

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

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

Санкт-Петербург – 2023

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Зубов Владимир Павлович

Официальные оппоненты:

Агафонов Валерий Владимирович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», кафедра геотехнологии освоения недр, профессор;

Семенцов Вячеслав Владимирович

кандидат технических наук, акционерное общество «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли», лаборатория горной геомеханики, заведующий лабораторией.

Ведущая организация – акционерное общество «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится **18 сентября 2023 г. в 13:00** на заседании диссертационного совета ГУ.2 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171а.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 18 июля 2023 г.

УЧЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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-механизованная 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 России, Китае, Вьетнаме и других угледобывающих странах. Большой вклад в решение этих вопросов внесли Ю.В. Громов, В.И. Клишин, Е.Я. Махно, И.А. Шундулиди, В.В. Мельник, Н.М. Качурин, В.В. Сменцов, В.П. Зубов, Д. Ю. Никишин, В.А. Еременко, N. Zhang, V.G. Wang, X.G. Zheng, Т.З. Ву и другие. 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 горно-технических ситуаций. При этом в качестве основного рассматривался вариант с оставлением между обрабатываемыми 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 надработанных слоев. Наибольшими фактическими потерями угля характеризуется отработка пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы.

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

Объект исследования.

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

Предмет исследования. Процессы очистных работ при нисходящем порядке отработки наклонных слоев.

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

Идея 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.

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

1. Установление на основании анализа мирового практического опыта отработки пологих мощных угольных пластов наиболее эффективных систем разработки 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 (8-12 м) пологого угольного пласта с разделением его на два наклонных слоя.

Научная новизна работы:

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 надработанного 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 надработке 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 надработанного 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 дополни-

тельно 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.

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.

На защиту выносятся следующие положения:

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 (8-12 м) 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 надрботанного 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; положительную экспертную оценку 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, 2020 г.); IV Международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (г. Санкт-Петербург, 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. Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 5 печатных работах, в том числе в 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 (далее – Перечень ВАК), в 1 статье - в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, идея, задачи, защищаемые положения и научная новизна полученных результатов.

В первой главе выполнено обобщение практического опыта отработки мощных пологих угольных пластов на шахтах мира, и оценка целесообразности применения и областей использования известных способов предотвращения обрушений пород кровли в лавах надработанных слоев.

Во второй главе проанализирована специфика горно-геологических условий отработки угольных пластов в районе Юйшэньского месторождения бассейна Юйшэньфу и изучено современное состояние технологической схемы отработки мощного пологого пласта на шахте «Хан Лайвань».

В третьей главе приведена методика определения мощности межслоевой защитной угольной пачки. Приведены результаты лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов и компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния пласта на различных стадиях его отработки с использованием метода конечных элементов.

В четвертой главе проведена оценка области использования разработанной технологии и ее экономическая результативность.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

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».

Анализ практического опыта подземной разработки мощных угольных пластов на шахтах России, Китая, Вьетнама и других угледобывающих стран показал, что в качестве основной технологии при отработке угольных пластов мощностью 7-12м, как правило, используют вариант слоевой системы разработки с оставлением между отрабатываемыми наклонными слоями защитных пачек угля, которые обрушаются в выработанное пространство при передвижке механизированной крепи. Слои отрабатывают в нисходящем порядке с опережением очистных работ по вышерасположенному слою, т.е. очистные работы в надработанном (нижнем) слое ведут под породами, обрушившимися в выработанном пространстве вышерасположенного слоя.

Функциональным назначением межслоевой защитной пачки угля является предотвращение вывалов дезинтегрированных неустойчивых массивов пород, находящихся в выработанном пространстве лавы верхнего слоя, в призабойное пространство лавы нижнего слоя. Данный способ по сравнению с другими известными способами характеризуется простотой реализации и легко адаптируется, за счет изменения толщины защитной пачки, к изменениям мощности угольного пласта в пределах отрабатываемого выемочного столба.

При отсутствии защитной межслоевой пачки угля процесс обрушения пород кровли в призабойное пространство лавы надработанного слоя связан, как правило, с отжимом угля в верхней части забоя лавы, ослабленной трещинами, сформированными в зоне опорного давления лавы вышерасположенного слоя. Отжим угля приводит к дополнительному обнажению кровли на ее незакреп-

ленном участке и обрушению пород, находящихся в выработанном пространстве лавы вышерасположенного слоя.

При ведении горных работ на глубинах до 400м толщина защитных пачек на шахтах Китая составляет 0,3 - 1,5м и более. Аналогичными значениями данного параметра характеризуются варианты слоевых систем разработки, применяемых на российских угольных шахтах. Так при отработке пласта 3 двумя наклонными слоями на шахте «Распадская-Коксовая» (участок поля №2) толщина межслоевой защитной пачки превышала 1,5м. К числу основных недостатков рассматриваемой технологии относятся значительные эксплуатационные потери угля в защитных межслоевых пачках, достигающие 10-12% и более балансовых запасов выемочных участков. Несмотря на значительную толщину защитных пачек, очистные работы характеризуются повышенной опасностью, связанной с обрушениями защитных пачек и пород в призабойное пространство лав наработанного слоя. Объемы обрушающейся горной массы достигают 1,5-2,0 м³. Следует отметить, что фактическая толщина защитных пачек на угольных шахтах во многих случаях существенно (в 1,5-1,8 раза и более) превышает расчетные значения соответствующего параметра, принятого при проектировании

По мере перехода горных работ на более глубокие горизонты различия между проектными и фактическими значениями толщины защитных пачек возрастает. Существенные различия между проектными и фактическими значениями толщины защитных пачек наблюдаются также при отработке пластов, в кровле которых залегают труднообрушающиеся породы.

Принимая во внимание устойчивую тенденцию увеличения глубины горных работ в основных угольных бассейнах мира, можно сделать вывод о том, что минимально допустимая толщина защитной пачки, при которой обеспечивается безопасность очистных работ в лавах наработанного слоя будет увеличиваться. Следовательно, будут возрастать и эксплуатационные потери угля по сравнению с уровнем 10-12%.

2. Повышение безопасности очистных работ в лавах наработываемого слоя по фактору «обрушение межслоевой защитной пачки угля и пород кровли» достигается при опреде-

лении 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.

С целью изучения характера и степени влияния геологических и горнотехнических факторов на толщину межслоевой защитной пачки угля был использован комплексный метод исследований, включающий лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов (Рисунок 1) и компьютерное моделирование (Рисунок 2) напряженно-деформированного состояния мощного пласта на различных стадиях его отработки с использованием метода конечных элементов.

Исследования проведены для горно-геологических условий отработки мощного пологого угольного пласта №3 двумя наклонными слоями в условиях шахты "Хан Лайвань". Данный пласт является главным разрабатываемым угольным пластом месторождения Юйшень. Средняя вынимаемая мощность составляет 9,13 м. Угол падения пласта менее одного градуса, глубина его залегания 230 м. Средняя мощность труднообрушающихся пород основной кровли, представленной песчаниками, превышает 17 м.

Лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов проведены в соответствии с методикой, применяемой в Санкт-Петербургском горном университете. Появление и развитие трещин в модели во время её испытания отслеживалось с помощью цифровой камеры (Рисунок 1) с точностью до 0,2 пикселя.

Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния пласта (Рисунок 2) производилось в плоско-деформированной постановке. Начальные условия в модели описывались геостатическим напряженным состоянием в соответствии с гипотезой А. Динника (1):

$$\begin{aligned}\sigma_y &= \gamma H \\ \sigma_x &= \sigma_z = \lambda \sigma_y \\ \lambda &= \frac{\nu}{1 - \nu}\end{aligned}\tag{1}$$

где σ_y , σ_x , σ_z – вертикальные и горизонтальные компоненты напряжений в МГП; γ – объемный вес вышележащих пород; H – глубина горных работ; λ – коэффициент бокового распора; ν – коэффициент Пуассона

Результаты выполненных исследований показали, что защитная межслоевая пачка угля в верхней ее части, прилегающей к выработанному пространству лавы верхнего слоя, как правило, является нарушенной трещинами и практически не имеет устойчивости. Это объясняется воздействием на надрабатываемый угольный массив опорного горного давления, формирующегося впереди забоя лавы верхнего слоя, и последующей разгрузки от повышенных напряжений. Максимальная концентрация напряжений в зоне опорного давления в 2,4 – 2,6 раза и более превышает уровень напряжений, естественный для рассматриваемой глубины горных работ. По мере подвигания лавы верхнего слоя надрабатываемый угольный массив впереди очистного забоя испытывает сжатие, при разгрузке от повышенного горного давления - растяжение.

Направления смещений элементов надрабатываемого массива подтверждают предположение о том, что причиной разрушения угля в почве отрабатываемого верхнего слоя является его выдавливание в сторону области разгруженной от горного давления (Рисунок 4).

При определении минимально допустимой толщины межслоевой защитной пачки угля по известным методикам (быв. ВНИМИ, КузНИУИ и др.) исходят из условия, что защитная пачка представляет собой сплошную плиту. Вместе с тем, как следует из результатов выполненных исследований рисунок 6 (Рисунок 4 и 5) защитная пачка в верхней ее части, прилегающей к выработанному пространству лавы верхнего слоя, является нарушенной трещинами и при решении практических задач не может рассматриваться как устойчивая несущая конструкция.

Неучет факта разрушения верхней части надрабатываемого угольного массива при определении минимально допустимой мощности межслоевых защитных пачек приводит к тому, что во многих случаях межслоевые пачки угля не выполняют защитных функций и обрушаются в призабойное пространство лавы нижнего слоя вместе с породами, находящимися в выработанном пространстве лавы верхнего слоя.

На глубину разрушения надрабатываемого угольного массива существенное влияние оказывает длина зависшей консоли трудно-обрушающихся пород основной кровли в выработанном пространстве лавы верхнего слоя. В стадии деформирования основной кровли (Рисунок 3, а) глубина разрушения угля характеризуется минимальными значениями, установленными за «цикл деформирование-осадка» основной кровли. Максимальная глубина разрушения угля наблюдается перед осадкой основной кровли в выработанном пространстве лавы верхнего слоя (Рисунок 3, б).

График зависимости глубины разрушения (разупрочнения) почвы верхнего слоя от длины зависшей консоли основной кровли в диапазоне ее изменения от 6 до 25 м удовлетворительно описывается уравнением (2):

$$h = 0.1622e^{0.0317l_k} \quad (2)$$

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

Влияние предела прочности на одноосное растяжение (σ_r , МПа) в диапазоне его изменения от 0.9 МПа до 1.2 МПа удовлетворительно описывается уравнением (3):

$$h = 0.1622e^{-2.633\sigma_r} \quad (3)$$

Влияние предела прочности угля на чистый сдвиг (C , МПа) в диапазоне его изменения от 2.5 до 3.5 МПа (4):

$$h = -0.024C + 0.3508 \quad (4)$$

Влияние вынимаемой мощности верхнего слоя (m , м) в диапазоне ее изменения от 3.5 до 5.0 м (5):

$$h = 5.0252m^{-1.772} \quad (5)$$

Влияние глубины залегания разрабатываемого пласта (H , м) в диапазоне ее изменения от 205 до 400 м (6):

$$h = 5.0252e^{0.0086H} \quad (6)$$

По данным выполненных исследований при отработке пласта № 3 в условиях шахты "Хан Лайвань" глубина разупрочнения угля в надрабатываемом угольном массиве по нормали к границе отработываемых слоев составляет: не менее 0,25 м в стадии деформирования пород основной кровли, не менее 0,35 в стадии осадки основной кровли. Толщину защитной межслоевой пачки в стадии деформирования (b_1) и осадки основной кровли (b_2) рекомендуется определять с использованием выражений 7 и 8:

$$b_1 \geq x+c_1 \quad (7)$$

$$b_2 \geq x+c_2 \quad (8)$$

где X - толщина межслоевой защитной пачки, определенная по известным методикам;

C_1 -глубина области разупрочненного угля, формируемой в верхней части надрабатываемого угольного массива под воздействием опорного горного давления в стадии деформирования основной кровли.

C_2 - 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 пачки X , определенная по известным методикам, составляет около 0,60 м. С учетом выражений (7) и (8) толщину межслоевой защитной пачки в стадии деформирования и осадки основной кровли рекомендуется принимать, соответственно, не менее 0,85 и 0,95 м.

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 надработанного слоя, исключить оставление больших масс угля в выработанном пространстве.

Шахта «Хан Лайвань» является основным угледобывающим предприятием месторождения Юйшэнь. Горнотехническая ситуация,

сложившаяся на шахте "Хан Лайвань" при отработке основного продуктивного пласта №3, характеризуется следующими данными. Система разработки - длинными столбами с разделением пласта на два наклонных слоя. Проектная 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 составляет 3,2-5,1м. Установившийся шаг обрушения основной кровли составляет 25-30м.

Сущность рекомендуемой технологии заключается в следующем. Пласт мощностью m (Рисунок 6) 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.

При отработке нижнего слоя в кровле очистного забоя оставляют защитную межслоевую пачку угля толщиной b . В процессе отработки нижнего слоя производят обрушение и выпуск межслоевой защитной пачки угля 5 на конвейер 4 лавы нижнего слоя.

Возможны следующие основные варианты выпуска межслоевой защитной пачки угля: на забойный конвейер лавы нижнего слоя через выпускные люки в перекрытиях 3 секций крепи; на завальный скребковый конвейер 4 (Рисунок 6) лавы нижнего слоя.

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 и выпуском угля на завальный конвейер.

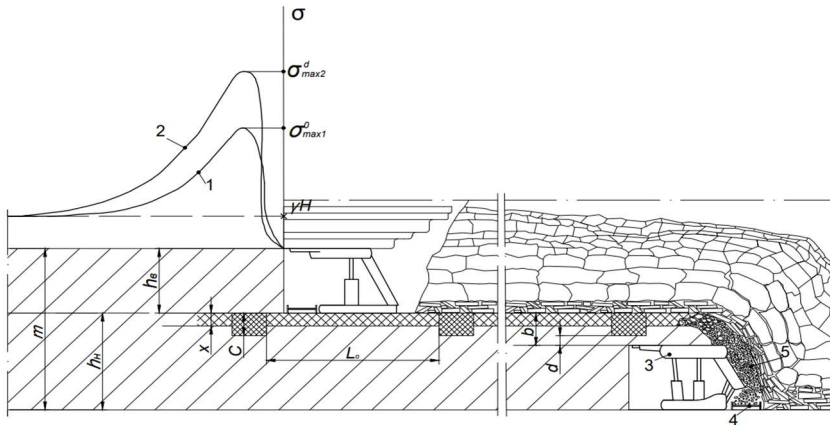


Рисунок 6 – Принципиальная схема рекомендуемой технологии отработки нижнего слоя пласта №3 в условиях шахты "Хан Лайвань": 1, 2 - эпюры опорного давления впереди лавы верхнего слоя, соответственно, в стадии деформирования и обрушения пород основной кровли; Н-глубина горных работ; g - объемный вес пород покрывающей толщи

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 6) отработки нижнего слоя пласта №3 в условиях шахты "Хан Лайвань" позволяет: повысить безопасность очистных работ в призабойном пространстве лав надработанного слоя по фактору «обрушение межслоевой защитной пачки и пород кровли»; при длине выемочного столба 3000м и длине лавы 250м дополнительно добыть при отработке одного столба в нижнем слое более миллиона тонн высококачественного ликвидного угля; снизить вероятность самовозгорания угля и возникновения эндогенных пожаров в выработанном пространстве лав надработанного слоя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, в которой на основе выполненных исследований обоснованы параметры эффективной технологии слоевой выемки мощных (8-12 м) угольных пластов.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

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 надрабатанного 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 надрабатанного 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 надрабатываемого 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 надработанного слоя создает объективные условия для сокращения потерь угля, связанных с оставлением межслоевых защитных пачек; снижения опасности очистных работ в лавах надработанного 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 8-12 м позволяет:

- Уменьшить эксплуатационные потери угля на 13-16%. При длине выемочного столба 3000 м и длине лавы 250 м 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 ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Зубов, В.П. Особенности разработки угольных пластов с низкими прочностными характеристиками на шахтах Вьетнама / В.П. Зубов, Тхан Ван 5 Зуи, А.С. Федоров, Ли Юньпэн // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. -№ 5 (специальный выпуск 2). - С. 3–18. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_2_3. № 979 ред. 25.04.2023.

2. Зубов, В.П. Слоевая система разработки мощных пологих угольных пластов на шахтах Китая: проблемные вопросы, направления совершенствования / В.П. Зубов, Ли Юньпэн // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 7. – С. 37–51. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_37. № 988 ред. 22.05.2023, № 547 ред. 30.12.2022 МБДиСЦ Scopus.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Le, Quang Phuc. Influence of the main roof on the parameters of the abutment pressure zone in the selvedge of the seam / Le Quang Phuc, Dmitriev P.N., Than Van Duy, Yunpeng Li // Mining Informational and Analytical Bulletin. 6 - 2022. - № 6-1. - С. 68-82. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_68.

Свидетельство:

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2022621454 Российская Федерация. База данных типовых повреждений тросов для обучения нейронных сетей в рамках угольных шахт Китая: № 2022621310: заявл. 09.06.2022: опубл. 20.06.2022 Бюл. № 6 /А.А. Кульчицкий, М.Ю. Николаев, Ли Юньпэн; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2022683097 Российская Федерация. Программа автоматизированного расчета параметров защитной пачки при слоевой выработке угольных пластов: № 2022681863: заявл. 18.11.2022: опубл. 01.12.2022 Бюл. № 12 / В.П. Зубов, Ли Юньпэн, М.Ю. Николаев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

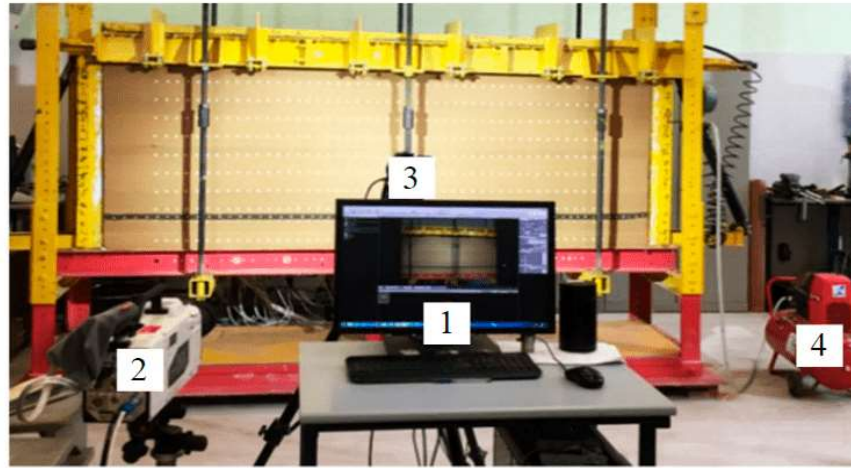


Рисунок 1– Общий вид модели из эквивалентных материалов:

1 – компьютер с программным обеспечением для записи изображений; 2 – камера наблюдения; 3 – цифровая камера;
4 – система управления пригрузкой

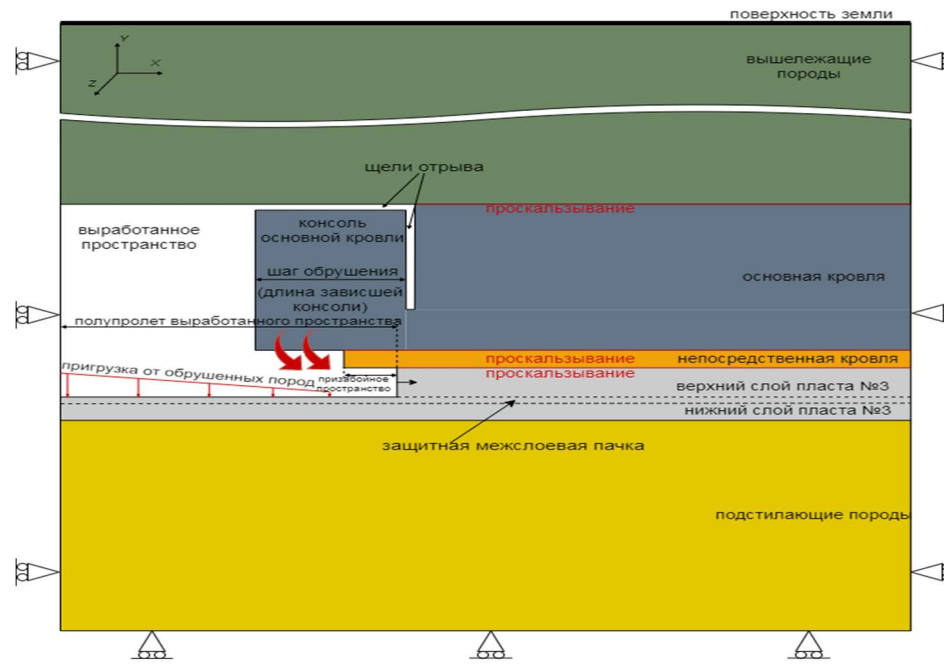


Рисунок 2 – Принципиальная схема компьютерной модели

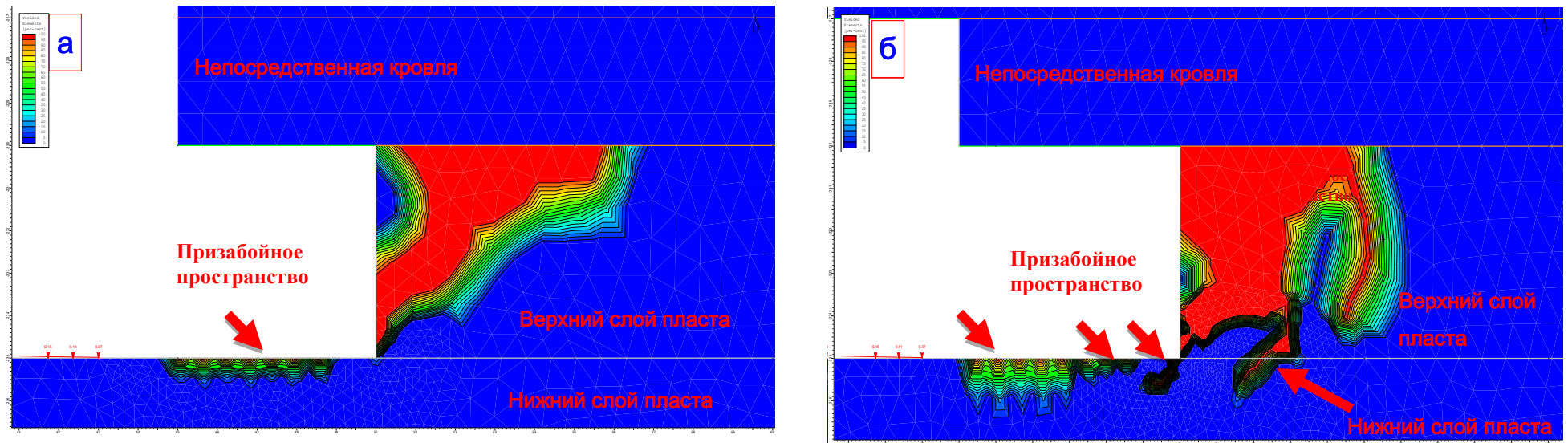


Рисунок 3 – Области массива горных пород в окрестности лавы верхнего слоя, перешедшие в запредельное состояние при минимальной(а) и максимальной (б) длине зависшей консоли основной кровли

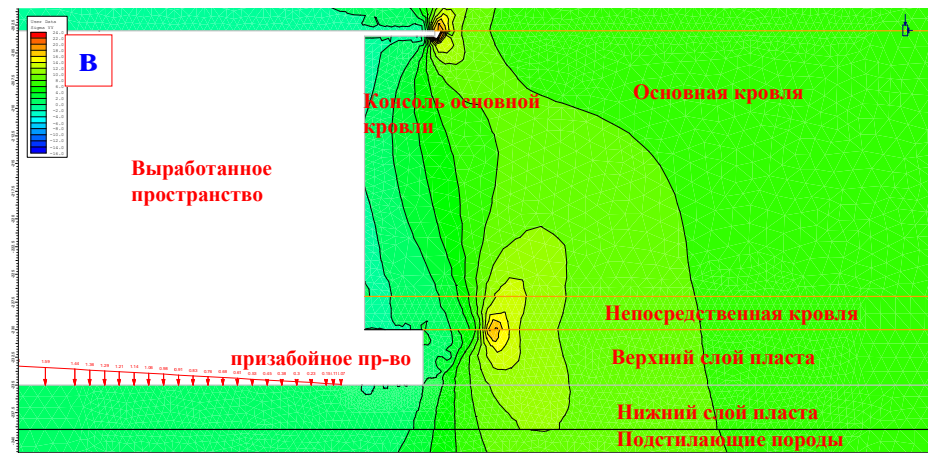
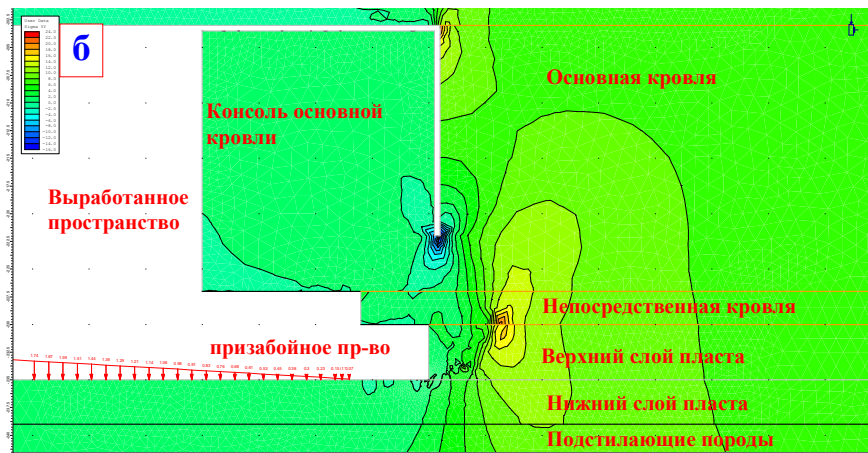
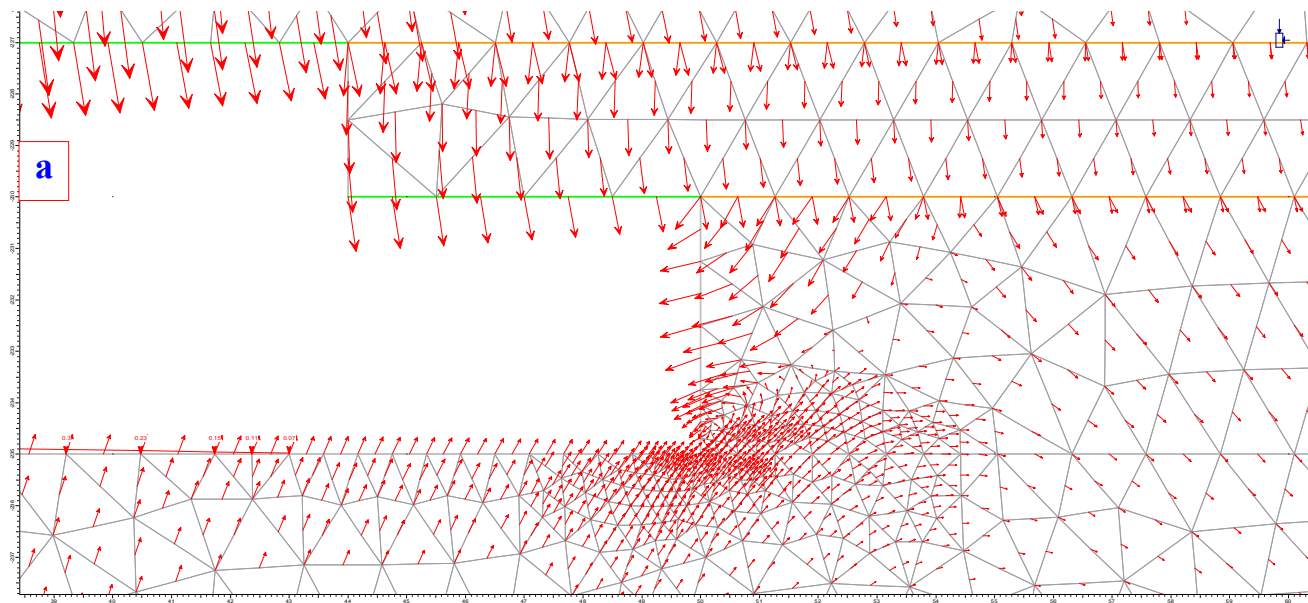


Рисунок 4 – Напряженно-деформированное состояние нижнего слоя при его надработке лавами по вышерасположенному слою:
 а – векторы смещений узлов конечных элементов в окрестности очистного забоя; поля вертикальных напряжений σ_v в краевой части
 очистного забоя при максимальной (б) и минимальной (в) длине зависшей консоли
 основной кровли

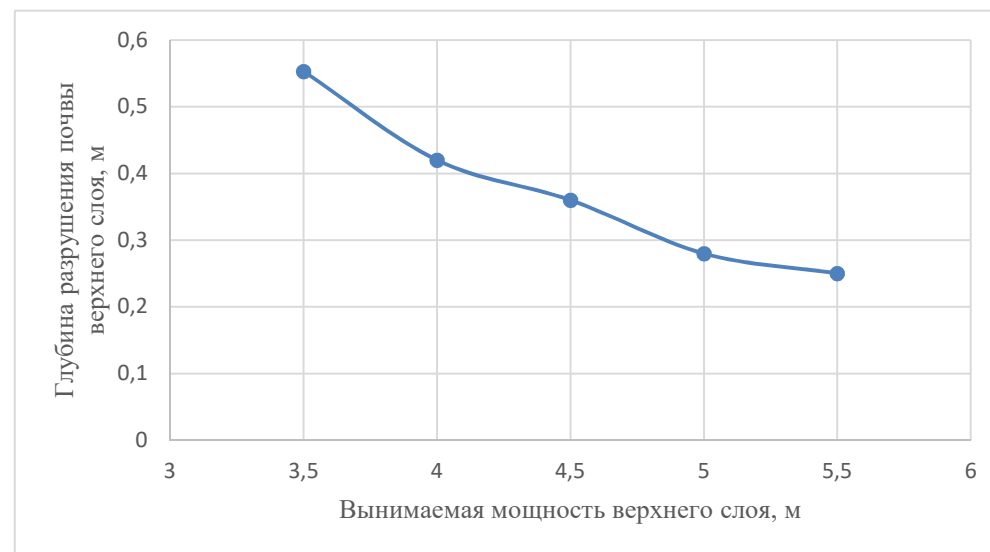
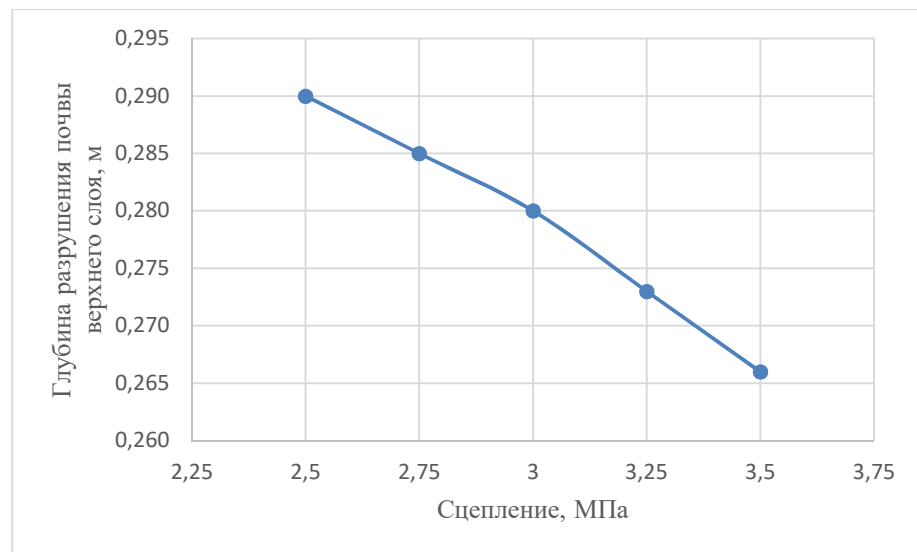
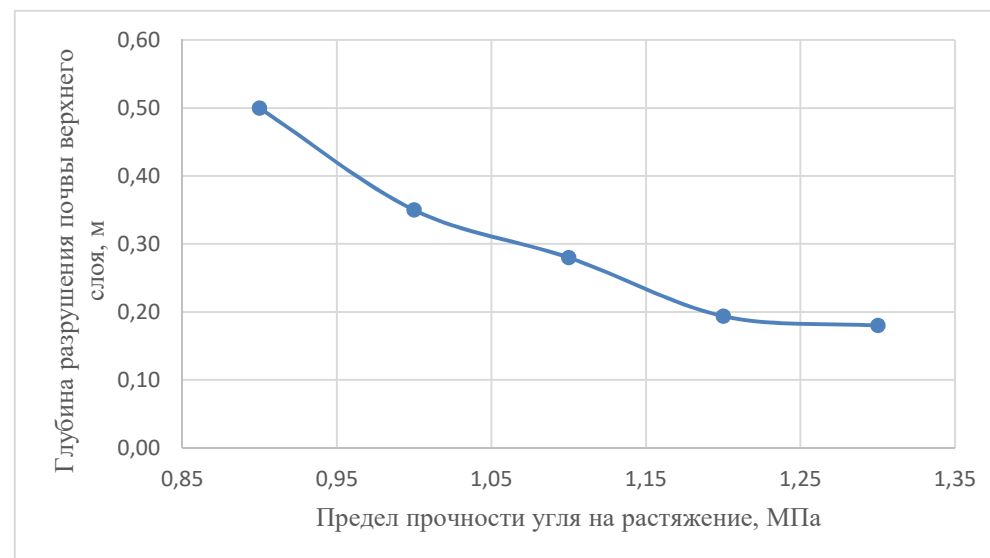
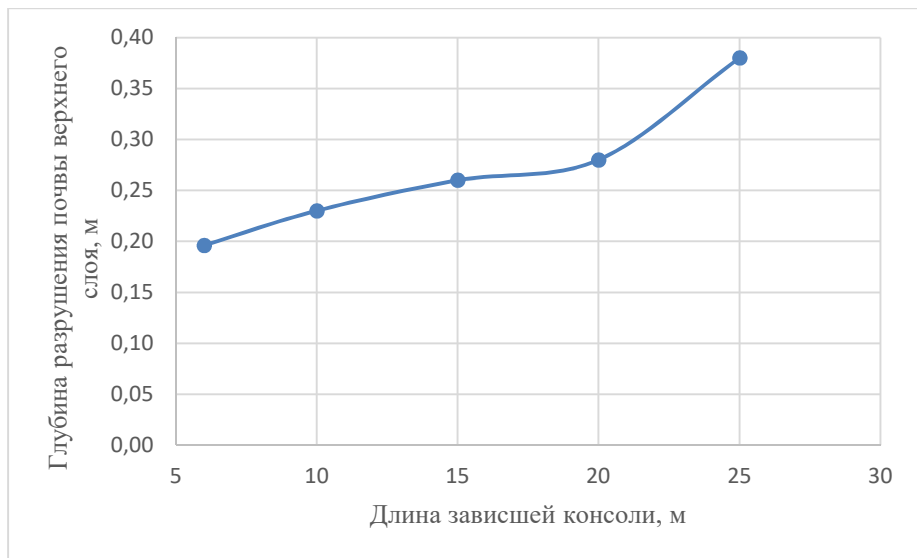


Рисунок 5 – Графики зависимости глубины разупрочнения угольного массива при его надработке лавами верхнего слоя от основных влияющих факторов