления впереди очистного забоя при разном положении зависшей консоли основной кровли (построены для срединной плоскости вынимаемой мощности первого слоя)

Также в обоих случаях наблюдаются разрушения в почве верхнего слоя в призабойном пространстве (показаны красными стрелками). Кроме того, при максимальной длине консоли области разрушения впереди забоя также частично распространяются в пласте глубже уровня подошвы верхнего слоя.

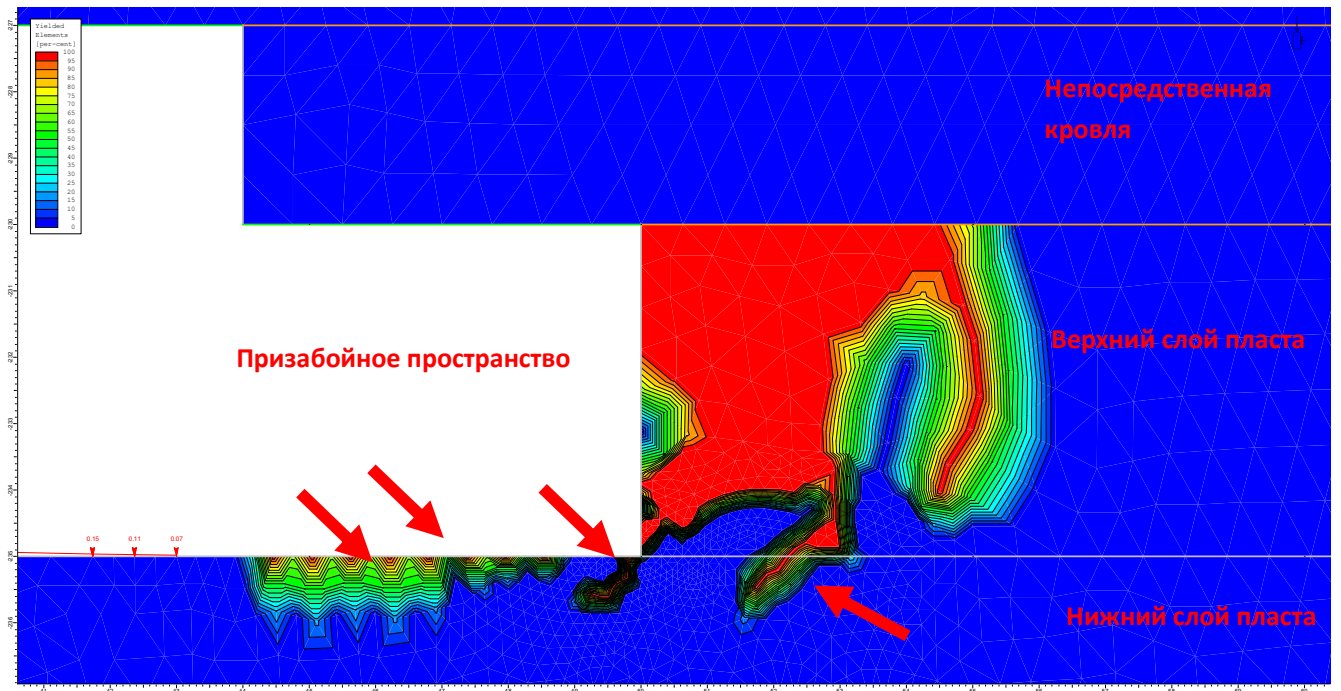


Рисунок 3.7 – Области краевой части очистного забоя, перешедшие в запредельное состояние, при максимальной длине зависшей консоли основной кровли: синий цвет – устойчивое состояние; красный цвет – разрушение; зеленый цвет – разупрочнение; стрелками показаны области разрушения в почве верхнего слоя

Таким образом, модель демонстрирует разрушение почвы верхнего слоя при его выемке, т.е. нарушение целостности будущей межслоевой защитной пачки угля.

Глубина разупрочнения почвы верхнего слоя в пласте по нормали к границе верхнего и нижнего отрабатываемых слоев пласта №3 составляет:

- При максимальном зависании основной кровли (непосредственно после скола и перед ее обрушением): $\approx 0,3$ м;
- При минимальном зависании основной кровли (после посадки): $\approx 0,2$ м.

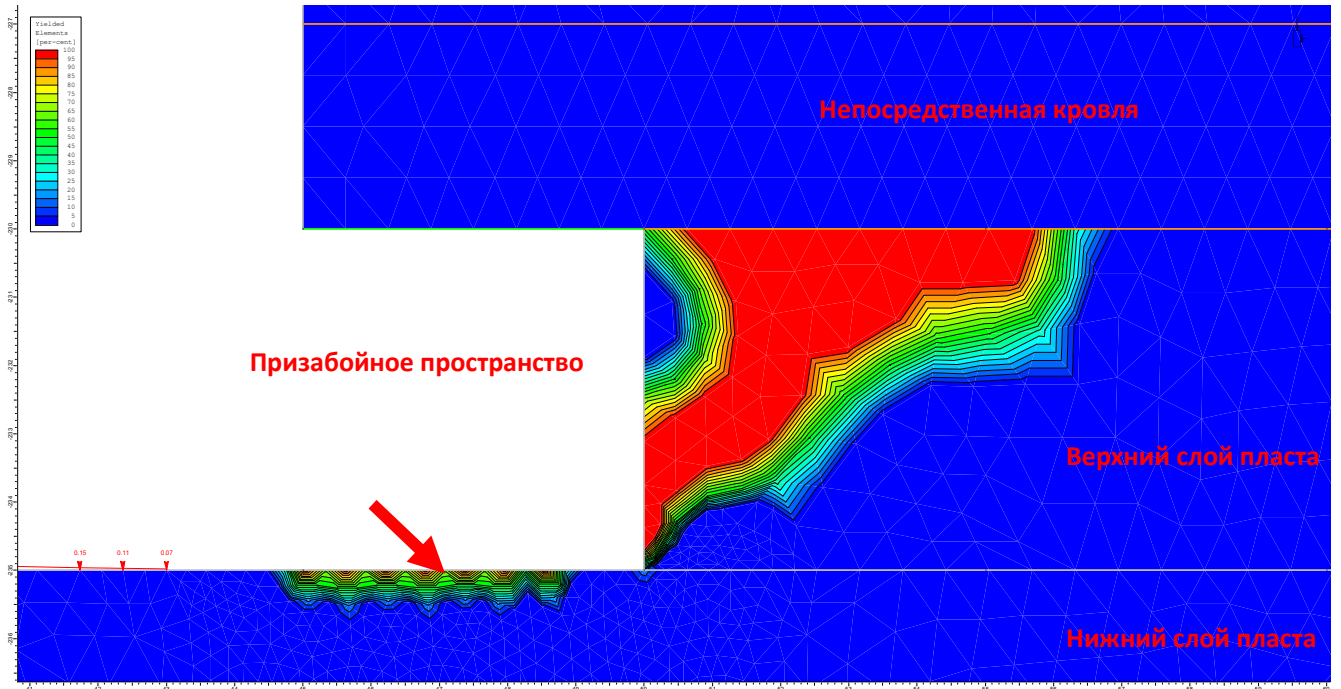


Рисунок 3.8 – Области краевой части очистного забоя, перешедшие в запредельное состояние, при минимальной длине зависшей консоли основной кровли: синий цвет – устойчивое состояние; красный цвет – разрушение; зеленый цвет – разупрочнение; стрелками показаны области разрушения в почве верхнего слоя

Показанные на рисунке 3.9 направления смещений элементов МГП подтверждают сделанное выше предположение о том, что причиной разрушения угля в почве при отработке верхнего слоя является его выдавливание в сторону освободившегося от горного давления призобойного пространства.

Помимо выдавливания почвы вверх, на рисунке также явно прослеживается сдвиг краевой части пласта в призобойное пространство (отжим в пласте), а также наклон консолей основной и непосредственной кровли (крутящий момент), создающий дополнительную пригрузку на краевую часть пласта.

Обобщающий анализ факторов, влияющих на глубину разрушения почвы верхнего слоя при слоевой выемке пласта №3

Выше было показано, что глубина разрушения почвы верхнего слоя при слоевой выемке пласта №3 зависит от длины зависшей над выработанным пространством консоли основной кровли (по сути – от величины шага обрушения).

На рисунке 3.10 представлен более детализированный график зависимости глубины разрушения (разупрочнения) почвы верхнего слоя от изменения длины зависающей консоли, включающий дополнительные исследованные точки.

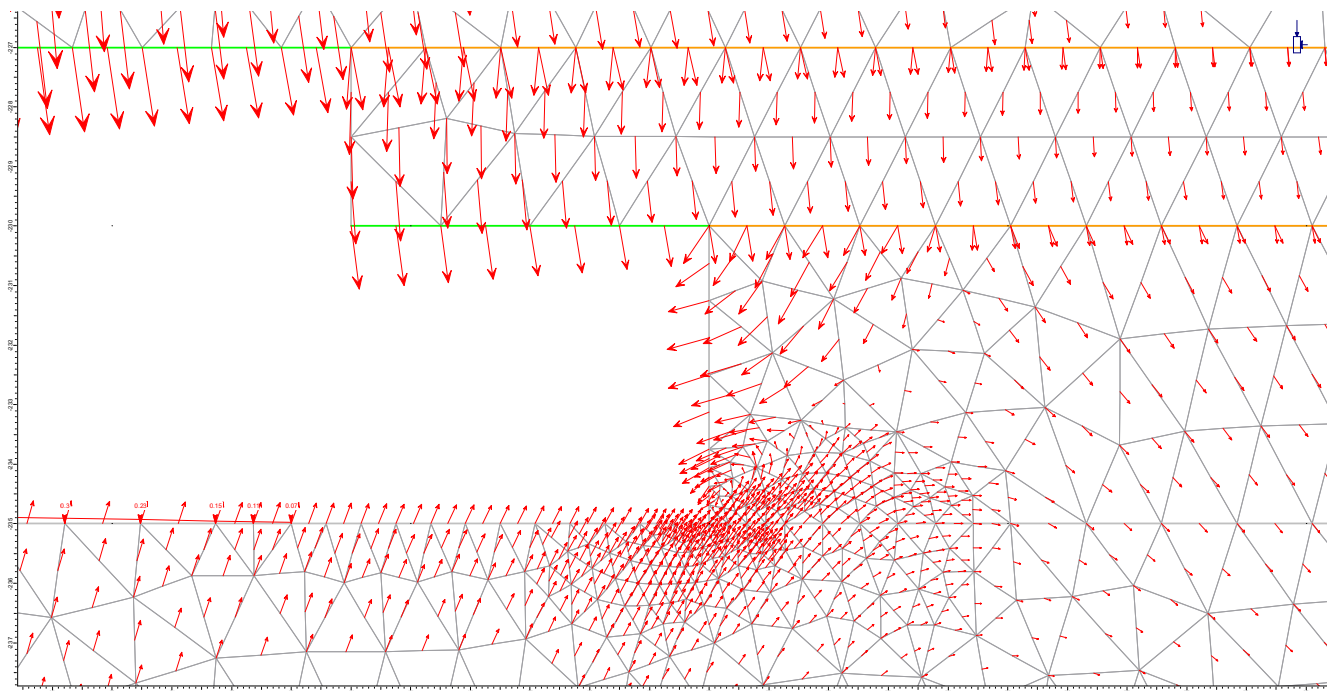


Рисунок 3.9 – Векторы смещений узлов конечных элементов в окрестности очистного забоя

Приведенная зависимость в диапазоне изменения длины консоли от 6 до 25 м удовлетворительно описывается уравнением[3.2]:

$$h = 0,1622e^{0,0317l_k} \quad (3.2)$$

где h – глубина разрушения/разупрочнения почвы верхнего слоя, м; l_k – длина зависшей в выработанном пространстве консоли основной кровли, м.

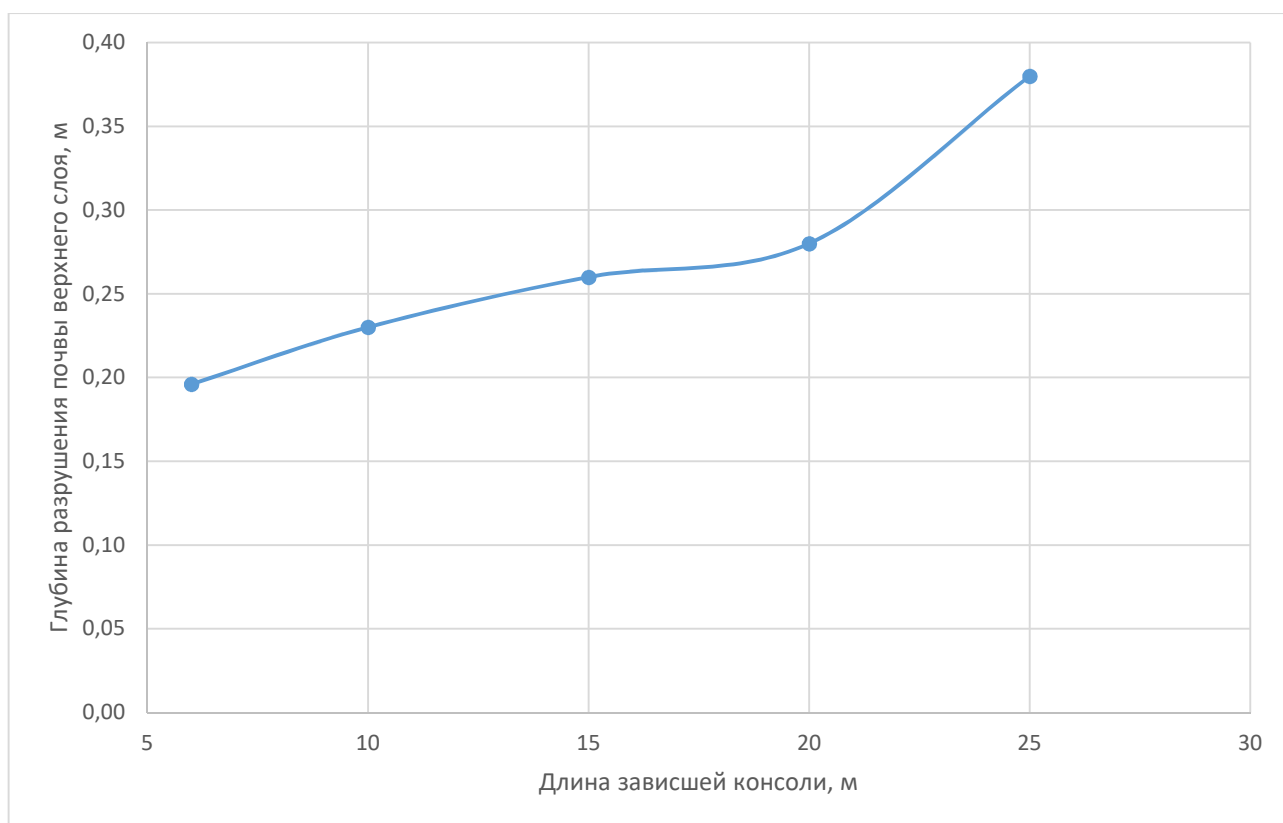


Рисунок 3.10 – График зависимости между длиной зависшей консоли и глубиной разупрочнения (разрушения) почвы верхнего слоя при его отработке

Для дополнительного анализа факторов, влияющих на глубину зоны разрушения (разупрочнения) припочвенного слоя пласта, помимо шага обрушения кровли, в разработанной расчетной схеме (компьютерной модели) также было учтено влияние следующих параметров: предела прочности угля на растяжение; сцепления (предела прочности угля на чистый сдвиг); мощности вынимаемого верхнего слоя; глубины залегания разрабатываемого пласта.

Предел прочности угля на растяжение изменялся в пределах от 0,9 МПа до 1,3 МПа с шагом 0,1 МПа; сцепление в пласте – от 2,5 до 3,5 МПа с шагом 0,25 МПа; вынимаемая мощность пласта – от 3,5 м до 5,5 м с шагом 0,5 м; глубина залегания пласта – от 205 м до 355 м с шагом 25 м. Расчет выполнен для максимальной длины зависшей консоли 20 м. Остальные параметры остаются зафиксированными в соответствии с базовыми значениями, принятыми для моделирования.

Результирующие графики приведены на рисунках 3.11-3.14.

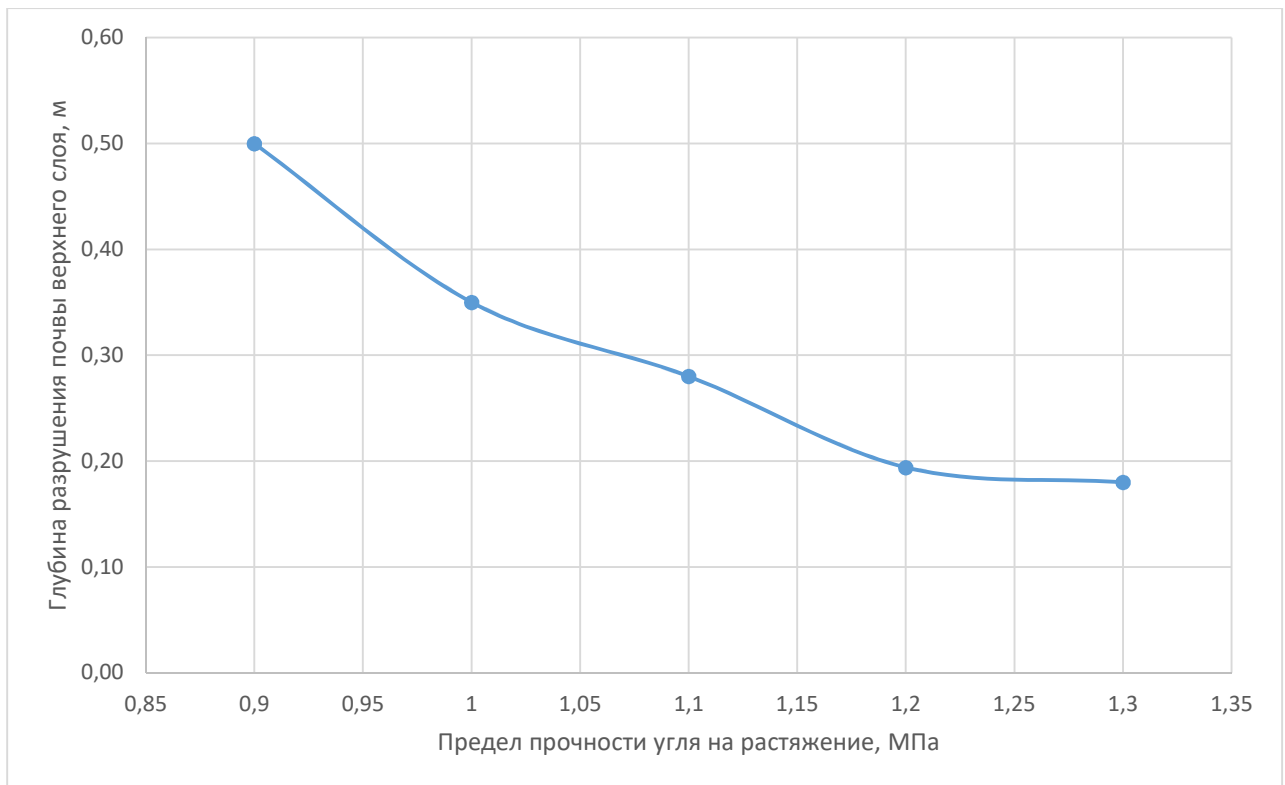


Рисунок 3.11 – Зависимость глубины зоны разупрочнения/разрушения почвы верхнего слоя в пласте от предела прочности угля на растяжение

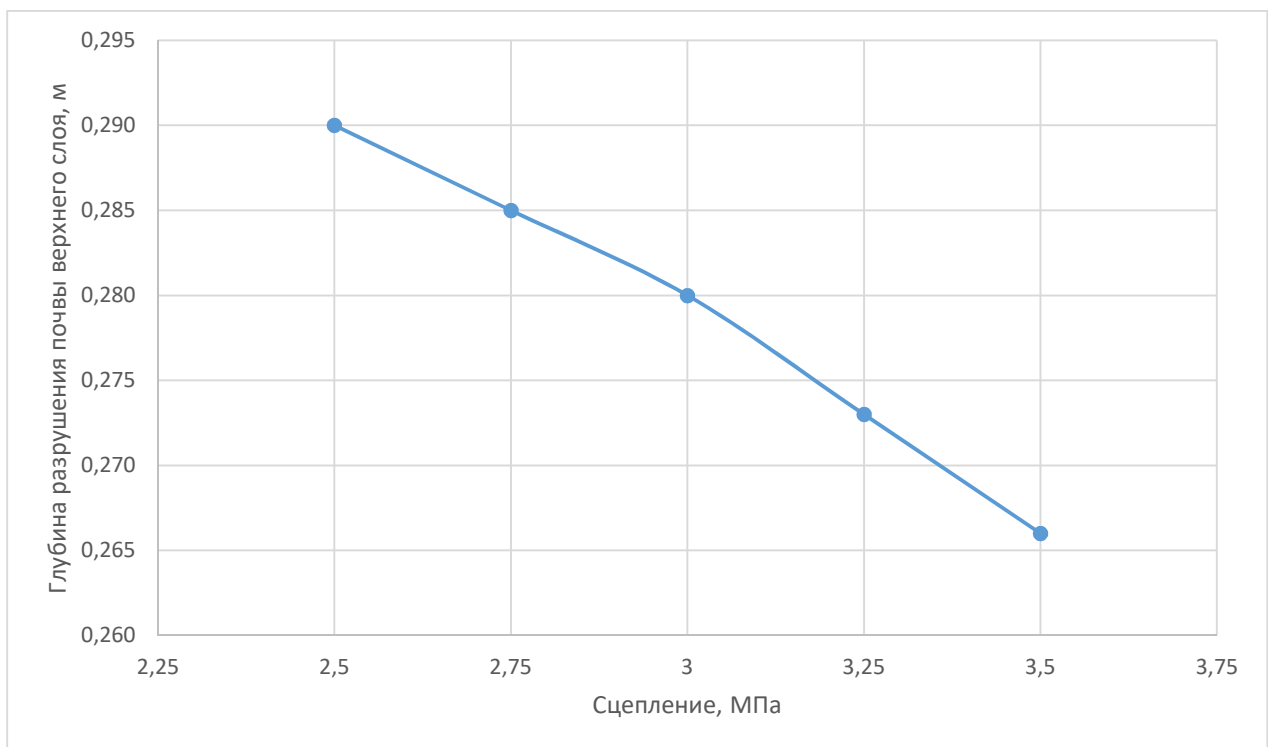


Рисунок 3.12 – Зависимость глубины зоны разупрочнения/разрушения почвы верхнего слоя пласта от величины сцепления в угле

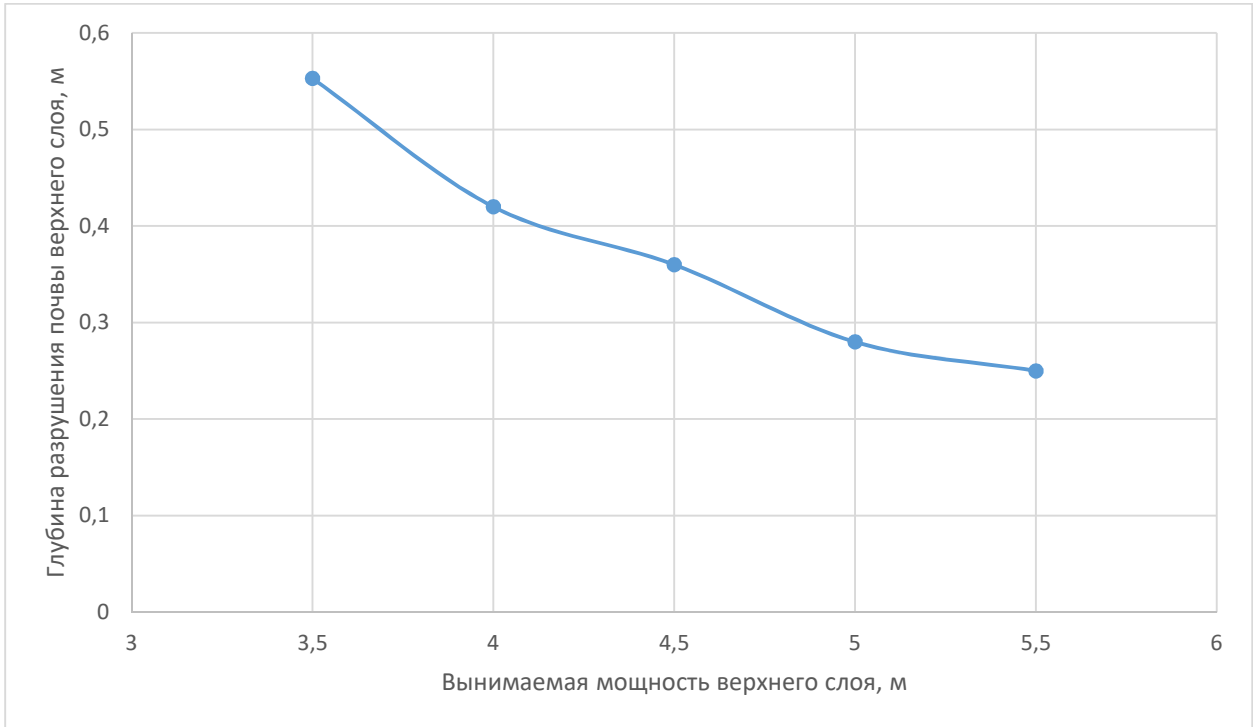


Рисунок 3.13 – Зависимость глубины зоны разупрочнения/разрушения угля в почве отработываемого верхнего слоя и мощности этого верхнего слоя

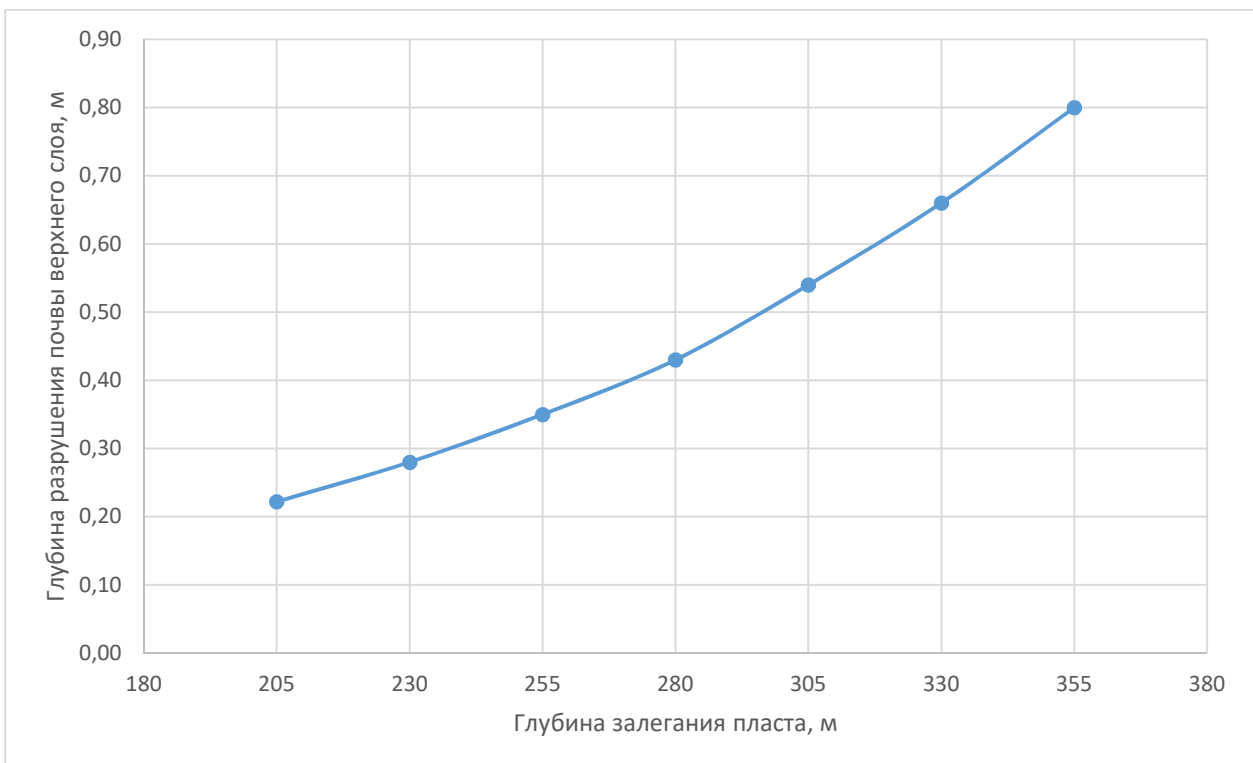


Рисунок 3.14 – Зависимость глубины зоны разупрочнения/разрушения в почве верхнего слоя пласта и глубины залегания этого пласта

На основании полученных результатов можно сделать следующие основные выводы:

- Влияние предела прочности на растяжение сказывается все меньше на размере зоны разрушения по мере роста значения прочности. Данная зависимость в диапазоне изменения прочности на растяжение от 0,9 МПа до 1,2 МПа удовлетворительно описывается уравнением (3.3):

$$h = 0,1622e^{-2,633\sigma_p} \quad (3.3)$$

где h – глубина разрушения/разупрочнения почвы верхнего слоя, м; σ_p – предел прочности угля на одноосное растяжение, МПа.

- Влияние предела прочности угля на чистый сдвиг (в диапазоне 2,5-3,5 МПа) на размер зоны разрушения выражается уравнением (3.4):

$$h = -0,024C + 0,3508 \quad (3.4)$$

где h – глубина разрушения/разупрочнения почвы верхнего слоя, м; C – предел прочности угля на чистый сдвиг (сцепление), МПа.

Таким образом, с ростом сцепления размер зоны разрушения уменьшается. При этом, однако, при шаге $\Delta C = 0,25$ МПа изменение размера зоны разрушения происходит на уровне тысячных долей метра. Данное обстоятельство позволяет говорить о несущественной роли изменения сцепления в процессах разрушения пород почвы, где большую роль играет потеря несущей способности в результате растяжения, а не сдвига.

- Размер зоны разрушения почвы верхнего слоя уменьшается с ростом вынимаемой мощности пласта (в диапазоне 3,5-5,0 м) (3.5):

$$h = 5,0252m^{-1,772} \quad (3.5)$$

где h – глубина разрушения/разупрочнения почвы верхнего слоя, м; m – вынимаемая мощность верхнего слоя, м.

Данное обстоятельство связано, по всей видимости с уменьшением интенсивности выдавливания пород почвы в призабойное пространство по мере роста вынимаемой мощности пласта, т.к. в этом случае данные процессы сосредотачиваются непосредственно в его краевой части, на разрушение которой,

собственно, и уходит основная доля энергии опорного давления лавы.

Как и следовало ожидать, глубина залегания разрабатываемого пласта играет наиболее существенную роль в изменении размеров зоны разрушения припочвенного слоя угля (в диапазоне глубины 205-355 м). С ростом глубины разработки размер зоны разрушения/разупрочнения возрастает. Зависимость имеет вид (3.6):

$$h = 5,0252e^{0,0086H} \quad (3.6)$$

где h – глубина разрушения/разупрочнения почвы верхнего слоя, м; H – глубина залегания разрабатываемого пласта, м.

3.2 Влияние горнотехнических факторов на минимально необходимую мощность межслоевой защитной угольной пачки

В применяемых в настоящее время методиках определения мощности межслоевой защитной угольной пачки, оставляемой между смежными слоями, исходят из предположения, что разрушение межслоевой пачки происходит, если максимальные сдвиговые напряжения превысят предел прочности материала межслоевой пачки на сдвиг (3.7), (3.9) и (3.12) или максимальные напряжения изгиба в пачке превысят предел ее прочности на изгиб (3.8), (3.10) и (3.11)[3, 5, 8, 33].

$$\tau_{сдв} > [\tau_{сдв}] / n \quad (3.7)$$

$$\sigma_{из} > [\sigma_{из}] / n \quad (3.8)$$

где $[\tau_{сдв}]$ - предел прочности пород и угля межслоевой пачки на сдвиг, МПа;

$\tau_{сдв}$ - напряжения сдвига, возникающие в межслоевой пачке, МПа;

$[\sigma_{из}]$ - предел прочности пород и угля межслоевой пачки на изгиб, МПа;

$\sigma_{из}$ - напряжения изгиба, возникающие в межслоевой пачке, МПа;

n - коэффициент запаса прочности ($n = 1,2-1,5$).

$$[\tau_{сдв}] = (0,06 / 0,2) [\sigma_{сж}] \quad (3.9)$$

$$[\sigma_{из}] = (0,1 / 0,12) [\sigma_{сж}] \quad (3.10)$$

$$[\sigma_{сж}] = \sum [\sigma_{сжи}] \cdot m_i \cdot k_c / \sum m_i \quad (3.11)$$

где $\sigma_{сжi}$ –предел прочности на сжатие отдельных слоев, слагающих межслоевую пачку, МПа;

$\sigma_{сжi}$ в расчетах обычно принимают от 11,30 до 35,30 МПа;

m_i - мощность отдельных слоев, м;

k_c -коэффициент структурного ослабления, 0,60-0,64;

$$\tau_{сдв} = \frac{l \cdot h_{op} \cdot \gamma_n + l \cdot h_{зп} \cdot \gamma_{пач}}{h_{зп}} \quad (3.12)$$

где l - длина поддерживаемой консоли угольной пачки;

h_{op} - высота зоны обрушения пород кровли при отработке верхнего слоя, м;

γ_n - объемный вес пород кровли, $\gamma_n = 0,026$ МН/м³;

$\gamma_{пач}$ - объемный вес минерала защитной пачки, $\gamma_{пач} = 0,0132$ МН/м³;

$h_{зп}$ - мощность межслоевой пачки, м.

Высоту зоны обрушения в выработанном пространстве определяют из следующих выражений (3.13) и (3.14):

$$h_{op} = (4...6) \cdot m_b \quad (3.13)$$

$$h_{op} = \frac{m_b}{K_p - 1} \quad (3.14)$$

где m_b – вынимаемая мощность пласта, м;

K_p - коэффициент разрыхления пород кровли при обрушении, $K_p = 1,25$.

Выбор необходимой мощности межслоевой пачки производится по методу расчета балок-полосок или плит, на упругом основании. Межслоевая пачка взаимодействует с одной стороны с породами кровли, с другой стороны - с перекрытием механизированной крепи.

Из формулы (3.15) требуемая мощность межслоевой пачки из условия прочности на сдвиг:

$$h_{зп.сдв} = \frac{n \cdot h_{op} \cdot \gamma_n \cdot l}{[\tau_{сдв}] - n \cdot l \cdot \gamma_{пач}} \quad (3.15)$$

Расчетная мощность межслоевой пачки из условия прочности на изгиб определяется по формуле(3.16) и (3.17):

$$m_{з.н.} = \frac{3,916}{K \cdot \sqrt{\frac{\delta_p}{q}}} \quad (3.16)$$

$$q = \frac{h_{op} \cdot \gamma_n}{K_{кр}} \quad (3.17)$$

где δ_p - прочность угля на растяжение, МПа;

q - пригрузка на защитную пачку угля веса пород нижнего неустойчивого слоя кровли, МПа,

$K_{кр}$ - коэффициент, зависящий от применяемых средств крепления, для механизированных крепей $K_{кр}=0,75$.

Принципиальная схема для расчета мощности межслоевой защитной пачки по методике ВНИМИ представлена на рисунке 3.15.

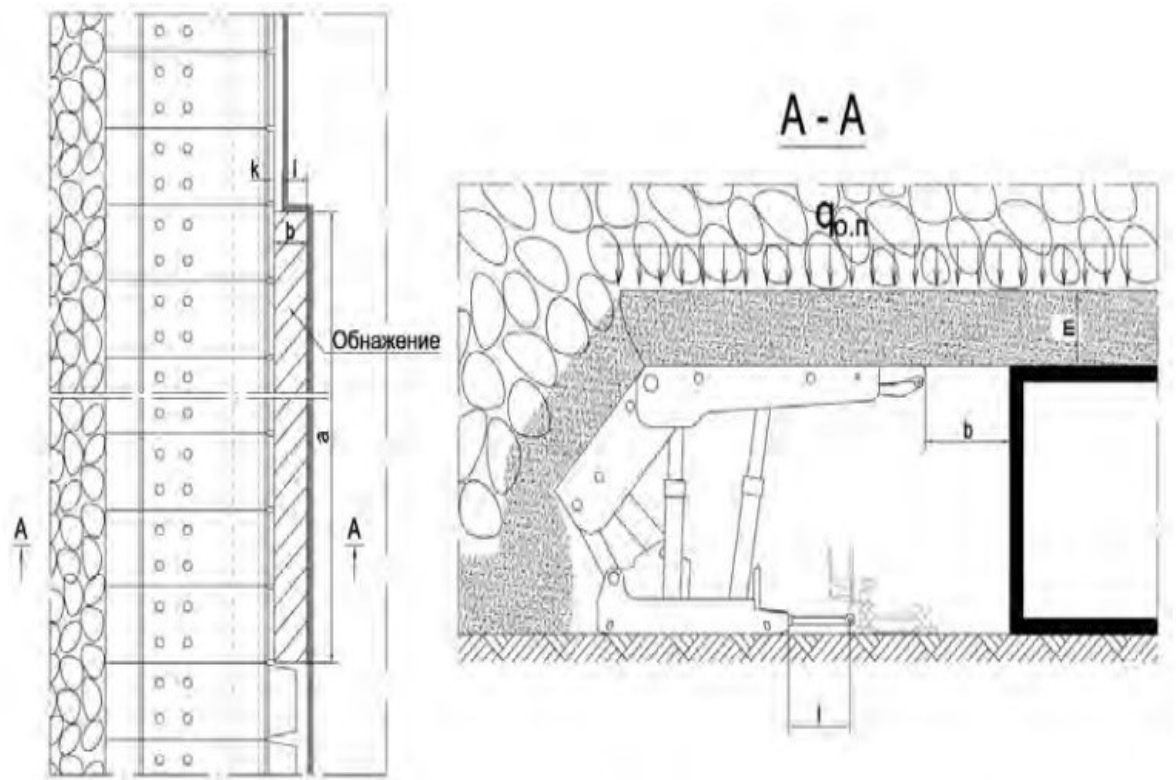


Рисунок 3.15 – Схема к расчету мощности межслоевой защитной пачки[48]

Величину нагрузки на защитную пачку мощностью B (Рисунок 3.15) определяют из выражения(3.18):

$$q = q_n + q_y = h_{обр} \cdot \gamma_n + m_{зн} \cdot \gamma_{пач} \quad (3.18)$$

где $q_{он}$ - вес пород, обрушившихся в выработанном пространстве верхней лавы;

q_y - вес межслоевой угольной пачки;

$\gamma_{п}$ - объемный вес обрушившихся пород;

$\gamma_{пач}$ - объемный вес угля;

$h_{обр}$ - высота обрушения пород в выработанном пространстве верхней лавы;

B - мощность угольной пачки. .

При оценке устойчивости межслоевой угольной пачки на срез в методике ВНИМИ ее рассматривают как плиту, опёртую по всем четырём сторонам. При этом используется следующее равенство (3.19), (3.20) и (3.21)[32, 33, 48]:

$$q(a+b) \cdot n = 2 \cdot (a+b) \cdot m_{zn} \cdot \tau_p \quad (3.19)$$

где a , b - длина и ширина плиты в зоне выемки пласта комбайном;

τ_p - временное сопротивление угля на срез;

$$m_{zn} = \frac{q \cdot (a \cdot b) \cdot n}{2 \cdot (a+b) \cdot \tau} \quad (3.20)$$

$$\tau = b \sqrt{\frac{q \cdot n}{2 \cdot \sigma_{\mu}}} \quad (3.21)$$

Результаты расчетов минимально необходимой мощности межслоевой пачки по методу ВНИМИ приведены в таблице 3.2 и на рисунке 3.16.

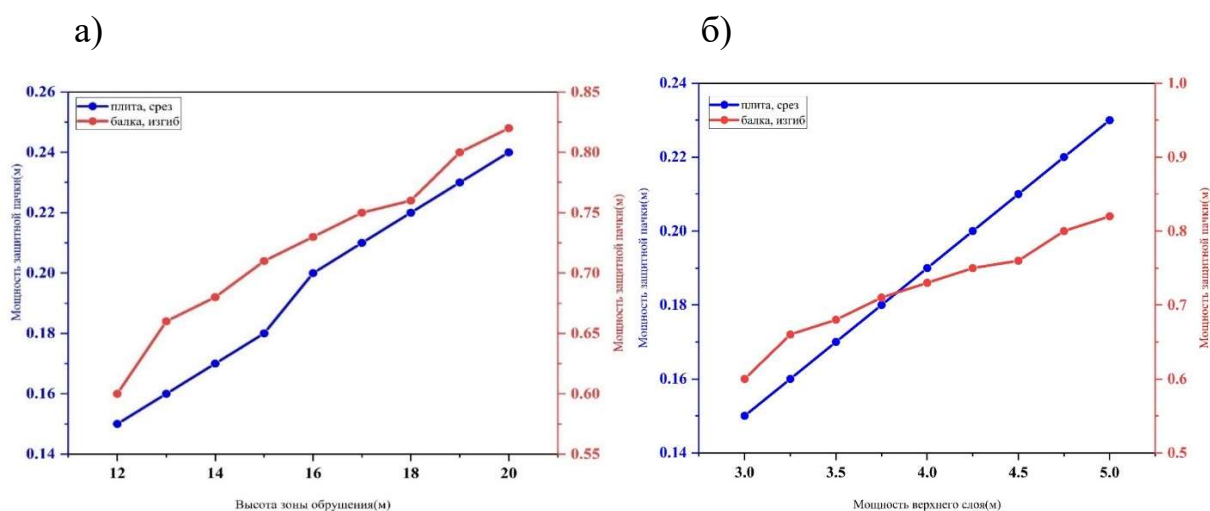


Рисунок 3.16 – Влияние высоты зоны обрушения (а) и мощности обрабатываемого верхнего слоя (б) на величину минимально необходимой мощности межслоевой защитной угольной пачки [48](по методике ВНИМИ)

Таблица 3.2 – Результаты расчетов необходимой мощности межслоевой защитной пачки по методу ВНИМИ

$m_{в}, \text{М}$	При разрушении защитной пачки от среза, м	При разрушении защитной пачки от изгиба, м
3,00	0,15	0,90
3,25	0,16	0,66
3,50	0,17	0,68
3,75	0,18	0,71
4,00	0,20	0,73
4,25	0,21	0,75
4,50	0,22	0,76
75	0,23	0,80
5,00	0,24	0,82

Результаты аналогичных расчетов минимально необходимой мощности межслоевой защитной угольной пачки[31, 41], выполненных по методике КузГТУ[31], приведены на рисунке 3.17.

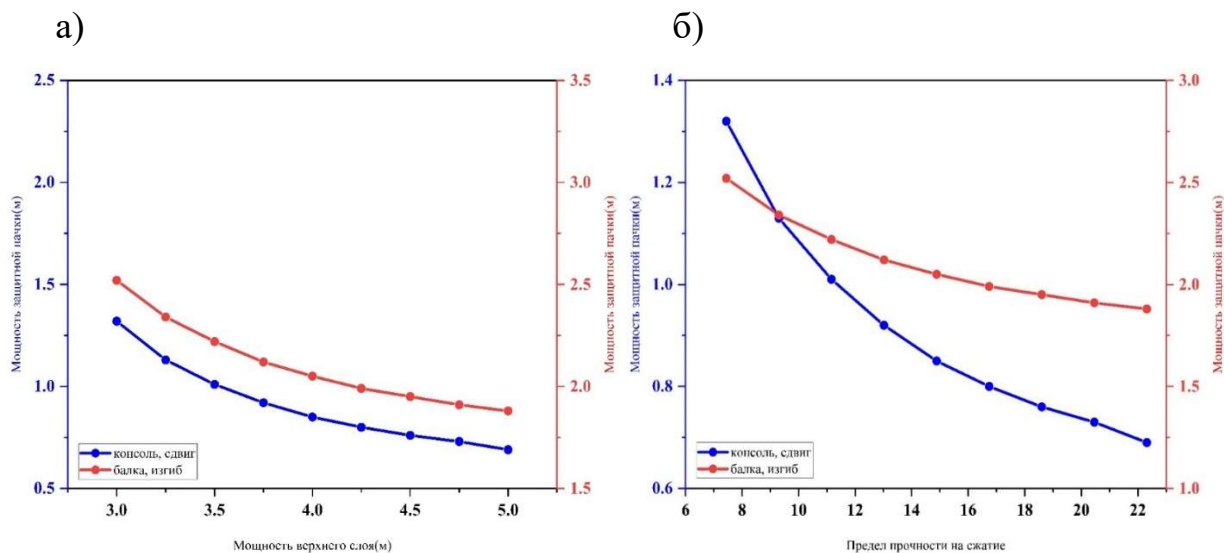


Рисунок 3.17 – Влияние высоты зоны обрушения (а) и мощности отрабатываемого верхнего слоя и предела прочности угля на сжатие (б) на величину минимально необходимой мощности межслоевой защитной угольной пачки[41] (по методике КузГТУ)

3.3 Лабораторные исследования процессов деформирования и разрушения межслоевой защитной угольной пачки на моделях из эквивалентных материалов

Задачами лабораторных исследований являлись:

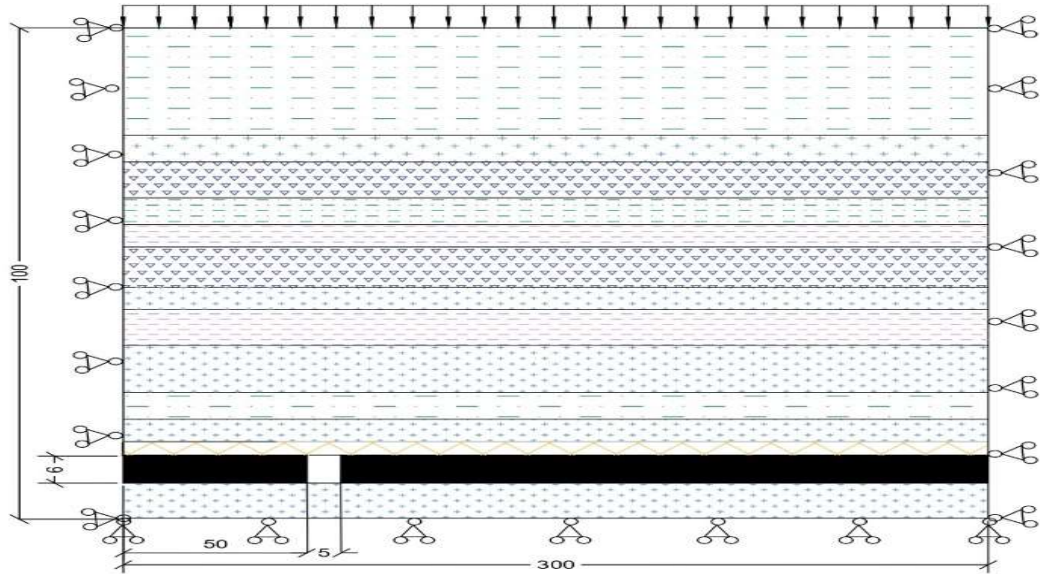
1. Установить закономерности динамического нагружения нижнего слоя, связанных, прежде всего, с влиянием обрушений пород основной кровли пласта.
2. Исследовать процессы деформирования и разрушения пород основной кровли пласта на характер и параметры разрушения межслоевой защитной угольной пачки.

3.3.1 Методика исследования

Моделировались условия формирования и распределения напряжений для их изучения в тонком поперечном разрезе углевмещающей толщи. Следовательно, физическая модель разработана как модель, отображающая формирование плоского напряженного состояния [24, 37, 90, 108]. Силовая схема модели и ее реальная компоновка показаны на рисунках 3.18 (а) и 3.18 (б).

Физический эксперимент проводился на универсальной физической модели в специализированной лаборатории Санкт-Петербургского горного университета. Система физического моделирования включает подсистему управления нагрузкой с пневмоцилиндром, силовую раму высокой жесткости и две системы мониторинга [14–19]. Геометрические размеры физической модели составляют 3,0 м в длину, 0,2 м в ширину и 1,0 м в высоту. Компоновка слоев моделируемых горных пород выполнена с соблюдением структурного геологического и технического подобия, причем в слоях пород в модели были созданы условия для протекания процессов механического деформирования и разрушения, подобных наблюдаемым в выработках шахты «Хан Лайвань» при добыче угля. Согласно теории подобия, геометрия, плотность и прочность пород зависят от определенного отношения, выраженного уравнениями [13–15, 19, 58].

а)



б)



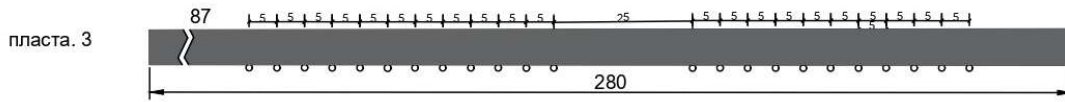
Рисунок 3.18 – Принципиальная схема модели (а) и общий вид модели из эквивалентных материалов (б) в процессе ее отработки

$$\left\{ \begin{array}{l} a_l = l_m / l_h = 1/100 \\ a_\mu = \mu_m / \mu_h = 1 \\ a_\rho = \rho_m / \rho_h = 1/1,3 \\ a_\sigma = \sigma_m / \sigma_h = 1/130 \\ a_t = t_m / t_h = 1/10 \end{array} \right. \quad (3.22)$$

Параметры геометрического и силового подобия определены в следующем виде: коэффициент геометрического подобия между прототипом и моделью (α_l), коэффициент Пуассона (α_μ), плотность (α_ρ), прочность на одноосное сжатие (α_σ) и времени определены величинами 100, 1,0, 1,3 и 130, 10, соответственно, как показано в системе выражений (3.22). Здесь l_h , μ_h , ρ_h , t_h и σ_h представляют собой геометрический размер, коэффициент Пуассона, плотность и прочность на одноосное сжатие слоев горных пород моделируемой реальной среды; l_m , μ_m , ρ_m , t_m и σ_m представляют размер, коэффициент Пуассона, плотность и прочность на одноосное сжатие слоев горных пород в модели. Материал каждого эквивалентного слоя формируется смешиванием песка, полиэтиленполиамин ПЭПА и смолы ДЭГ-1 в различных пропорциях, порошок миканита использовался для моделирования проскальзывания на контактах слоев. С коэффициентом подобия 1:100 соотношение материалов смеси, соответствующее физико-механическим свойствам слоев горных пород на исследуемом месторождении, было выполнено по апробированной методике Санкт-Петербургского горного университета. Для повышения надежности фотофиксации смещений и деформаций слоев горных пород в модели в теле слоев были установлены ряды меток (маркеры) с расстоянием между отметками в рядах 5 см, с интервалом между рядами 10 см [92, 118].

В модели в нижней части угольного пласта установлено 22 датчика давления МГД-3. Схема расположения датчиков для определения напряжений в нижнем слое пласта показана на рисунке 3.19.

а)



б



в)

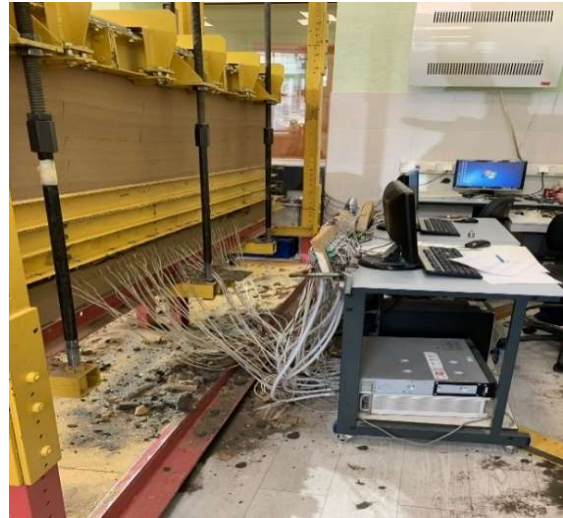


Рисунок 3.19 – Схема расположения датчиков в модели: а - для определения напряжений, б, в – подключение датчиков к компьютеру для обработки показаний

Методика, разработанная и применяемая в лаборатории Санкт-Петербургского горного университета, использована для тарировки датчиков давления МГД-3 и обработки их показаний[26]. Во время испытания модели две системы мониторинга обеспечивают непрерывную фиксацию параметров состояния модели для их последующего анализа.

3.3.2 Результаты лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов

Состояние модели на различных этапах ее отработки показано на рисунках 3.20 и 3.21.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 3.20 – Процесс деформирования пород кровли пласта при различной мощности защитной угольной пачки: а – без защитной пачки угля; б – при мощности защитной пачки 1 м; в - при мощности защитной пачки 2 м; г - при мощности защитной пачки 3 м.

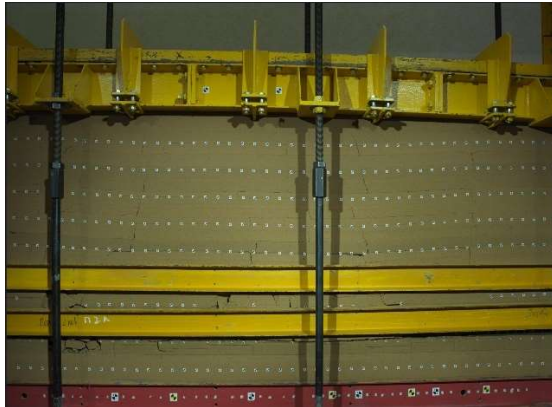
а)



б)



в)



г)



д)



е)



Рисунок 3.21 – Процессы деформирования и разрушения основной и непосредственной кровли и почвы лавы верхнего слоя при подвигании очистного забоя относительно базового положения на расстояние: а - 8м; б - 15м; в - 23м; г - 60м; д - 170м; е - 180м

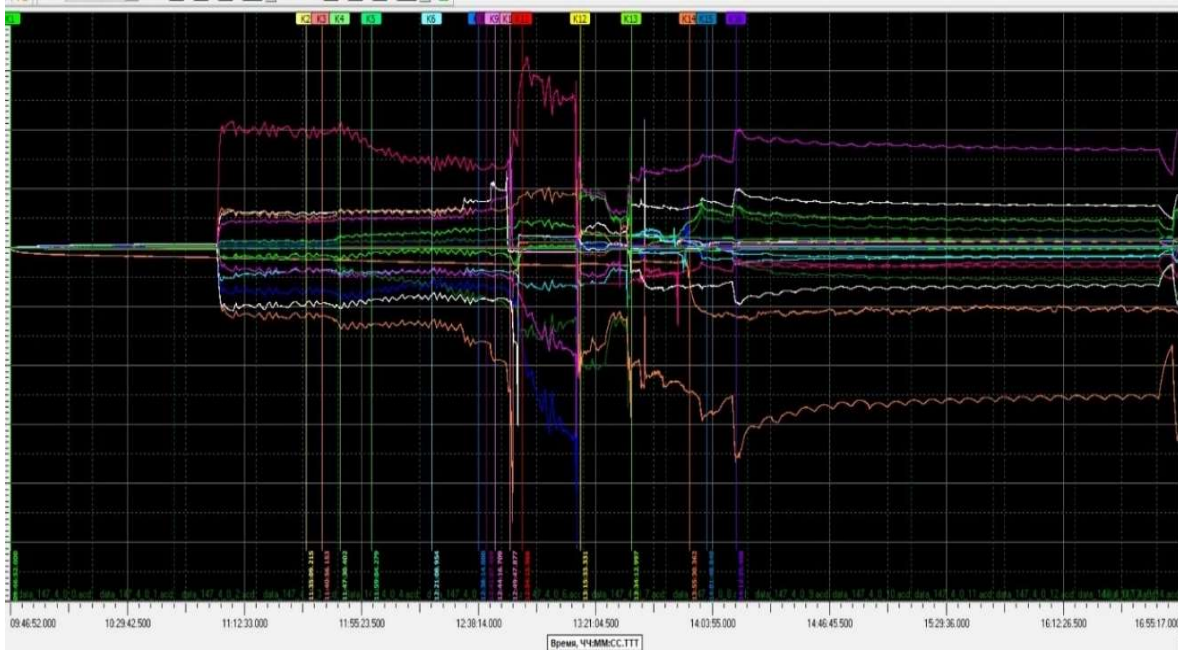
При подвигании очистного забоя на расстояние менее 15 м в кровле не возникли трещины или расслоения, состояние вмещающего массива практически не изменилось (рисунок 3.21, б). При подвигании очистного забоя на 23 м произошло обрушение непосредственной кровли за пределами призабойного пространства лавы, начала формироваться консоль основной кровли над краевой частью пласта (рисунок 3.21, в). При величине рассматриваемого расстояния равном 60 м началось разрушение почвы (угольный массив) первого слоя, непосредственная кровля обрушилась (рисунок 3.21, г). При подвигании очистного забоя на 170 метров наблюдалось интенсивное разрушение почвы (угольный массив) первого слоя и обрушение непосредственной кровли на большой площади (рисунок 3.21, д). При подвигании очистного забоя на расстояние большее 20-23 м относительно базового положения в основной кровле над забоем или впереди забоя лавы периодически возникали трещины разлома. Средняя величина шага обрушения основной кровле составляла около 20 м.

С увеличением вылета консоли основной кровли в выработанном пространстве показатели степени разрушения почвы (угольного массива) первого слоя постоянно возрастали от минимальных до максимальных значений, зафиксированных непосредственно перед обрушением пород основной кровли. Глубина ослабленной зоны составляла 0,3-0,5 м.

Примеры данных измерений, полученных с датчиков и обработанные с помощью программы «ACTest Pro», приведены на рисунке 3.22.

Из рисунка следует, что напряжения в почве верхнего слоя имеют существенные колебания. Максимальные значения напряжений наблюдаются перед и при посадках основной кровли пласта, минимальные наблюдаются сразу после посадки основной кровли и в стадии ее деформирования.

а)



б)

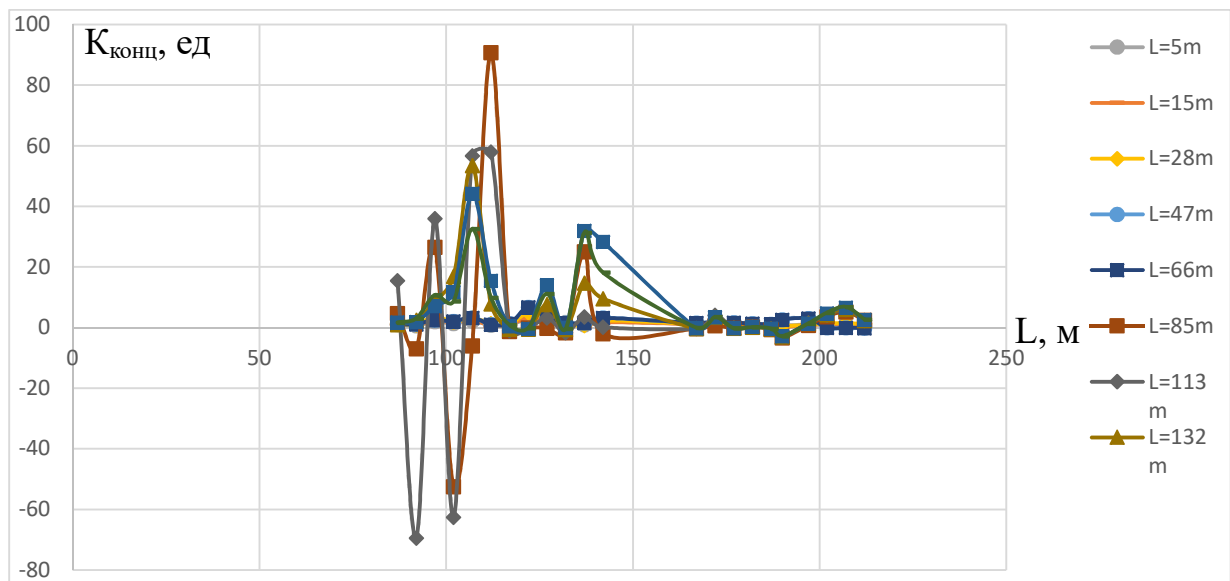
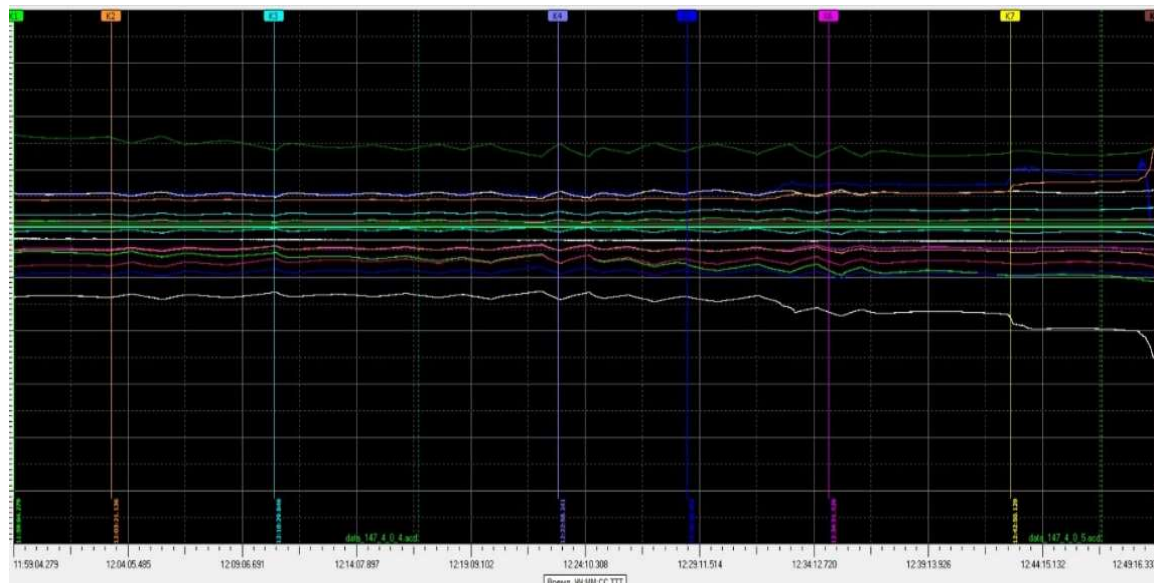


Рисунок 3.22 – Изменение концентрации напряжений в надрабатываемом угольном массиве (защитной пачке) при обработке верхнего слоя: а – по программе «ACSTest Pro»; б – изменение коэффициента концентрации напряжений в нижнем слое

Данные о величинах и характере распределения напряжений в нижнем слое при обработке верхнего слоя и оставлении защитной угольной пачки мощностью 1м, 2м, 3м приведены на рисунках 3.23-3.25.

а)



б)

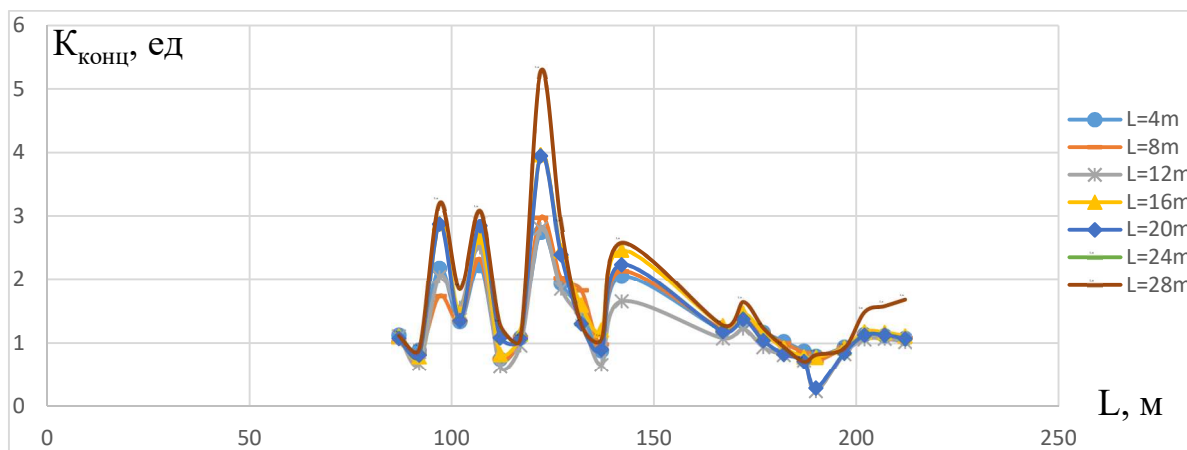
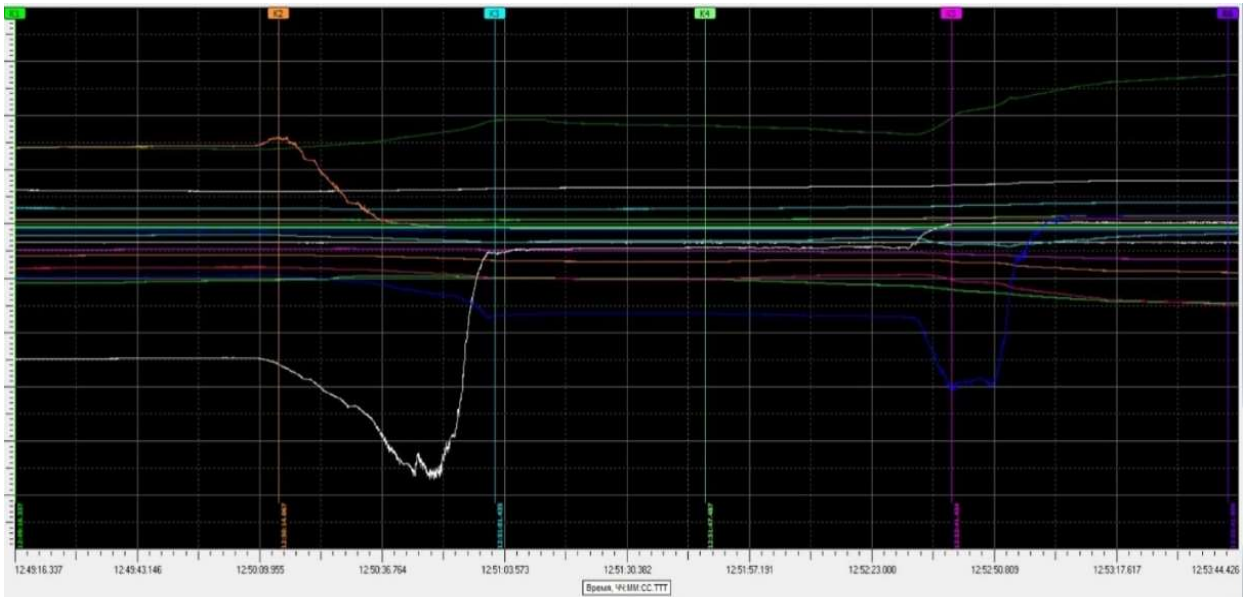


Рисунок 3.23 – Изменения концентрации напряжений в надрабатываемом угольном массиве при мощности защитной угольной пачки равной 1 м

Из рисунка 3.23 следует, что при оставлении защитной угольной пачки мощностью 1 м значения коэффициента концентрации напряжений являются наибольшими при отходе лавы от места обрушения основной кровли на 20м и 28м, а пиковое значение коэффициента концентрации мало изменяется на первых 3-16м. При мощности пачки 1 м происходило ее существенное разрушение под воздействием опорного давления, формирующегося впереди лавы верхнего слоя. Наблюдались обрушения защитной пачки в призабойное пространство лавы нижнего слоя[28].

а)



б)

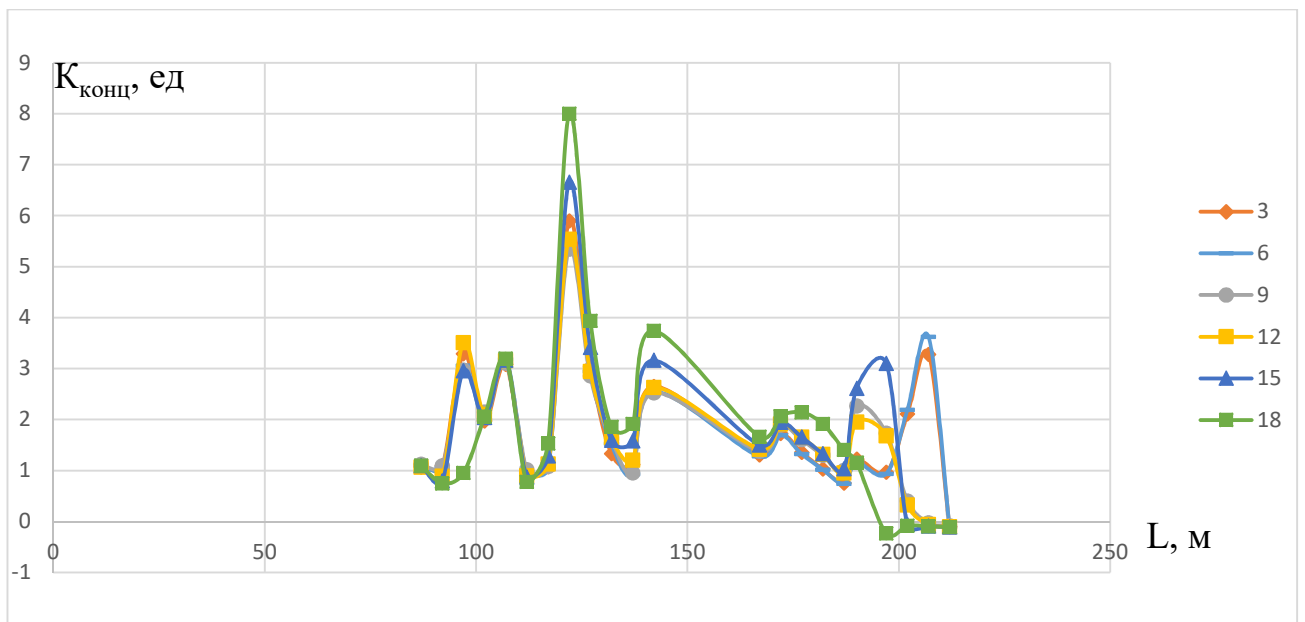
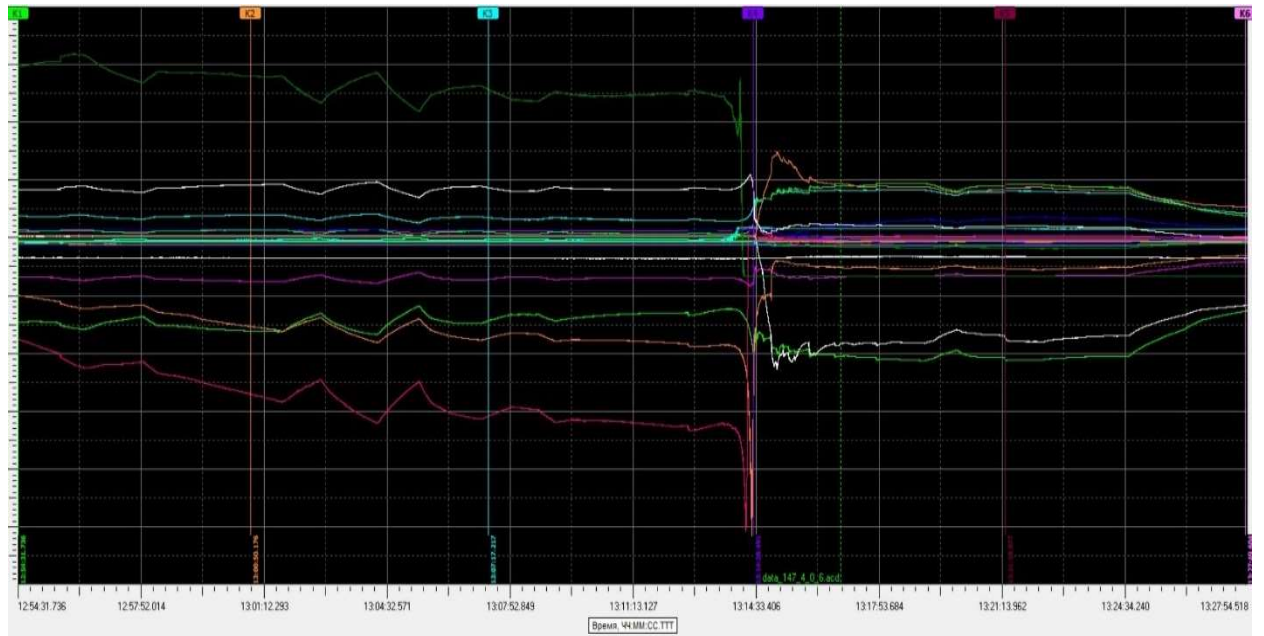


Рисунок 3.24 – Изменения концентрации напряжений в надрабатываемом угольном массиве при мощности защитной угольной пачки равной 2м

При оставлении защитной угольной пачки мощностью 2 м, пиковое значение коэффициента концентрации напряжений в процесс очистной выемки верхнего слоя значительно превышает аналогичную величину, полученную при оставлении защитной угольной пачки мощностью 1 м. При оставлении пачки

мощностью 2 метра в ней зафиксированы нарушения и трещины, которые, по – видимому, связаны с возникновением в защитной пачке растягивающих напряжений. Вместе с тем угольная пачка мощностью 2 м выполняла, в основном, защитные функции в период отработки нижнего слоя.

а)



б)

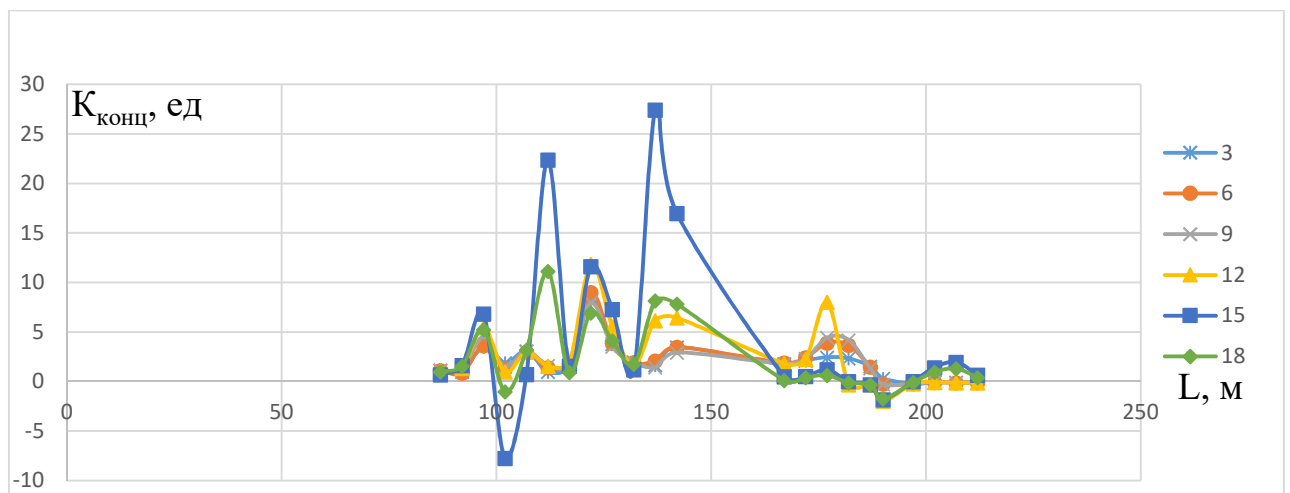


Рисунок 3.25- Изменения концентрации напряжений в надрабатываемом угольном массиве при мощности защитной угольной пачки равной 3м

При оставлении защитной угольной пачки мощностью 3 м в стадии деформирования основной кровли наблюдалось зависание угольной защитной пачки в выработанном пространстве.

3.4 Выводы по главе 3

1. Одной из основных причин повышенной опасности ведения очистных работ в надработанном слое является то обстоятельство, что известными методиками определения минимально необходимой толщины защитной угольной пачки (методики ВНИМИ, КуНИУИ, КузГТУ) защитную пачку рассматривают как целостную плиту (балку), залегающую в кровле нижнего слоя и не учитывают влияние отработки верхнего слоя на процессы разупрочнения угля в верхней части защитной пачки.

2. К числу факторов, оказывающих существенное влияние на различия между проектными и фактическими значениями толщины межслоевых защитных пачек угля, относятся глубина расположения пласта от земной поверхности, тип кровли пласта по ее обрушаемости в выработанном пространстве лавы верхнего слоя, прочностные характеристики угля.

3. Глубина разупрочнения верхнего слоя защитной пачки при ее надработке в условиях шахты "Хан Лайвань" №3 составляет:

- При максимальном зависании основной кровли (непосредственно после скола и перед ее обрушением): $\approx 0,3$ м;

- При минимальном зависании основной кровли (после посадки): $\approx 0,2$ м

4. Установлены количественные зависимости глубины разрушения (разупрочнения) почвы верхнего слоя от длины зависшей над выработанным пространством консоли основной кровли, Предела прочности угля на растяжение от величины сцепления в угле мощности этого верхнего слоя глубины залегания этого пласта

5. Результаты выполненных исследований показывают, что методики определения толщины защитной межслоевой пачки угля при слоевой выемке мощных пластов должны включать процедуру оценки глубины разрушения припочвенного слоя угля с учетом его выдавливания в выработанное пространство в процессе выемке верхнего слоя.

ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ МОЩНОГО ПЛАСТА В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ "ХАН ЛАЙВАНЬ"

4.1 Особенности горно-геологических и горнотехнических условий шахты «Хан Лайвань»

При разработке рекомендаций учтены следующие особенности горно-геологических и горнотехнических условий отработки пластов в условиях шахты "Хан Лайвань».

Главным продуктивным пластом шахты «Хан Лайвань» является пласт №3. Средняя вынимаемая мощность данного пласта 9,13 м, максимальная мощность - 10,41 м. Горные работы по пласту №3 ведут на глубинах около 230м. Пласт характеризуется относительно низкими прочностными характеристиками: предел прочности угля на одноосное на растяжение составляет 1,07 МПа, на сжатие - 14,15МПа. Залегание пласта практически горизонтальное, угол его падения не превышает одного градуса.

Горнотехническая ситуация, сложившаяся на шахте "Хан Лайвань", характеризуется в настоящее время следующими данными. Шахта ориентирована на применение комплексно механизированных способов добычи. Система разработки пласта №3 - длинными столбами с разделением пласта на два наклонных слоя, отрабатываемых в нисходящем порядке с полным обрушением кровли в выработанном пространстве.

Вынимаемая мощность верхнего слоя составляет 5,0 м. К началу 2023г. верхний слой пласта №3 отработан не менее чем на 85% площади шахтного поля. Мощность надработанной части пласта №3 составляет 3,18-5,10м. Очистная выемка в надработанном нижнем слое еще не велась.

В настоящее время актуальным вопросом для шахты "Хан Лайвань" является выбор технологии отработки нижнего слоя пласта №3. От правильности решения этого вопроса зависят не только безопасность горных работ и технико-экономические показатели очистных работ при выемке надработанного слоя пласта №3, но и перспективы разработки продуктивного пласта №3-1, который

расположен ниже пласта №3. При этом к числу основных требований, предъявляемых к технологии отработки нижнего слоя пласта №3, относится минимизация эксплуатационных потерь высоколиквидного угля в межслоевой защитной пачке.

В пределах поля шахты "Хан Лайвань" структура и прочностные характеристики пород кровли пласта характеризуются повышенной изменчивостью: мощность пород непосредственной кровли пласта, представленной алевролитами, аргиллитами, мелкозернистыми и крупнозернистыми песчаниками. изменяется в диапазоне от 0,9 до 14,2м; мощность пород основной кровли, представленной труднообрушающимися песчаниками, составляет 14,0-20,0 м.

Породы, обрушившиеся в выработанном пространстве лав верхнего слоя, характеризуются повышенной степенью разрушения и низкой склонностью к слеживанию.

По мере подвигания лав верхнего слоя периодически происходят динамические обрушения пород основной кровли в выработанном пространстве. Состояние забоев лав верхнего слоя перед посадкой основной кровли свидетельствует о существенном повышении опорного давления в данный период, что проявляется, прежде всего, в увеличении интенсивности отжима угля из забоя лавы и снижении устойчивости непосредственной кровли. Установившийся шаг обрушения пород основной кровли достигает на средних участках лавы 25-30м.

Лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов (глава3) показали, что процесс формирования аварийной ситуации в лавах нижнего слоя, связанной с обрушением защитной пачки угля и лежащих на ней пород, начинается, как правило, с отжима угля в верхней ослабленной части забоя лавы. При этом происходит дополнительное обнажение защитной пачки угля впереди забоя лавы.

4.2 Рекомендуемая технология отработки мощного пласта двумя наклонными слоями в условиях шахты "Хан Лайвань"

Состояние пород непосредственной кровли, обрушившихся в выработанном пространстве лав верхнего слоя, свидетельствует о невозможности отработки нижнего слоя пласта №3 по фактору «безопасность очистных работ» без оставления межслоевой защитной пачки угля. Принципиальным при этом является вопрос о толщине защитной пачки. С одной стороны, увеличение толщины пачки повышает безопасность горных работ, с другой стороны, увеличение толщины защитной пачки приводит к росту эксплуатационных потерь угля и увеличению вероятности самовозгорания угля в выработанном пространстве.

Результаты выполненных исследований (глава 3) показали, что защитная межслоевая пачка угля в верхней ее части, прилегающей к выработанному пространству лавы верхнего слоя, как правило, является нарушенной трещинами. Данный факт необходимо учитывать при определении минимально необходимой мощности защитной пачки[8].

Как отмечалось ранее, в известных методиках исходят из условия[31, 48], что защитная пачка представляет собой сплошную плиту (балку)[35, 48]. Не учет факта разрушения верхней части надрабатываемого слоя при определении минимально допустимой мощности межслоевых защитных пачек приводит к тому, что во многих случаях межслоевые пачки угля, расчет которых произведен с использованием известных методик[10, 48], не выполняют защитных функций и обрушаются в призабойное пространство лавы нижнего слоя вместе с породами, находящимися в выработанном пространстве лавы верхнего слоя.

По данным выполненных исследований (глава3) глубина разупрочнения угля в надрабатываемом угольном массиве по нормали к границе отрабатываемых слоев составляет:

- Не менее 0,25 м в стадии деформирования труднообрушающихся пород кровли,
- Не менее 0,35 м в стадии осадки основной кровли.

Толщину защитной межслоевой пачки b . рекомендуется определять из выражения (4.1) [48]:

$$b \geq X + C \quad (4.1)$$

где X – толщина межслоевой защитной пачки, определенная по известным методикам, например, приведенным в работах;

C – глубина области разупрочненного угля, формируемой в верхней части надрабатываемого угольного массива под воздействием опорного горного давления в стадии осадки основной кровли.

При отработке пласта №3 в условиях шахты "Хан Лайвань" толщина межслоевой защитной пачке X , определенная по известным методикам, составляет около 0,65м. С учетом $C = 0,35\text{м}$, . толщину межслоевой защитной пачки b . рекомендуется принимать не менее 1м.

Аварийные ситуации в лавах нижнего слоя, связанные с обрушением межслоевых защитных пачек и пород кровли, наиболее вероятны через промежутки времени, соответствующие продолжительности прохождения лавой расстояний, равнышагу обрушения труднообрушающихся пород основной кровли. Снижение вероятности таких событий достигается при отработке нижнего слоя под трещинами разлома в основной кровле с повышенными скоростям, без остановок лав[13, 34].

Неблагоприятные условия для управления кровлей в лавах надработанного слоя, сопровождающиеся обрушением межслоевых защитных пачек, наблюдаются также при прохождении ее д местами длительных остановок лав верхнего слоя. В этих случаях необходимая толщина защитной пачки может превышать величину b , определенную из выражения(4.1).

Выполненные исследования показали. что минимально необходимая толщина защитной межслоевой пачки зависит от целого ряда геологических и технических факторов величины, характеризующие эти факторы, являются случайными величинами, что затрудняет определение минимально необходимой толщина защитной межслоевой пачки для конкретных производственных ситуаций. Учитывая данное обстоятельство, на данном этапе исследований

минимально необходимую толщину защитной межслоевой пачки целесообразно принимать с учётом наиболее неблагоприятного сочетания влияющих факторов по формуле (4.2) [35, 48]:

$$b \geq k(X + C) \quad (4.2)$$

где k – коэффициент запаса, учитывающий неопределенность исходной информации.

Для условий отработки пласта №3 величину коэффициента k рекомендуется принимать равной 1,3.

Следует отметить, что при использовании рекомендуемой технологии это не приведет к увеличению эксплуатационных потерь угля.

Сущность рекомендуемой технологии заключается в следующем. Пласт мощностью m (Рисунок 4.1) разделяют на два наклонных слоя с мощностями h_v и h_n . Отработку наклонных слоев ведут в нисходящем порядке лавами, с полным обрушением пород кровли в выработанном пространстве.

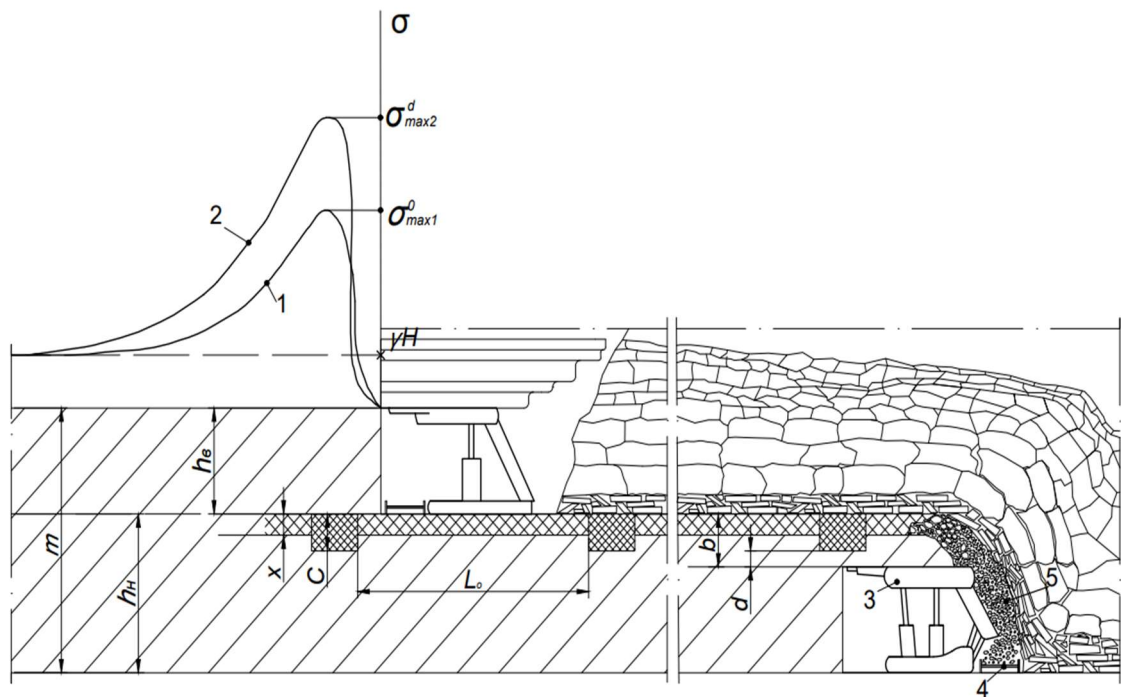


Рисунок 4.1 - Принципиальная схема рекомендуемой технологии отработки нижнего слоя пласта №3 в условиях шахты "Хан Лайвань": 1, 2 - эпюры опорного давления впереди лавы верхнего слоя, соответственно, в стадии деформирования и обрушения пород основной кровли; Н-глубина горных работ; g - объемный вес пород покрывающей толщи

При отработке нижнего слоя в кровле очистного забоя оставляют защитную межслоевую пачку угля толщиной b , определяемой с использованием выражения (4.2).

В процессе отработки нижнего слоя производят обрушение и выпуск угля 5, содержащегося в межслоевой защитной пачке, на скребковый конвейер лавы нижнего слоя.

В зависимости от типа очистного механизированного комплекса, применяемого в лаве нижнего слоя, возможны следующие основные варианты выпуска угля:

на забойный конвейер лавы нижнего слоя через выпускные люки в перекрытиях 3 секций крепи;

- на завальный скребковый конвейер 4 (Рисунок 4.1) лавы нижнего слоя.

Выпуск на забойный конвейер лавы нижнего слоя может быть реализован, в частности, при использовании механизированных комплексов типа КНК70, КНКМ, КТУ(Россия); УНР-731(Венгрия). Для реализации второго из указанных вариантов выпуска могут быть применены механизированные комплексы типа КМ138В, КМ81В, КМ130В (Россия); ZF-8000/22/35 (Китай) и другие.

Более благоприятные условия для надежного разрушения (горным давлением и крепью) угля межслоевой защитной пачки создаются при перепуске угля на завальный скребковый конвейер 4 (Рисунок 4.1).

В качестве основного варианта для отработки нижнего слоя в условиях шахты "Хан Лайвань", рекомендуется использовать механизированный комплекс с крепью оградительно-поддерживающего типа ZF-8000/22/35 (Рисунок 4.3) и выпуском угля на завальный конвейер. Выемка угля в очистных забоях нижнего слоя производится очистным комбайном MG400/940-WD (Рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Очистной комбайн MG-400/940-WD

Технические характеристики крепи ZF-8000/22/35, с высотой линейной секции равной 2200-3500 мм, соответствуют фактически сложившимся горнотехническим условиям отработки пласта №3[12].



Рисунок 4.3 – Механизированная крепь ZF-8000/22/35

Основным параметром, от правильности определения которого зависит эффективность рекомендуемой технологии, является минимально необходимая толщина защитной пачки угля b , при которой исключается разрушение данной пачки на незакрепленном участке кровли в лаве нижнего слоя и самопроизвольные обрушения пород в призабойное пространство лавы нижнего слоя.

Рекомендуемая минимальная толщина защитной пачки угля b , при которой

исключается ее обрушение на незакрепленном участке кровли, составляет 1,3 м.

При данном значении мощности защитной пачки эксплуатационные потери угля при отработке пласта №3 с использованием традиционно применяемой системы разработки длинными столбами составят 13-16 % суммарных балансовых запасов выемочных столбов по верхнему и нижнему слоям.

Использование рекомендуемой технологии (рисунок.4.1) отработки нижнего слоя пласта №3 в условиях шахты "Хан Лайвань" позволяет:

- повысить безопасность очистных работ в призабойном пространстве лав наработанного слоя по фактору «обрушение пород кровли»;

- при длине выемочного столба 3000м и длине лавы 250м дополнительно добыть при отработке одного столба в нижнем слое около миллиона тонн высококачественного ликвидного угля;

- снизить вероятность самовозгорания угля и возникновения эндогенных пожаров в выработанном пространстве лав наработанного слоя.

4.3 Техничко-экономическая оценка рекомендуемой технологии

При использовании рекомендуемой технологии достигаются следующие положительные эффекты:

- Экономический, связанный с уменьшением эксплуатационных потерь угля.
- Социальный, связанный с повышением уровня безопасности горных работ.

Одним из важных элементов при расчёте приведенных затрат по шахте является вычисление себестоимости угля на выемочном участке. При использовании новой технологии и/или нового способа для выемочного участка будут изменяться приведенные затраты. В этом случае, для расчёта экономического эффекта допустимо принять обще шахтные затраты постоянными для обоих рассчитанных вариантов. Тем самым, при сохранении базовых цен на реализацию угля, возможно рассчитать экономический эффект по следующей формуле (4.3) [2, 31, 33]:

$$\Delta\Pi = B_3 (Y_{уч} - Y_{зн}), \quad (4.3)$$

где B_3 - балансовые запасы, т.

$Y_{уч}$ - участковая себестоимость полезного ископаемого при выемке запасов, руб/т;

$Y_{зп}$ - участковая себестоимость полезного ископаемого при сокращении потерь в межслоевой защитной угольной пачек, включающая затраты на установку опережающей крепи, руб/т;

С учетом сокращением потерь угля в межслоевой защитной угольной пачке, себестоимость полезного ископаемого определяется из выражения(4.4)[2, 31, 47]:

$$Y_{зп} = \left\{ \left(\frac{B_{бз} \cdot Z_{уч}}{B_{зп}} \right) \right\} + \left\{ \frac{\left(h_{нк} \cdot \frac{l_{до}}{h_{шп}} \right) \cdot \left(\frac{l_{осч}}{h_{осч}} \right) \cdot C_m \cdot C_b}{B_{зп}} \right\} \quad (4.4)$$

где $Z_{уч}$ - участковая себестоимость полезного ископаемого при выемке запасов;

$B_{бз}$ - балансовые запасы в пределах столба;

$B_{зп}$ - балансовые запасы в пределах столба с учетом угля, извлекаемого из межслоевой защитной угольной пачки, ;

$Z_{уч}$ - участковая себестоимость полезного ископаемого при выемке запасов;

C_m - стоимость погонного метра металлического стержня;

C_b - стоимость бурения погонного метра шпура;

$l_{дс}$ – длина столба;

$h_{нк}$ - мощность непосредственной кровли пласта;

$h_{шп}$ – шаг установки опережающей крепи;

$l_{до}$ – длина очистного забоя;

$l_{осч}$ - шаг обрушения основной кровли;

Расчет экономического эффекта от использования предложенной технологии на шахте «Хан Лайвань» (таблица 4.1) выполнен для следующих условий: мощность верхнего слоя угля 5 м; мощность непосредственной кровли пласта 3 м; длина лавы 300м; длина столба 3147 м; шаг обрушения основной кровли 20м, мощность защитной пачки в базовом варианте 0,9м; мощность защитной пачки в предложенном варианте - 0 м; участковая себестоимость полезного ископаемого в базовом варианте 2790 руб/т.

Таблица 4.1 – Сравнение затрат по базовому и рекомендованному варианту

Статья расходов	Затраты, млн. руб.	
	Базовый вариант	Рекомендуемая технология
Тип оборудования	Joy RS198	ZF 8400/22/35
Проходка участковых выработок	201,72	201,72
Поддержание подготовительные выработки	21,4	21,4
Транспортные расходы	41,58	41,58
Затраты на проветривание	191,18	191,18
Стоимость комплекса	15.3 (одна секция)	21,0 (одна секция)

Расчет ежегодных амортизационных отчислений

В условиях Российской Федерации, в соответствии с Налоговым кодексом РФ, амортизация на предприятиях должна рассчитываться по одному из двух методов: линейному и нелинейному методу. Применяя линейный метод расчёта амортизации по каждому амортизируемому объекту для предприятия, формула расчёта будет выглядеть (4.5)[4, 36, 43]:

$$K = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot 100\% \quad (4.5)$$

$$K = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10 \quad (4.6)$$

$$A_{\text{ком}} = \frac{\Phi_{\text{п}} - Л}{T} = \frac{16680000}{10} = 1,67 \text{ млн руб/год}$$

Первоначальная стоимость в основных производственных фондов[39, 43, 49]:

$$\Phi_{\text{п.ком}} = Ц_{\text{оп}} + З_{\text{зр}} + З_{\text{мон}} = 15300000 + 0,03 \cdot 15300000 + 0,06 \cdot 15300000 = 16,68 \text{ млн руб.}$$

где $Ц_{\text{оп}}$ - оптовая цена оборудования или машины, руб.;

$Z_{зр}$ - затраты на доставку оборудования, руб.;

$Z_{мон}$ - затраты на монтаж оборудования; для подвижного нестационарного оборудования, для монтажа механизированного комплекса - 6 % от оптовой цены;

$L = 0$ - ликвидационная стоимость основных фондов в конце срока их службы, руб.;

T_n — нормативный срок службы основных фондов, год.

Затраты на амортизацию за срок отработки составят:

$$Z_{ам} = \frac{A_{ком}}{10} = \frac{1668000}{10} = 166800 \text{ руб.}$$

В качестве основного варианта для отработки нижнего слоя в условиях шахты "Хан Лайвань", рекомендуется использовать механизированный комплекс с крепью оградительно-поддерживающего типа ZF-8000/22/35.

$$Z_{крепь} = 176 \cdot 2100000 = 369600000 \text{ руб.}$$

Экономический эффект при внедрении разработанных рекомендаций в условиях отработки пласта №3 шахты «Хан Лайвань» составляет около 2080400000 руб.

4.4 Выводы по главе 4

1. Состояние пород непосредственной кровли, обрушившихся в выработанном пространстве лав верхнего слоя, свидетельствует о невозможности отработки нижнего слоя пласта №3 по фактору «безопасность очистных работ» без оставления межслоевой защитной пачки угля.

2. При отработке пласта №3 в условиях шахты "Хан Лайвань" толщина межслоевой защитной пачек X , определенная по известным методикам, составляет около 0,65м. С учетом глубины области разупрочненного угля, формируемой в верхней части надрабатываемого угольного массива под воздействием опорного горного давления в стадии осадки основной кровли, толщину межслоевой защитной пачки рекомендуется принимать не менее 1м.

3. Снижение эксплуатационных потерь угля и повышение безопасности очистных работ в надрабатываемых слоях при слоевой выемке мощных пологих угольных пластов достигается при: определении толщины защитной межслоевой

пачки с учётом наиболее неблагоприятного сочетания влияющих факторов; ведении очистных работ в надрабатываемом слое с обрушением и выпуском угля, содержащегося в защитных межслоевых пачках, на завальный конвейер.

4. Использование рекомендуемой технологии отработки пологих пластов мощностью 8-12м позволяет:

- Уменьшить эксплуатационные потери угля на 13-16%. При длине выемочного столба 3000м и длине лавы 250м дополнительные объемы добычи в условиях шахты "Хан Лайвань" при отработке одного столба в нижнем слое составляют около миллиона тонн высококачественного угля.

- Повысить безопасность очистных работ в призабойном пространстве лав надработанного слоя по фактору «обрушение защитной пачки и пород кровли».

- Исключить оставление больших масс угля в выработанном пространстве лав надработанного слоя и тем самым снизить вероятность самовозгорания угля и возникновения подземных пожаров.

5. Экономический эффект при использовании разработанной технологии в условиях пласта №3 шахты «Хан Лайвань» составит около 2080400000 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Системы разработки длинными столбами с разделением мощного пласта на наклонные слои, использование которых позволяет снизить потери угля по сравнению с альтернативной системой разработки с обрушением и выпуском угля подкровельной толщи, относятся к числу перспективных ресурсосберегающих систем для шахт Китая и других угледобывающих стран.

2. Общими недостатками известных вариантов слоевой системы разработки, с которыми связаны направления их дальнейшего совершенствования, являются: значительные эксплуатационные потери угля в межслоевых защитных пачках, достигающие 10-20% и более; повышенная опасность очистных работ в призабойном пространстве лав надроботанного слоя по фактору «обрушение защитной пачки и пород кровли»; высокая вероятность подземных пожаров, что является следствием оставления больших масс измельченного угля в выработанном пространстве лав надроботанного слоя.

3. К числу факторов, оказывающих существенное влияние на различия между проектными и фактическими значениями толщины межслоевых защитных пачек угля, относятся глубина расположения пласта от земной поверхности, тип кровли пласта по ее обрушаемости в выработанном пространстве лавы верхнего слоя, прочностные характеристики угля.

4. Не учет факта разрушения верхней части надроботываемого угольного массива при определении минимально допустимой мощности межслоевых защитных пачек приводит к тому, что во многих случаях межслоевые пачки угля, расчет которых произведен с использованием известных методик, не выполняют защитных функций и обрушаются в призабойное пространство лавы нижнего слоя вместе с породами, находящимися в выработанном пространстве лавы верхнего слоя.

5. Использование рекомендуемой технологии выемки надроботанного слоя создает объективные условия для сокращения потерь угля, связанных с оставлением межслоевых защитных пачек; снижения опасности очистных работ в лавах надроботанного слоя; уменьшения вероятности возникновения эндогенных

подземных пожаров. При данной технологии толщина межслоевой защитной пачки угля может приниматься с повышенным коэффициентом запаса, учитывающим неопределенность исходной горно-геологической информации. Эксплуатационные потери угля при этом не возрастают.

6. Актуальными проблемами при отработке мощных пластов являются:

- Снижение эксплуатационных потерь угля, достигающих при использовании технологий с выпуском подкровельного слоя 20% и более;
- Обеспечение линейности передвижения механизированного комплекса, предотвращение сползания вниз по падению пласта забойного конвейера и гидрофицированной крепи при углах падения пласта более 80°;
- Снижение вероятности самовозгорания угля в выработанном пространстве лав из-за большого объема потерь измельченного угля, а также трудностей изоляции выработанных пространств;
- Обеспечение безопасности очистных работ в лавах надработанных наклонных слоев;
- Обеспечение надежного проветривания очистных забоев на газовых шахтах.

7. Использование разработанной технологии отработки пологих пластов мощностью 8-12м позволяет:

- Уменьшить эксплуатационные потери угля на 13-16%. При длине выемочного столба 3000м и длине лавы 250м дополнительные объемы добычи в условиях шахты "Хан Лайвань" при отработке одного столба в нижнем слое составляют около миллиона тонн высококачественного угля.
- Повысить безопасность очистных работ в призабойном пространстве лав надработанного слоя по фактору «обрушение защитной пачки и пород кровли».
- Исключить оставление больших масс угля в выработанном пространстве лав надработанного слоя и тем самым снизить вероятность самовозгорания угля и возникновения подземных пожаров.

К числу основных перспективных направлений дальнейших исследований по теме диссертации относится определение оптимальных параметров

разработанной технологии при выемке пластов угля, склонного к самовозгоранию, в условиях больших глубин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авершин, С.Г. Расчет деформаций массива горных пород под влиянием подземных разработок / С. Г. Авершин // Ленинград : ВНИМИ. –1960. – 87 с.
2. Безрукова, Л.Г. Экономическая оценка решений при проектировании и развитии шахт / Л.Г. Безрукова, А.С. Малкин // Москва: Недра. –1979. – 231 с.
3. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов // Москва: Недра. – 1980. – 360 с.
4. Горшкова, Л. Л. Об особенностях применения линейного метода начисления амортизации / Л. Л. Горшкова // Все для бухгалтера. – 2013. – № 5. – С. 30-34.
5. Громов, Ю.В. Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов угля / Ю.В.Громов, Ю.Н. Бычков. М.: Недра. –1985. – 110 с.
6. Демин, В.Ф. Оценка параметров деформационных процессов в подготовительных выработках при применении анкерного крепления / В.Ф. Демин, Т.В. Демина, С.Б. Алиев, Н.Л. Разумняк // Горный информационно-аналитический бюллетень. –2012. – № 12. – С. 28-36.
7. Ермаков, А.Ю. Технология одностадийной разработки мощных пологих угольных пластов с выпуском угля на завальный конвейер: монография / А. Ю. Ермаков, С. И. Калинин, В. В. Мельник, С. А. Новосельцев // Новокузнецк: Сибниуглеобогащения. –2013. – 256 с.
8. Зубов, В.П. Определение мощности защитных межслоевых пачек при использовании системы разработки наклонными слоями в условиях шахты “Хан Лаивань” (Китай) / В.П. Зубов, Ли Юньпэн // IV Международная научно-практическая конференция «горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование». Санкт-Петербургский горный университет, СПб. – 26-28 октября 2021. – С. 14-15.
9. Зубов, В.П. Особенности разработки угольных пластов с низкими прочностными характеристиками на шахтах Вьетнама / В.П. Зубов, В.З. Тхан, А.С. Федоров, Юньпэн Ли // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № S2. – С. 3-18.

10. Зубов, В.П. Повышение эффективности системы разработки угольного пласта № 3 наклонными слоями в условиях шахты «Хан Ланвань» / В.П. Зубов, Ли Юньпэн // X всероссийская научно-практическая конференция «инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: эффективное освоение месторождений полезных ископаемых». Санкт-Петербургский горный университет, СПб. – 16 октября 2020. – С. 49-50.

11. Зубов, В. П. Задачник по подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых / В.П. Зубов, А.В. Васильев, К.Г. Синопальников. Санкт-Петербург. 2017. С. 148-152.

12. Зубов, В. П. Слойная система разработки мощных пологих угольных пластов на шахтах Китая: проблемные вопросы, направления совершенствования / В. П. Зубов, Юньпэн Ли // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 7. — С. 37-51.

13. Зубов В.П. Повышение эффективности технологии отработки мощных пластов с обрушением и выпуском угля / В.П. Зубов, А.В. Васильев, Ву Тхай Тьен Зунг // Материалы международной научной конференции «Экономические проблемы и механизмы развития минерально-сырьевого комплекса. Российский и мировой опыт». Санкт-Петербургский горный университет, СПб. – 2015 г. – С. 10-12.

14. Зуев, Б.Ю. Анализ современных методов и средств мониторинга при подземной разработке полезных ископаемых / Б.Ю. Зуев, Л.А. Гладкова, Р.С. Истомин, М.А. Логинов // Горный информационно-аналитический бюллетень, СПб. –2010. –№ 4. – С. 19-25.

15. Зуев, Б.Ю. Методы и технические средства физического моделирования геомеханических процессов при многоштрековой подготовке выемочных столбов / Б.Ю. Зуев, Г.И. Коршунов, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень, СПб. –2010. –№ 4. – С12-19.

16. Зуев, Б.Ю. Определение статических и динамических напряжений в физических моделях слоистых и блочных горных массивов / Б.Ю. Зуев, В.П. Зубов, А.Д. Смычник // Горный журнал. –2019. – №7. – С. 61-66.

17. Зуев, Б.Ю. Основы физического моделирования геомеханических

процессов: Учебное пособие / Б.Ю. Зуев, А.А. Ромашкевич // Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». –СПб. –2013. –44 с.

18. Зуев, Б.Ю. Разработка методов и технических средств определения статических и динамических напряжений в физических моделях слоистых и блочно-иерархических горных массивов / Б.Ю. Зуев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 356-360.

19. Зуев, Б.Ю. Физическое моделирование процессов деформирования массива горных пород при заблаговременной дегазации угольных пластов / Б.Ю. Зуев, В.М. Шик // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня "Безопасность". Выпуск 12, Москва. –2009. – С. 21-28.

20. Клишин, В. И. Исследование процессов выпуска угля при отработке мощных пологих и крутых угольных пластов / В. И.Клишин, С. В.Клишин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2010. — № 2. — С. 69-81.

21. Клишин, В.И. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля: монография / В.И. Клишин, И.А. Шундулиди, А.Ю. Ермаков, А.С. Соловьев. – Новосибирск: Наука, 2013. – 248 с.

22. Ковальский, Е.Р. Критерии прочности горных пород / Е.Р. Ковальский // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 11-ой Международной научно-практической конференции. – Воркута, 2013. – С. 87-91.

23. Ковальский, Е.Р. Цели и задачи численного эксперимента в горной геомеханике / Е.Р. Ковальский // Записки Горного института. – СПб, 2013. – Том 205. – С. 57-59.

24. Козина, А.М. Технология моделирования эквивалентными материалами // Вопросы моделирования проявлений горного давления методами эквивалентных материалов: Сб. науч. тр. Ленинград: ВНИМИ. –1962. – № 44. – С. 91-109.

25. Козовой, Г.И. Шахта «Распадская» – «Распадская угольная компания»: состояние, приоритетные задачи и перспективы развития / Г.И Козовой, В.П. Зубов // Уголь. –2016. – № 2. – С. 5-10.

26. Ле, Куанг Фук. Влияние основной кровли на параметры зоны опорного давления в краевой части угольного пласта / Ле Куанг Фук, Дмитриев П.Н., Тхан Ван Зуи, Ли Юньпэн // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6.1. – С. 68–82. DOI: 10.25.

27. Линденау, Н.И. Разработка мощных угольных пластов / Н.И. Линденау, Р.В. Буткевич, К.П. Кривобок. – М.: Недра, –1966. – 287 с.

28. Мельник, В. В. Организационно-технологическое и научно-методическое обеспечение проектирования угледобывающих предприятий / В. В. Мельник, В. В. Агафонов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S1. – С. 286-299.

29. Методические указания по оценке устойчивости пород кровли угольных пластов Кузбасса и выбору типов крепей для очистных забоев // Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. угольный ин-т. (КузНИУИ). Прокопьевск –1974г. – 12 с.

30. Нго, Куок Чунг. Исследование влияния угла падения пласта на процесс выпуска угля при отработке мощных наклонных пластов с применением механизированной крепи с выпуском угля / Куок Чунг Нго // Научный вестник МГГУ. – 2013. – № 10. - С. 72-80.

31. Никишин, Д.Ю. Обоснование эффективных способов предотвращения обрушений пород кровли в лавах надрабатываемых слоев: автореф. дис. канд. тех. наук: 25.00.22. / Д.Ю. Никишин. – СПб., –2007. – 20 с.

32. Никишин, Д.Ю. Влияние отработки первого слоя на напряженно-деформированное состояние надрабатываемого слоя / Д.Ю.Никишин, С.А.Сидоренко, А.А.Сидоренко // Техника и технология разработки месторождений полезных ископаемых; СибГИУ. Вып.7. Новокузнецк, –2005. – С. 51-53.

33. Никишин, Д.Ю. Обоснование рациональных параметров перспективных технологических схем слоевой отработки мощных пологих угольных пластов / Д.Ю. Никишин, Д.В. Осминин // Записки Горного института. – 2007. – Т. 170. – № 2 SE-Экология и охрана окружающей среды. – С. 262-264.

34. Качурин, Н. М. Обеспечение безопасности технологического процесса отработки угольных месторождений / Н. М. Качурин, Л. Э. Шейнкман, А. Е. Пушкарев, Р. А. Ковалев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2012. – № 1-2. – С. 142-148.

35. Патент № 2287688 Российская Федерация, МПК E21C 41/18(2006.01). Способ разработки мощных пологих угольных пластов : № 2005123781/03 : заявл. 26 07.05 : опубл. 20 11.06 / Зубов В. П., Сидоренко А А , Никишин Д.Ю.; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".

36. Петрикова, Е М. Амортизация основных средств: применение в России и трансформация в международную систему учета / Е. М. Петрикова // Экономический анализ: теория и практика. – 2007. – № 11. – С. 28-37.

37. Пучков, Л. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых / Л. Пучков, Ю. Жежелевский // Москва: Издательство «Горная книга». –2013. – Т. 2. – 720 с.

38. Ребецкий, Ю Л. Гравитационное напряженное состояние и механизм генерации горизонтального сжатия / Ю. Л. Ребецкий //Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. –2009. – С. 75-92.

39. Саидов, М. К. Формулы начисления амортизации основных производственных фондов / М. К. Саидов // Вестник Педагогического университета. – 2015. – № 2-1. – С. 302-309.

40. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2022621454 Российская Федерация. База данных типовых повреждений тросов для обучения нейронных сетей в рамках угольных шахт Китая / Кульчицкий А.А., Ли Юньпэн, Николаев М.Ю., правообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2022621310; опубл. 20.06.2022, Бюл. № 6.

41. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2022683097 Российская Федерация. Программа автоматизированного расчета параметров защитной пачки при слоевой выработке угольных пластов / Зубов В.П., Ли Юньпэн, Николаев М.Ю., правообладатель: Санкт-Петербургский

горный университет. – № 2022681863; опубл. 01.12.2022, Бюл. № 12.

42. Семенцов, В.В. Устойчивость выемочных горных выработок при отработке пластов с труднообрушающимися кровлями / В.В. Семенцов, Д.В. Осминин, Е.В. Нифанов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2021. – № 3. – С.

43. Смирнов, А.А. Влияние величины потерь руды на эффективность подземной отработки месторождения / А.А. Смирнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 11. – С. 107-110.

44. Стулишенко, А.Ю. Обоснование с использованием численного моделирования разных способов сохранения выработок за лавами в условиях шахт ГХГ «Селидовуголь» / А.Ю. Стулишенко, Е.П. Брагин // Доклад на симпозиуме «Неделя горняка–2000». Москва: ГИАБ. –2000. – Т. 12. – С. 130-137.

45. Торро, В.О. Определение тенденций развития технологий отработки мощных пологих пластов угля подземным способом / В.О. Торро, А.Н. Супруненко, А.В. Ремезов, Е.В. Кузнецов // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2013. – Т. 2. – С. 204-220.

46. Трофимов, В.А. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния вмещающего массива и пологого мощного угольного пласта при завершении отработки выемочного столба / В.А. Трофимов, С.С. Кубрин, Ю.А. Филиппов, И.Л. Харитонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – Т. 8. – С. 42-56.

47. Указания по нормированию, планированию и экономической оценке потерь угля в недрах по Кузнецкому бассейну // Ленинград: ВНИМИ. –1991. – 56с.

48. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР // Ленинград: ВНИМИ. –1986. – 220 с.

49. Цветкова, А.Ю. Экономика и менеджмент горного производства: Методические указания к разработке экономической части дипломного проекта / А.Ю. Цветкова, О.А. Маринина, М.А. Невская // СПб. –2021. – 33 с.

50. Цзаньюн, Ц. Развитие методов разработки мощных угольных пластов в Китае / Ц. Цзаньюн, Ц. Ван, Ч. Цзинли // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – Т. 8. – С. 105-1178.

51. Шундулиди И.А. Выбор параметров технологии обработки мощных пологих пластов с выпуском межслоевых и подкровельных пачек угля / И.А. Шундулиди, А.С. Марков, С.И. Калинин, П.В. Егоров. – Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1999. – 258 с.

52. Bai, Q. Theoretical analysis on the deformation characteristics of coal wall in a longwall top coal caving face / Q. Bai, S. Tu, Z. Li, H. Tu // International Journal of Mining Science and Technology. – 2015. – Vol. 25. – № 2. – P. 199-204. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.006.

53. Chen, W. Analysis of mining-induced variation of the water table and potential benefits for ecological vegetation: a case study of Jinjitan coal mine in Yushenfu mining area, China / W. Chen, W. Li, Z. Yang, Q. Wang // Hydrogeology Journal. – 2021. – Vol. 29. – № 4. – P. 1629-1645.

54. Cheng, Q. Combination of Pre-Pulse and Constant Pumping Rate Hydraulic Fracturing for Weakening Hard Coal and Rock Mass / Q. Cheng, B. Huang, L. Shao et al. // Energies. – 2020. – Vol. 13. – № 21. article 5534.

55. Chi, X. Breaking and mining-induced stress evolution of overlying strata in the working face of a steeply dipping coal seam / X. Chi, K. Yang, Z. Wei // International Journal of Coal Science & Technology. – 2021. – Vol. 8. – № 4. – P. 614-625.

56. Das, A.J. Assessment of the Strength of Inclined Coal Pillars through Numerical Modelling based on the Ubiquitous Joint Model / A.J. Das, P.K. Mandal, P.S. Paul et al. // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2019. – Vol. 52. – № 10. – P. 3691-3717.

57. Dong, H. Study on Deformation and Supporting Measures of Mining Roadway with Compound Roof / H. Dong, J. Zhang, F. Zhang // Geotechnical and Geological Engineering. – 2022. – Vol. 40. – № 3. – P. 1449-1462.

58. Duan, H. Effect of floor failure in fully mechanized caving of extra-thick coal

seam in Datong Mining Area / H. Duan, L. Zhao, Y. Chen // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2021. – Vol. 14. – № 11. article 1008.

59. Duan, H. Safe feasibility of retaining sand-proof coal rock pillars in full-mechanized caving mining of extra-thick coal seam / H. Duan, S. Zhu, S. Cao, M. Zhang // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2021. – Vol. 14. – № 9. article 778.

60. Fan, L. Effect of Coal Mining on Springs in the Yushenfu Mining Area of China / L. Fan, T. Li, M. Xiang et al. // *Geofluids*. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1-16.

61. Feng, D. Research on Water-Conducting Fractured Zone Height under the Condition of Large Mining Height in Yushen Mining Area, China / D. Feng, E. Hou, X. Xie, P. Hou // *Lithosphere*. – 2023. – Vol. 2023. – № 1. – P. 1-12.

62. Feng, X. Practices, experience, and lessons learned based on field observations of support failures in some Chinese coal mines / X. Feng, N. Zhang, F. Xue, Z. Xie // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2019. – Vol. 123. article 104097.

63. Gao, M. Fractal evolution and connectivity characteristics of mining-induced crack networks in coal masses at different depths / M. Gao, J. Xie, J. Guo et al. // *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. – 2021. – Vol. 7. – № 1. article 9.

64. Guo, C. Groundwater Geochemical Variation and Controls in Coal Seams and Overlying Strata in the Shennan Mining Area, Shaanxi, China / C. Guo, J. Gao, S. Wang et al. // *Mine Water and the Environment*. – 2022. – Vol. 41. – № 3. – P. 614-628.

65. Guo, W. Solid waste management in China: Policy and driving factors in 2004–2019 / W. Guo, B. Xi, C. Huang et al. // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2021. – Vol. 173. – P. 105727.

66. Han, P. Failure analysis of coal pillars and gateroads in longwall faces under the mining-water invasion coupling effect / P. Han, C. Zhang, W. Wang // *Engineering Failure Analysis*. – 2022. – Vol. 131. article 105912.

67. Hao, B. Reliability emulation of production system on longwall face / B. Hao, G. Sui, L. Kang // *Journal of Coal Science and Engineering (China)*. – 2009. – Vol. 15. – № 1. – P. 76-80. DOI: 10.1007/s12404-009-0115-8.

68. Huang, Q. Research on downward crack closing of clay aquiclude in shallow coal seam safety mining / Q. Huang, W. Zhang // Journal of Coal Science and Engineering (China). – 2011. – Vol. 17. – № 3. – P. 349-354.

69. Huang, S. Development of Cement-Based Grouting Material for Reinforcing Narrow Coal Pillars and Engineering Applications / S. Huang, G. Zhao, X. Meng et al. // Processes. – 2022. – Vol. 10. – № 11. article . 2292. DOI: 10.3390/pr10112292.

70. Jangara, H. Longwall top coal caving design for thick coal seam in very poor strength surrounding strata / H. Jangara, C.A. Ozturk // International Journal of Coal Science & Technology. – 2021. – Vol. 8. – № 4. – P. 641-658.

71. Jian, Z. M. Research on the Technology of Filling and Repeated Mining in Thick Coal Seam Affected by Small Mine Gob Area / Z. M. Jian, M. Zhong, X. Jin, W. Ji // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 26. – P. 1150-1156.

72. Jian, Y. Q. The evolution of thick coal seams mining methods in China / Y. Q. Jian, Z. Q. Wang, J. L. Zhang. // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 192. article 01023. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201023.

73. Kang, H. Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review / H. Kang // International Journal of Coal Science & Technology. – 2014. – Vol. 1. – № 3. – P. 261-277. DOI: 10.1007/s40789-014-0043-0.

74. Kang, H. Fracture characteristics in rock bolts in underground coal mine roadways / H. Kang, Y. Wu, F. Gao et al. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2013. – Vol. 62. – P. 105-112.

75. Lei, W. Experimental Study on Overburden Deformation Evolution under Mining Effect Based on Fiber Bragg Grating Sensing Technology / W. Lei, J. Chai, D. Zhang // Journal of Sensors. – 2020. – Vol. 2. – P. 1-16.

76. Li, L. Study on Fully-Mechanized Top Coal Caving Mining under Water Body with Shallow Overburden and Thin Bedrock / L. Li, Z. G. Liu, P. P. Chen, G. Liu // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 6. – P. 644-649.

77. Li, B. Determination of working resistance based on movement type of the first subordinate key stratum in a fully mechanized face with large mining height / B. Li, Y. Liang, Q. Zou // Energy Science & Engineering. – 2019. – Vol. 7. – № 3. – P. 777-

798. DOI: 10.1002/ese3.307.

78. Li, X. Research on the Mechanism and Control Technology of Coal Wall Sloughing in the Ultra-Large Mining Height Working Face / X. Li, X. Zhang, W. Shen et al. // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2023. – Vol. 20. – № 1. article 868. DOI: 10.3390/ijerph20010868.

79. Li, Y. Characteristics of the Tectonic Background and Sedimentary Paleoenvironment of Coal-Bearing Strata from the Yan'an Formation in the Ordos Basin: Evidence from the Geochemistry of Major and Trace Elements / Y. Li, M. Yan, P. Liu et al. // ACS Earth and Space Chemistry. – 2022. – Vol. 6. – № 11. – P. 2680-2697. DOI: 10.1021/acsearthspacechem.2c00240.

80. Liang, Y. Movement type of the first subordinate key stratum and its influence on strata behavior in the fully mechanized face with large mining height / Y. Liang, B. Li, Q. Zou // Arabian Journal of Geosciences. – 2019. – Vol. 12. – № 2. article 31. DOI: 10.1007/s12517-018-4208-9.

81. Liu, C. Strata movement and shield pressure analysis at Tongxin longwall top coal caving working face with extra-thick coal seam / C. Liu, H. Li, H. Mitri et al. // Arabian Journal of Geosciences. – 2019. – Vol. 12. – № 24. article 786.

82. Liu, W. Study on characteristics of overlying strata and surface subsidence under the shallow coal seam mining in Hangleiwan coal mine / W. Liu, T. Chen, J. Yao, Z. Zhao // Journal of Mining and Safety Engineering. – 2017. – Vol. 34. – P. 1141-1147.

83. Luo, B. Service Risk Evaluation of the General Contract for Coal Mine Production and Operation: Case Study at Shendong Jinjie Coal Mine in China / B. Luo, J. Zhang, Z. Li // Mathematical Problems in Engineering. – 2019. – Vol. 2019. – P. 1-12.

84. Lv, H. Study on the mechanism of a new fully mechanical mining method for extremely thick coal seam / H. Lv, Z. Cheng, F. Liu // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2021. – Vol. 142. article 104788.

85. Nurgaliev, E.I. Experience of complex isolation of excavations “raspadszkaya coal company” mines. “raspadszkaya-koksovaya” mine – part i / E.I. Nurgaliev, A.E. Mayorov, A.A. Cherepov // Ugol'. – 2019. – № 02. – P. 25-30.

86. Pang, Y. Double-factor control method for calculating hydraulic support

working resistance for longwall mining with large mining height / Y. Pang, G. Wang, Q. Yao // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2020. – Vol. 13. – № 6. article 252.

87. Quan, L. Research on Adaptability of Full-mechanized Caving Mining with Large Mining-height / L. Quan, M. De // *Procedia Engineering*. – 2011. – Vol. 26. – P. 652-658. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2219.

88. Razumov, E.A. Experience in mechanized mining of thick gently sloping seams in kuzbass coal mines and recommendations for mining very thick gently sloping seams / E.A. Razumov, V.G. Venger, E.A. Zelyaeva et al. // *Ugol'*. – 2021. – № 06. – P. 4-10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-4-10.

89. Shao, L. Sequence stratigraphy, paleogeography, and coal accumulation regularity of major coal-accumulating periods in China / L. Shao, X. Wang, D. Wang et al. // *International Journal of Coal Science & Technology*. – 2020. – Vol. 7. – № 2. – P. 240-262. DOI: 10.1007/s40789-020-00341-0.

90. Shi, X. Physical Experiment and Numerical Modeling on the Failure Mechanism of Gob-Side Entry Driven in Thick Coal Seam / X. Shi, H. Jing, Z. Zhao et al. // *Energies*. – 2020. – Vol. 13. – № 20. article 5425. DOI: 10.3390/en13205425.

91. Song, S.J. Analysis of the Key Geological-Mining Factors Impacting Mining Subsidence in Coal Mining Area: A Case Study in YuShenfu Mining Area / S.J. Song, X.G. Zhao, Y. Li // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 868. – P. 386-390.

92. Sun, X. Physical model experiment and numerical analysis on innovative gob-side entry retaining with thick and hard roofs / X. Sun, C. Zhao, G. Li et al. // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2020. – Vol. 13. – № 23. article 1245.

93. Tan, K. Development history and prospect of remote sensing technology in coal geology of China / K. Tan, J. Qiao // *International Journal of Coal Science & Technology*. – 2020. – Vol. 7. – № 2. – P. 311-319. DOI: 10.1007/s40789-020-00323-2.

94. Wang, B. Surrounding rock deformation and stress evolution in pre-driven longwall recovery rooms at the end of mining stage / B. Wang, F. Dang, W. Chao et al. // *International Journal of Coal Science & Technology*. – 2019. – Vol. 6. – № 4. – P. 536-546. DOI: 10.1007/s40789-019-00277-0.

95. Wang, G. Surrounding rock control theory and longwall mining technology

innovation / G. Wang, Y. Pang // International Journal of Coal Science & Technology. – 2017. – Vol. 4. – № 4. – P. 301-309. DOI: 10.1007/s40789-017-0188-8.

96. Wang, G. Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China / G. Wang, H. Ren, G. Zhao et al. // International Journal of Coal Science & Technology. – 2022. – Vol. 9. – № 1. article 24. DOI: 10.1007/s40789-022-00491-3.

97. Wang, H. Failure Mechanisms and the Control of a Longwall Face with a Large Mining Height within a Shallow-Buried Coal Seam / H. Wang, Y. Liu, Y. Tang et al. // Shock and Vibration. – 2021. – Vol. 2021. – P. 1-11.

98. Wang, J. Development and prospect on fully mechanized mining in Chinese coal mines / J. Wang // International Journal of Coal Science & Technology. – 2014. – Vol. 1. – № 3. – P. 253-260. DOI: 10.1007/s40789-014-0017-2.

99. Wang, J. Investigation of the Rockburst Mechanism of Driving Roadways in Close-Distance Coal Seam Mining Using Numerical Modeling Method / J. Wang, D.B. Apel, A. Dyczko et al. // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2021. – Vol. 38. – № 5. – P. 1899-1921. DOI: 10.1007/s42461-021-00471-2.

100. Wang, J. The Recent Technological Development of Intelligent Mining in China / J. Wang, Z. Huang // Engineering. – 2017. – Vol. 3. – № 4. – P. 439-444.

101. Wang, J. Thick seam coal mining and its ground control / J. Wang, Y. Li // Advances in Coal Mine Ground Control. – Elsevier, 2017. – P. 379-407.

102. Wang, J. Force chains in top coal caving mining / J. Wang, L. Yang, F. Li, C. Wang // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2020. – Vol. 127. article 104218. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104218.

103. Wang, J. Caving mechanisms of loose top-coal in longwall top-coal caving mining method / J. Wang, S. Yang, Y. Li et al. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2014. – Vol. 71. – P. 160-170.

104. Wang, J. Key technologies and equipment for a fully mechanized top-coal caving operation with a large mining height at ultra-thick coal seams / J. Wang, B. Yu, H. Kang et al. // International Journal of Coal Science & Technology. – 2015. – Vol. 2. – № 2. – P. 97-161. DOI: 10.1007/s40789-015-0071-4.

105. Wang, J. Three-dimensional experimental study of loose top-coal drawing

law for longwall top-coal caving mining technology / J. Wang, J. Zhang, Z. Song, Z. Li // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2015. – Vol. 7. – № 3. – P. 318-326. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.03.010.

106. Wang, S. Study on Surrounding Rock Control and Support Stability of Ultra-Large Height Mining Face / S. Wang, X. Li, Q. Qin // *Energies*. – 2022. – Vol. 15. – № 18. article 6811. DOI: 10.3390/en15186811.

107. Xie, H. Application of fractal theory to top-coal caving / H. Xie, H.W. Zhou // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2008. – Vol. 36. – № 4. – P. 797-807.

108. Xie, P. Roof Deformation Associated with Mining of Two Panels in Steeply Dipping Coal Seam Using Subsurface Subsidence Prediction Model and Physical Simulation Experiment / P. Xie, Y. Luo, Y. Wu et al. // *Mining, Metallurgy & Exploration*. – 2020. – Vol. 37. – № 2. – P. 581-591.

109. Xie, X. Formation Mechanism and the Height of the Water-Conducting Fractured Zone Induced by Middle Deep Coal Seam Mining in a Sandy Region: A Case Study from the Xiaobaodang Coal Mine / X. Xie, E. Hou, S. Wang et al. // *Advances in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – P. 1-11. DOI: 10.1155/2021/6684202.

110. Xu, T. Middle Jurassic sequence stratigraphic characteristics in Longdong coalfield / T. Xu, S. Li, F. Yang et al. // *E3S Web of Conferences*. – 2019. – Vol. 118. article 01010. DOI: 10.1051/e3sconf/201911801010.

111. Xu, Y. Prediction and Maintenance of Water Resources Carrying Capacity in Mining Area—A Case Study in the Yu-Shen Mining Area / Y. Xu, L. Ma, N.M. Khan // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12. – № 18. article 7782.

112. Xu, Y. Ground cracks development and characteristics of strata movement under fast excavation: a case study at Bulianta coal mine, China / Y. Xu, K. Wu, L. Li et al. // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2019. – Vol. 78. – № 1. – P. 325-340. DOI: 10.1007/s10064-017-1047-y.

113. Ye, J. Elemental Geochemical Distribution of the Jurassic Yan'an Formation in the Ningdong Coalfield and its Controlling Effect on Coal Reservoir Properties / J. Ye, Y. Zhang, W. He et al. // *Natural Resources Research*. – 2023. – Vol. 32. – № 3. – P. 1299-1318. DOI: 10.1007/s11053-023-10190-8.

114. Yue, Z. Jurassic Tectonics of North China: A Synthetic View / Z. Yue, D. Shu, Z. Tian // *Acta Geologica Sinica - English Edition*. – 2010. – Vol. 82. – № 2. – P. 310-326. DOI: 10.1111/j.1755-6724.2008.tb00581.x.
115. Zavala, C. Lacustrine sequence stratigraphy: New insights from the study of the Yanchang Formation (Middle-Late Triassic), Ordos Basin, China / C. Zavala, H. Liu, X. Li et al. // *The Ordos Basin*. – Elsevier, 2022. – P. 309-335.
116. Zeng, Y. Study of Water-Controlled and Environmentally Friendly Coal Mining Models in an Ecologically Fragile Area of Northwest China / Y. Zeng, Z. Pang, Q. Wu et al. // *Mine Water and the Environment*. – 2022. – Vol. 41. – № 3. – P. 802-816. DOI: 10.1007/s10230-022-00871-w.
117. Zhai, X. Oxygen Distribution and Air Leakage Law in Gob of Working Face of U+L Ventilation System / X. Zhai, B. Wang, S. Jiang, W. Zhang // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2019. – Vol.12. – P. 1-10. DOI: 10.1155/2019/8356701.
118. Zhang, C. Fracture Pattern of Overlying Strata in Multiple Coal Seam Mining in a Physical Model Vis-à-vis MATLAB Analysis and Geological Radar / C. Zhang, Y. Zhang, J. Zuo, S. Gao // *Mining, Metallurgy & Exploration*. – 2021. – Vol. 38. – № 2. – P. 897-911. DOI: 10.1007/s42461-020-00351-1.
119. Zhang, H. Pressure Relief Mechanism and Gas Extraction Method during the Mining of the Steep and Extra-Thick Coal Seam: A Case Study in the Yaojie No. 3 Coal Mine / H. Zhang, L. Xu, M. Yang et al. // *Energies*. – 2022. – Vol. 15. – № 10. article 3792. DOI: 10.3390/en15103792.
120. Zhang, J. Research on Top Coal Caving Technique in Steep and Extra-Thick Coal Seam / J. Zhang, Z. Zhao, Y. Gao // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2011. – Vol. 2. – P. 145-149. DOI: 10.1016/j.proeps.2011.09.024.
121. Zhang, N. Effects of caving–mining ratio on the coal and waste rocks gangue flows and the amount of cyclically caved coal in fully mechanized mining of super-thick coal seams / N. Zhang, C. Liu, M. Pei // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2015. – Vol. 25. – № 1. – P. 145-150.
122. Zhao, S. Analysis of Secondary Roof Structure of the Working Face in Shendong Mining Area / S. Zhao, S. Wu, L. Yang, H. Wang // *Geotechnical and*

Geological Engineering. – 2017. – Vol. 35. – № 1. – P. 195-202.

123. Zhao, X. Study on the rapid evaluation method of mining subsidence damage in Yu Shen Fu mining area / X. Zhao, S. Song, Y. Guan // 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE). – IEEE, 2011. – P. 4533-4536.

124. Zhu, L. Study on Layered-Backfill-Based Water Protection Technology of Thick Coal Seam in the Ecologically Fragile Mining Area in Western China / L. Zhu, T. Song, W. Gu et al. // Geofluids. – 2022. – Vol. 2022. – P. 1-16.

125. Zhu, Z. Stability assessment of long gateroad pillar in ultra-thick coal seam: an extensive field and numerical study / Z. Zhu, D. Li // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. – 2022. – Vol. 8. – № 5. – P. 147.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

РИСУНКИ

Рисунок 1.1 – Расположение Юйшэньфуского месторождения

Рисунок 1.2 – Характерный структурный геологический разрез по Юйшэньскому месторождению

Рисунок 1.3 – Запасы угля на шахтах Юйшэньского месторождения

Рисунок 1.4 – Годовая добыча шахт Юйшэньского месторождения

Рисунок 1.5 – Глубинаведения горных работ шахт Юйшэньского района

Рисунок 1.6 – Проекция схемы вскрытия шахтного поля

Рисунок 1.7 – Вертикальная схема вскрытия

Рисунок 1.8 – Выкопировка из плана горных выработок

Рисунок 2.1 – а - Распределение разрабатываемых пластов по мощности, %;
б - добыча угля в 2011-2021 гг.

Рисунок 2.2 – Схема отработки мощного пологого угольного пласта двумя слоями с оставлением межслоевой защитной пачки

Рисунок 2.3 – Способы предотвращения обрушений межслоевых защитных пачек и пород кровли в призабойное пространство лав надрабатываемых слоев

Рисунок 2.4 – Метод разработки с поперечным расположением штреков

Рисунок 3.1 – Принципиальная схема компьютерной модели

Рисунок 3.1 – Процесс разрушения слоистых пород кровли при отработке угольного пласта

Рисунок 3.2 – Колеровка интенсивности вертикальных напряжений σ_y

Рисунок 3.3 – Поле вертикальных напряжений σ_y в окрестности очистного забоя при максимальной длине зависшей и отколовшейся консоли основной кровли

Рисунок 3.4 – Поле вертикальных напряжений σ_y в краевой части очистного забоя при минимальной длине зависшей консоли основной кровли (построены для срединной плоскости вынимаемой мощности первого слоя)

Рисунок 3.5 – Распределение опорного давления впереди очистного забоя при разном положении зависшей консоли основной кровли (построены для

срединной плоскости вынимаемой мощности первого слоя)

Рисунок 3.6 – Области краевой части очистного забоя, перешедшие в запредельное состояние, при максимальной длине зависшей консоли основной кровли: синий цвет – устойчивое состояние; красный цвет – разрушение; зеленый цвет – разупрочнение; стрелками показаны области разрушения в почве верхнего слоя

Рисунок 3.7 – Области краевой части очистного забоя, перешедшие в запредельное состояние, при минимальной длине зависшей консоли основной кровли: синий цвет – устойчивое состояние; красный цвет – разрушение; зеленый цвет – разупрочнение; стрелками показаны области разрушения в почве верхнего слоя

Рисунок 3.8 – Векторы смещений узлов конечных элементов в окрестности очистного забоя

Рисунок 3.9 – График зависимости между длиной зависшей консоли и глубиной разупрочнения (разрушения) почвы верхнего слоя при его отработке

Рисунок 3.10 – Зависимость глубины зоны разупрочнения/разрушения почвы верхнего слоя в пласте от предела прочности угля на растяжение

Рисунок 3.11 – Зависимость глубины зоны разупрочнения/разрушения почвы верхнего слоя пласта от величины сцепления в угле

Рисунок 3.12 – Зависимость глубины зоны разупрочнения/разрушения угля в почве отрабатываемого верхнего слоя и мощности этого верхнего слоя

Рисунок 3.13 – Зависимость глубины зоны разупрочнения/разрушения в почве верхнего слоя пласта и глубины залегания этого пласта

Рисунок 3.15 – Схема к расчету мощности межслоевой защитной пачки

Рисунок 3.16 – Влияние высоты зоны обрушения (а) и мощности отрабатываемого верхнего слоя (б) на величину минимально необходимой мощности межслоевой защитной угольной пачки (по методике ВНИМИ)

Рисунок 3.17 – Влияние высоты зоны обрушения (а) и мощности отрабатываемого верхнего слоя и предела прочности угля на сжатие (б) на величину минимально необходимой мощности межслоевой защитной угольной

пачки (по методике КузГТУ)

Рисунок 3.18 – Принципиальная схема модели (а) и общий вид модели из эквивалентных материалов (б) в процессе ее обработки

Рисунок 3.19 – Схема расположения датчиков в модели: а - для определения напряжений, б,в - подключение датчиков к компьютеру для обработки показаний

Рисунок 3.20 – Процесс деформирования пород кровли пласта при различной мощности защитной угольной пачки: а – без защитной пачки угля ; б – при мощности защитной пачки 1м; в - при мощности защитной пачки 2м; г - при мощности защитной пачки 3м.

Рисунок 3.21 – Процессы деформирования и разрушения основной и непосредственной кровли и почвы лавы верхнего слоя при подвигании очистного забоя относительно базового положения на расстояние: а - 8м; б - 15м; в - 23м; г - 60м; д - 170м; е - 180м

Рисунок 3.22 – Изменение концентрации напряжений в надрабатываемом угольном массиве (защитной пачке) при обработке верхнего слоя: а –по программе «АСTest Pro»; б – изменение коэффициента концентрации напряжений в нижнем

Рисунок 3.23 – Изменения концентрации напряжений в надрабатываемом угольном массиве при мощности защитной угольной пачки равной 1 м

Рисунок 3.24 – Изменения концентрации напряжений в надрабатываемом угольном массиве при мощности защитной угольной пачки равной 2м

Рисунок 3.25 – Изменения концентрации напряжений в надрабатываемом угольном массиве при мощности защитной угольной пачки равной 3м

Рисунок 4.1 – Принципиальная схема рекомендуемой технологии обработки нижнего слоя пласта №3 в условиях шахты "Хан Лайвань"

Рисунок 4.2 – Очистной комбайн MG-400/940-WD

Рисунок 4.3 – Механизированная крепь ZF-8000/22/35

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1.1– Показатели свойств углей Юйшэньского месторождения: выход летучих веществ $V_{daf}(\%)$ и индекс спекаемости $G_{R.I}$

Таблица 1.2– Сводные эксплуатационные характеристики пластов свиты Яньань

Таблица 2.1 – Техничко-экономические показатели добычи при отработке мощных пластов

Таблица 2.2 – Шахты слоевой системы разработки в Китае

Таблица 2.3- Шахты технологии отработки мощных пологих пластов с выпуском угля в Китае

Таблица 3.2 – Принятые для моделирования физико-механические свойства массива горных пород

Таблица 3.2 – Результаты расчетов необходимой мощности межслоевой защитной пачки по методу ВНИМИ

Таблица 4.1 – Сравнение затрат по базовому и рекомендованному варианту

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Свидетельство о государственной регистрации базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2022621454

**База данных типовых повреждений тросов для обучения
нейронных сетей в рамках угольных шахт Китая**

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

Авторы: *Ли Юньпэн (CN), Кульчицкий Александр
Александрович (RU), Николаев Михаил Юрьевич (RU)*

Заявка № 2022621310

Дата поступления 09 июня 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 20 июня 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022683097

**Программа автоматизированного расчета параметров
защитной пачки при слоевой выработке угольных
пластов**

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

Авторы: *Зубов Владимир Павлович (RU), Ли Юньпэн (RU),
Николаев Михаил Юрьевич (RU)*

Заявка № 2022681863

Дата поступления 18 ноября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 01 декабря 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акт о внедрении результатов диссертации


 Директора угольной компании «Юйлин»
 - Ю Сэ Шэньси, Китай
 _____, **Ню Цзябо**
 Дата «14» апреля 2023 г.

АКТ

об использовании результатов кандидатской диссертации аспиранта Санкт-Петербургского горного университета, Ли Юньпэн, обучающегося по научной специальности 2.8.8 Геотехнология, горные машины

Комиссия (специальная) в составе:

Председатель: Ню Цзябо;

Члены комиссии: Сюй Ган, Лю Сяоцзюнь

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Разработка технологии слоевой выемки мощных пологих пластов угля с труднообрушающимися породами кровли(на примере шахты, Хан Лайвань, Китая)», представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы при слоевой системе разработки мощного пологого угольного пласта № 3 с труднообрушающимися породами кровли в условиях шахты «Хан Лайвань» Юйшэньского угольного бассейна.

Основные результаты диссертационного исследования: имеют практическое значение, обладают актуальностью, создают объективные предпосылки для безопасной и экономически эффективной отработки наработанных слоёв при слоевой систем разработки.

Использование указанных результатов полученных Ли Юньпэн позволяет:

-уменьшать эксплуатационные потери угля при слоевых системах разработки на 15-20%;

- повысить безопасность отработки наработанного слоя.

Председатель комиссии

Начальник отдела производственный

_____, **Ню Цзябо**

Члены комиссии:

Начальник отдела технологических разработок

_____, **Сюй Ган**

Главный инженер

_____, **Лю Сяоцзюнь**