

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

На правах рукописи

Конгар-Сюрюн Чейнеш Буяновна



ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ
КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ
СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Ковальский Е.Р.

Санкт-Петербург – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СПЕЦИФИКИ ОТРАБОТКИ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ ШАХТНЫМ СПОСОБОМ.....	11
1.1 Анализ отечественного и мирового опыта разработки пологозалегающих калийных пластов.....	11
1.2 Разработка типовых схем отработки пологозалегающих калийных пластов с пониженным уровнем потерь. Область применения камерной системы разработки с периодическим оставлением опорных целиков	16
1.3 Сравнение перспективных технологий разработки пологозалегающих калийных пластов, направленных на снижение эксплуатационных потерь.....	22
1.4 Выводы по главе 1	26
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН.....	28
2.1 Компьютерное моделирование геомеханических процессов соленосного массива в зонах ведения очистных работ	28
2.2 Способы предотвращения роста напряжений в опорных целиках	36
2.2.1 Этап 1. Конфигурация междукамерных целиков	36
2.2.2 Этап 2. Закладочные работы на выемочных участках	38
2.3 Методика обоснования параметров технологии разработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах, обеспечивающей снижение потерь полезного ископаемого	44
2.4 Способ отработки пласта, обеспечивающий снижение эксплуатационных потерь.....	48
2.5 Выводы по главе 2.....	51
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕЦЕПТУР ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ НА ОСНОВЕ СОЛЕОТХОДОВ.....	53
3.1 Методика лабораторных испытаний.....	53
3.2 Определение достаточного количества образцов.....	54

3.3	Материалы для изготовления лабораторных образцов закладочных смесей и определение достаточного количества компонентов	55
3.4	Определение прочностных и деформационных свойств рекомендуемого состава закладочной смеси.....	62
3.5	Выводы по главе 3	66
ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ НА ОСНОВЕ СОЛЕОТХОДОВ.....		68
4.1	Технология выемки пологозалегающих калийных пластов с закладкой выработанного пространства и доизвлечением запасов из опорных целиков	68
4.1.1	Технология очистных работ.....	68
4.1.2	Технология закладочных работ	69
4.2	Календарный план выемки запасов.....	73
4.3	Оценка соответствия параметров технологии критериям безопасной подработки водозащитной толщи.....	76
4.4	Технико-экономическая оценка технологии доизвлечения запасов из опорных целиков	84
4.5	Выводы по главе 4.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		90
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		92
ПРИЛОЖЕНИЕ А Патент на состав закладочной смеси		110
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ по расчёту условий безопасной подработки водозащитной толщи		111
ПРИЛОЖЕНИЕ В Заявка на способ разработки калийных пластов на больших глубинах		112
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Заявка на способ разработки калийных пластов на больших глубинах		113
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Акт о промышленном внедрении результатов диссертации		114

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Средне- и долгосрочные перспективы развития калийной отрасли РФ связаны с освоением глубоких пологозалегающих или слабонаклонных пластов. Так, на руднике Гремячинского ГОКа, находящемся в настоящий момент на стадии промышленного освоения запасов, продуктивный пласт расположен на глубине ~1100 м, практически такие же порядки глубин наблюдаются на перспективных участках Непского, Ново-Гремячинского, Западно-Петриковского, Нивенского и Северо-Красноборского месторождений калийных солей, находящихся на разных стадиях предпроектных, горно-подготовительных и разведочных работ.

Специфика разработки калийных месторождений связана с высокой растворимостью соленосных пород и необходимостью предотвращения проникновения надсолевых вод в выработанное пространство рудников, что предопределяет применение на калийных рудниках камерной системы разработки. В связи с этим рост глубины разработки на рудниках РФ неразрывно связан с увеличением эксплуатационных потерь калийной руды в целиках, которые для больших глубин могут составлять более 80% по блоку.

При этом известные текущие варианты камерной системы разработки, принимаемые в качестве основных в проектах освоения перечисленных месторождений, исчерпали свои возможности по увеличению степени извлечения руды. Следовательно, существует насущная необходимость изыскания более совершенных технологий извлечения запасов калийной руды с больших глубин, без применения которых существенные объемы руды в целиках, оцениваемые в сотни миллионов тонн, будут либо безвозвратно утеряны в недрах, либо окажутся расположенными в техногенно-нарушенном массиве, что крайне усложнит их последующую доработку.

Степень разработанности темы исследования

Существенный вклад в создание эффективных технологий разработки пологозалегающих калийных пластов и способов снижения потерь руды внесли такие ученые как Проскуряков Н.М., Барях А.А., Асанов В.А., Паньков И.Л.,

Борзаковский Б.А., Папулов Л.М., Андреичев А.Н., Пермьяков Р.С., Соловьев В.А., Рыльникова М.В., Зубов В.П. и другие. Вместе с тем недостаточно изученными являются вопросы, связанные с обоснованием параметров доизвлечения запасов и условий, требуемых для реализации технологий, направленных на снижение потерь в условиях больших глубин.

Объект исследования. Технологии разработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах.

Предмет исследования. Способы снижения эксплуатационных потерь калийной руды.

Цель работы. Снижение эксплуатационных потерь руды при выемке пологозалегающих калийных пластов на большой глубине с применением камерной системы разработки, включающей периодическое оставление опорных целиков между выемочными участками.

Идея работы. Для достижения поставленной цели производят отработку опорных межучастковых целиков после выемки запасов на смежных участках с оставлением междуканнерных целиков переменной ширины и закладкой очистных камер с параметрами, ограничивающими рост горного давления на опорные целики.

Основные задачи исследований:

1. Анализ горнотехнических условий разработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах.

2. Разработка типового варианта выемки пологозалегающих калийных пластов, обеспечивающего снижение эксплуатационных потерь полезного ископаемого.

3. Исследование горно-геомеханических процессов в массиве горных пород в окрестности зон ведения очистных и закладочных работ и определение на этой основе зависимости изменения величины напряжений в опорном целике от параметров разработки смежных с ним выемочных участков.

4. Разработка методики обоснования параметров технологии отработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах, обеспечивающей снижение потерь полезного ископаемого.

5. Разработка рецептуры твердеющей закладки на основе солеотходов, способствующей снижению потерь при доизвлечении опорных целиков.

6. Техничко-экономическая оценка эффективности разработанных решений.

Научная новизна работы:

1. Установлена прямая зависимость коэффициента опорного давления в опорном целике от величины опускания кровли пласта над центром выемочного участка.

2. Установлена функциональная зависимость величины напряжений в опорном целике от вынимаемой мощности пласта, степени заполнения камер первой очереди и типа закладочного материала.

3. Установлена полиномиальная зависимость второй степени прочности закладочного массива от вида и процентного содержания его компонентов согласно разработанным рецептурам.

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины по п. 5 «Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых»; п. 7. «Способы управления состоянием подрабатываемых породных массивов, исключаяющие критические деформации земной поверхности и опасные проявления горного давления при разработке месторождений твердых полезных ископаемых и освоении подземного пространства, в том числе с использованием крепей различных конструкций».

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Установлена рациональная область применения камерной системы разработки калийных пластов в варианте с периодическим оставлением опорных межучастковых целиков.

2. Обоснованы параметры технологии доизвлечения запасов из опорных целиков, расположенных между выемочными участками, а также разработан способ одновременного ведения очистных и закладочных работ в блоке, позволяющий снизить потери полезного ископаемого. Разработанные варианты технологий защищены заявками на регистрацию патента на изобретение № 2025136780 от 18.12.2025 (Приложение В); № 2025136783 от 18.12.2025 (Приложение Г).

3. Разработана методика обоснования параметров технологии выемки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах, обеспечивающей снижение потерь полезного ископаемого.

4. Разработаны и запатентованы рецептуры закладочных смесей, обеспечивающие формирование закладочных массивов, способствующих снижению потерь полезного ископаемого в опорных целиках на величину до 63% в предложенных вариантах технологии разработки (патент на изобретение № 2834564 от 11.02.2025 (Приложение А).

5. Результаты диссертационных исследований используются в проектных и научных работах, выполняемых ООО «ПроТех Инжиниринг» для условий рудника Гремячинского ГОКа, что подтверждается актом об использовании результатов кандидатской диссертации от 17.03.2025 г (Приложение Д).

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач применены следующие методы: анализ специфики горно-геологических и горнотехнических условий разработки пологозалегающих калийных пластов и опыта разработки месторождений России и мира; численное моделирование геомеханических процессов в зонах ведения очистных и закладочных работ; визуально-инструментальные наблюдения за процессами деформирования междукамерных целиков и очистных камер в натуральных условиях; лабораторные испытания физико-механических свойств образцов закладочных массивов с целью разработки состава многокомпонентной твердеющей закладочной смеси на основе солеотходов; статистические методы обработки результатов моделирования и лабораторных испытаний.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Предпочтительным способом снижения потерь руды в блоках при выемке пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах с использованием известных камерных систем разработки является отработка опорных целиков, оставленных между смежными выемочными участками и содержащих до 45% балансовых запасов блока.

2. Безопасная выемка опорных целиков, расположенных между отработанными участками, по фактору исключения возникновения водопроводящих трещин достигается при рекомендованных параметрах системы разработки и создании в выработанном пространстве закладочных массивов, ограничивающих рост напряжений в опорных целиках за счет минимизации величины оседаний пород над выемочными участками.

3. Использование разработанной технологии выемки калийных пластов, включающей периодическое оставление в выработанном пространстве опорных целиков, закладку выработанного пространства по предлагаемой рецептуре и последующее доизвлечение опорных целиков, позволяет снизить эксплуатационные потери в опорных целиках в условиях Гремячинского месторождения на величину до 63%.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается применением комплексного метода, включающего анализ и сопоставление результатов работы с предметными исследованиями ученых РФ и мира; использованием современных апробированных методов исследований, включающих компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния массива и лабораторные испытания на поверенном оборудовании; удовлетворительной сходимостью результатов лабораторных и численных исследований; подтверждением основных выводов и рекомендаций с данными натурных наблюдений и экспертными оценками ведущих специалистов в области разработки калийных месторождений.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях: XI Форум вузов

инженерно-технологического профиля Союзного государства, Минск, 2022; Международный научный симпозиум «Неделя Горняка», Москва, 2023, 2024, 2025; Научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение», Санкт-Петербург, 2023, 2024; Международная научная школа молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», Москва, 2023, 2025; IX Международная научно-практическая конференция «Горная и нефтяная электромеханика – 2023: актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования», Пермь, 2023.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; анализе зарубежных и отечественных научно-технических источников; проведении численных исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород при реализации предлагаемой технологии; проведении лабораторных исследований физико-механических свойств образцов закладочных массивов по предложенным рецептурам; установлении зависимости изменения величины давления на опорный целик от параметров отработки смежных участков и параметров закладочного массива; разработке вариантов технологических схем и методики определения параметров рекомендуемой технологии разработки пологозалегающих калийных пластов, обеспечивающей снижение потерь полезного ископаемого; анализе результатов шахтных исследований; формулировании защищаемых положений; подготовке публикаций по теме исследования.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 11 печатных работах (пункты списка литературы № 18, 43, 45, 46, 48, 49, 51, 53, 81, 101, 114), в том числе в 1 статье – 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, в 8 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации

программы для ЭВМ, зарегистрированы 2 заявки на изобретение (Приложения А - Г, пункты списка литературы № 27-28, 69, 86).

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 128 наименований. Диссертация изложена на 115 страницах, содержит 36 рисунков и 11 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность коллективу кафедры разработки месторождений подземным способом за помощь в выборе направления для исследований и сотрудникам лаборатории Научного центра геомеханики и проблем горного производства за помощь в проведении лабораторных исследований.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СПЕЦИФИКИ ОТРАБОТКИ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ ШАХТНЫМ СПОСОБОМ

1.1 Анализ отечественного и мирового опыта разработки пологозалегающих калийных пластов

Калийные соли представляют собой важнейшие виды минеральных удобрений, играющих ключевую роль в обеспечении плодородия почв и повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Калий является одним из трех основных элементов питания растений наряду с азотом и фосфором. Он способствует улучшению качества продукции, повышению устойчивости растений к болезням и неблагоприятным погодным условиям, а также ускоряет процессы фотосинтеза и усвоение питательных веществ [6, 30].

Кроме того, калийные соли относятся к категории стратегических полезных ископаемых. Их добыча и переработка имеют большое значение для экономики многих стран, включая Россию, Беларусь и Канаду, являющихся ведущими производителями калийных удобрений [29]. Эти ресурсы обеспечивают продовольственную безопасность государств, способствуя развитию сельского хозяйства и удовлетворению потребностей населения в продуктах питания высокого качества. Таким образом, калийные соли играют важную роль в поддержании устойчивого развития агропромышленного комплекса и укреплении национальной экономики.

Обязательным условием безаварийной эксплуатации калийных месторождений является сохранение сплошности водозащитной толщи (ВЗТ), изолирующей выработанное пространство подземного комплекса от водоносных горизонтов [9, 32, 57, 85, 103].

Специфика отработки калийных месторождений шахтным способом связана со следующими основными аспектами [46, 48]: а) легкая растворимость в воде добываемой руды и вмещающих пород, что предопределяет применение на абсолютном большинстве месторождений камерных систем разработки с удержанием кровли на рудных целиках; б) высокая пластичность/текучесть соляных пород, вследствие чего деформирование несущих элементов системы

разработки (междукамерных целиков, междупластовых потолочин, кровли камер) неостановимо и необратимо развивается во времени в режиме установившейся ползучести, пусть даже и с небольшой скоростью (квазистатично); в) достаточно низкий предел длительной прочности соляных пород, который для сильвинитов может составлять всего 35% от мгновенной прочности, а для карналлитов – 20%; г) относительно невысокая стоимость конечного продукта, что затрудняет внедрение более дорогостоящих технологий с закладкой выработанного пространства на основе цементного вяжущего. По этим причинам добыча калийной руды в мире характеризуется одними из самых низких коэффициентов извлечения среди всех твердых полезных ископаемых (зачастую не превышает 35%), а также весьма высокой аварийностью, связанной с разрушением несущих элементов системы разработки, нарушением сплошности водозащитной толщи и прорывами в выработанное пространство надсолевых вод и рассолов, что только в редких случаях не приводит к полной потере рудника.

Выбор применяемой системы разработки на калийных месторождениях производится с учетом необходимости обеспечения сохранности ВЗТ на весь срок эксплуатации рудника, необходимости повышения полноты извлечения полезного ископаемого из недр и технико-экономической эффективности реализации проекта [16].

По итогам выполненных научно-исследовательских работ [43, 51, 92] было определено, что сплошная или камерно-столбовая системы разработки, являющиеся более совершенными с точки зрения полноты извлечения запасов, сложно применимы для условий калийных месторождений, залегающих на большой глубине.

Анализ опыта разработки пологозалегающих калийных пластов России и мира [8, 33, 87, 102] показал, что в основном на рудниках применяется камерная система разработки (таблица 1).

Таблица 1 - Наиболее распространённые системы разработки, применяемые при отработке пологих калийных пластов (по данным автора)

Система разработки	Примеры	Характерная область применения
Камерная система с удержанием кровли на податливых целиках	Верхнекамское месторождение; Карлсбадское месторождение в США; некоторые участки Старобинского месторождения в Республике Беларусь	Область применения различается; в настоящее время не применяется на больших площадях ввиду сложности управления процессом деформирования и разрушения междукамерных целиков и опасности для пород ВЗТ
Камерная система с удержанием кровли на жестких целиках	Действующие рудники Верхнекамского месторождения	ВЗТ представлена соляными и известняковыми породами; мощность ВЗТ до 70-100 м и более; относительно небольшая глубина залегания продуктивных пластов
Камерная система с удержанием кровли на комбинации междукамерных и жестких опорных межучастковых целиков	Рудники Саскачеванского (Канада) месторождения; Гремячинское месторождение	ВЗТ представлена соляными и известняковыми породами; мощность ВЗТ до 30-50 м и более; большая глубина залегания продуктивных пластов, где исключительное применение жестких целиков приводит к завышенным потерям
Камерная система с частичной/полной закладкой камер	Потенциально опасные участки действующих рудников Верхнекамского месторождения; новые участки Верхнекамского месторождения; Гремячинское месторождение; Нивенское месторождение (в перспективе)	Область применения различается; закладка направлена на повышение надежности условий подработки ВЗТ; применяется в качестве дополнительных мер охраны подрабатываемых объектов на потенциально опасных участках
Система разработки длинными столбами с полным обрушением кровли (сплошная выемка)	Рудники Старобинского месторождения в Республике Беларусь; Наваррское месторождение в Испании; Эльзасское месторождение во Франции	В состав ВЗТ входят мощные напластования глин; мощность ВЗТ от 150 м; выдержанная гипсометрия пластов

При этом наиболее распространен вариант с оставлением в выработанном пространстве жестких протяженных междукамерных целиков (МКЦ, рисунок 1а) без закладки или с закладкой, которая достаточно эффективно обеспечивает сохранность ВЗТ [42, 79]. Время службы таких целиков может измеряться десятками и даже сотнями лет, однако, такой способ управления кровлей, направленный на обеспечение условий безопасной подработки ВЗТ, характеризуется высокими эксплуатационными потерями полезного ископаемого. Поэтому системы разработки с оставлением жестких целиков применяются при относительно небольшой глубине залегания продуктивных пластов (обычно ограничивают глубиной до 500–600 м).

Если же размеры целиков недостаточны, то, в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, несущие элементы системы разработки могут деформироваться с различными скоростями, терять устойчивость и разрушаться [41, 44, 72, 122]. Об этом убедительно свидетельствует история освоения соляных месторождений в различных странах мира [7, 70, 119, 120]: Верхнекамского в России (опыт затопления рудника БКПРУ-3 вследствие оставления податливых целиков), Саскачеванского в Канаде, Сент-Поль в Конго, Солотвинского и Стебниковского на Украине, по данной причине была прекращена работа на десятках соляных рудников в Германии.

Деятельность горнодобывающих предприятий неразрывно связана с вовлечением в отработку все новых участков месторождений, что сопровождается увеличением глубины ведения горных работ. Значительной глубиной разработки характеризуется Гремячинское месторождение, продуктивные пласты которого залегают на глубине ~1100 м, практически такие же порядки глубин наблюдаются на перспективных участках Ново-Гремячинского (1090÷1350 м), Нивенского (1084÷1190 м), Северо-Красноборского (840÷950 м), Непского (1030÷1300 м), Западно-Петриковского (630÷833 м) месторождениях [6].

Повышение горного давления с глубиной разработки приводит к увеличению размеров целиков. Необходимость поддержания кровли жесткими целиками вступает в противоречие с растущими требованиями к полноте извлечения запасов.

Недропользователи вынуждены снижать коэффициент извлечения до обоснованных пределов (в ряде случаев более 80%) и применять щадящую технологию для сохранения безопасных условий подработки ВЗТ. Практический опыт отработки соляных залежей свидетельствует о том, что эксплуатационные потери полезных ископаемых в целиках (как на российских, так и на зарубежных рудниках) составляют ~50-80 % балансовых запасов обрабатываемых участков [34, 89], то есть извлекается только около ~30 % балансовых запасов, остальные остаются в недрах без реальных перспектив их извлечения в обозримом будущем. Потери балансовых запасов при затоплении рудников составляют сотни миллионов тонн.

С целью обеспечения безопасной и эффективной разработки проекты новых калийных рудников включают требование применения технологии закладки выработанного пространства [2, 12, 53, 71]. Причинами широкого развития этих систем на отечественных и зарубежных рудниках явились необходимость увеличения извлечения полезных ископаемых из недр, возможность сохранения подрабатываемой поверхности, налегающей толщи пород при работе под водоносными горизонтами, а также повышение интенсивности горных работ при увеличении глубины разработки.

Наибольшая эффективность достигается при использовании твердеющей закладки, представляющей собой смесь инертных материалов с вяжущими компонентами, которые, взаимодействуя с водой, образуют массив определённой прочности [53, 80, 100].

Опыт разработки калийных рудников показывает, что экономия на закладочных работах несравнима с финансовыми потерями при затоплении рудника [34, 115]. По оценочным расчетам, в результате затопления рудника с утвержденными запасами на 20 лет отработки, недополученная прибыль составляет около 60 млрд. руб. Согласно матрице оценки последствий техногенных рисков [117], вероятность затопления рудника, характеризуемая частотой от 1 до 0,1 раза в год и финансовым ущербом предприятия более 100 млн долларов, следует отнести к очень высокому риску, который требует немедленного

внедрения мероприятий по его снижению и повышенного внимания со стороны недропользователя. В связи с высокими рисками затопления необходимость совершенствования технологий с закладкой выработанного пространства, несомненно, оправдана.

Таким образом, в настоящее время имеется объективная тенденция перехода на технологию с твердеющей закладкой при разработке месторождений калийных солей на больших глубинах с целью уменьшения эксплуатационных потерь полезного ископаемого. Это обуславливает актуальность поиска таких технологий подземной разработки, которые обеспечат высокую полноту выемки запасов и безопасные условия ведения горных работ.

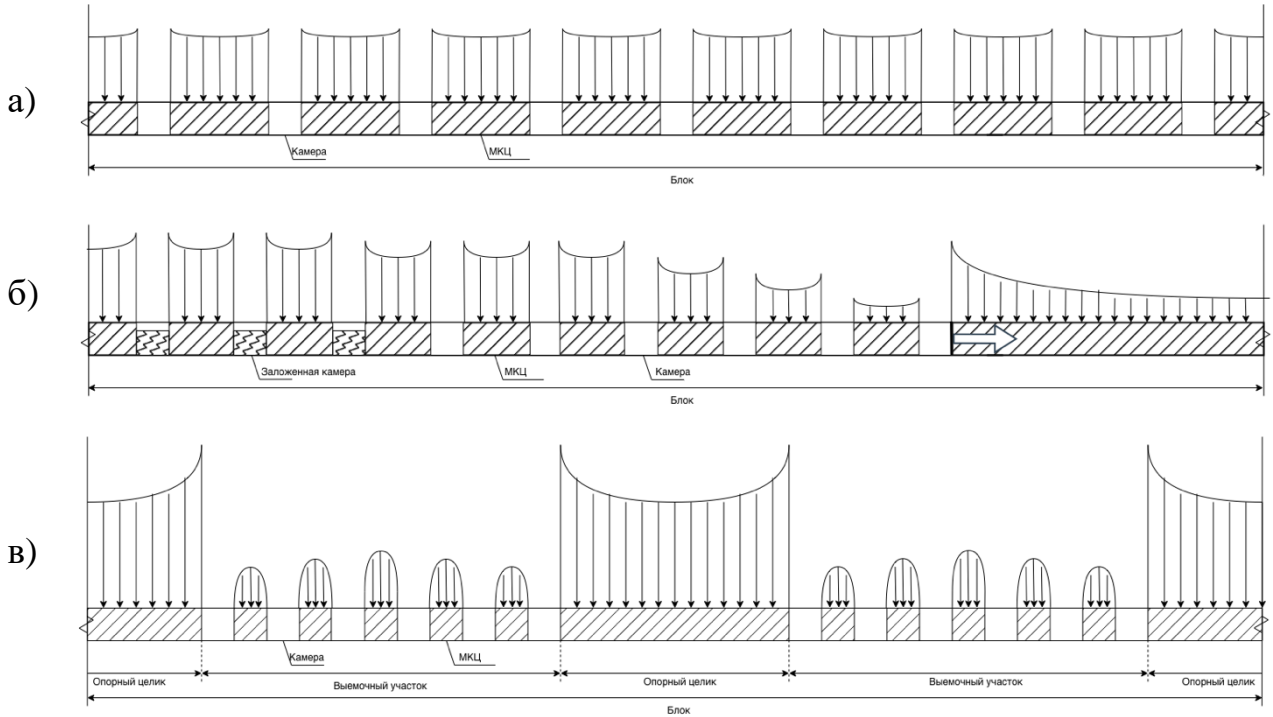
1.2 Разработка типовых схем отработки пологозалегающих калийных пластов с пониженным уровнем потерь. Область применения камерной системы разработки с периодическим оставлением опорных целиков

Традиционно увеличение извлечения сильвинита при применении закладки выработанного пространства происходит преимущественно за счёт уменьшения ширины целиков (рисунок 1б). Как известно, закладка увеличивает несущую способность целиков путем создания сил отпора [17, 59, 126]. Таким образом, закладывая камеры, целики могут иметь меньшую ширину. Однако следует заметить, что при таком способе необходимо четкое согласование темпов отставания закладочных работ от очистных [26, 81], которое может быть установлено путем сравнения достигнутых деформаций междукамерных целиков с критической величиной, учитывая текущие скорости горизонтальной конвергенции очистных камер, а также сроки набора прочности закладочного материала [40, 98, 99]. На большой глубине, где скорость деформирования пород высокая, значительное отставание закладочных работ, например, вследствие технических причин, от очистных будет снижать безопасность данного способа и создаст опасные условия ведения горных работ на участке.

Более совершенным в этом смысле является вариант с периодическим оставлением опорных межучастковых целиков (ОЦ) повышенной ширины (рисунок 1в). Здесь по сравнению с предыдущим вариантом система является более

безопасной и управляемой, так как наличие ОЦ нивелирует эту проблему. ОЦ, рассчитанные на удержание полного столба вышележащих пород, обеспечивают безопасность работ на выемочных участках и безопасные условия подработки ВЗТ даже в случае разрушения МКЦ на выемочном участке.

Варианты камерной системы разработки



Варианты камерной системы разработки с последующим доизвлечением запасов

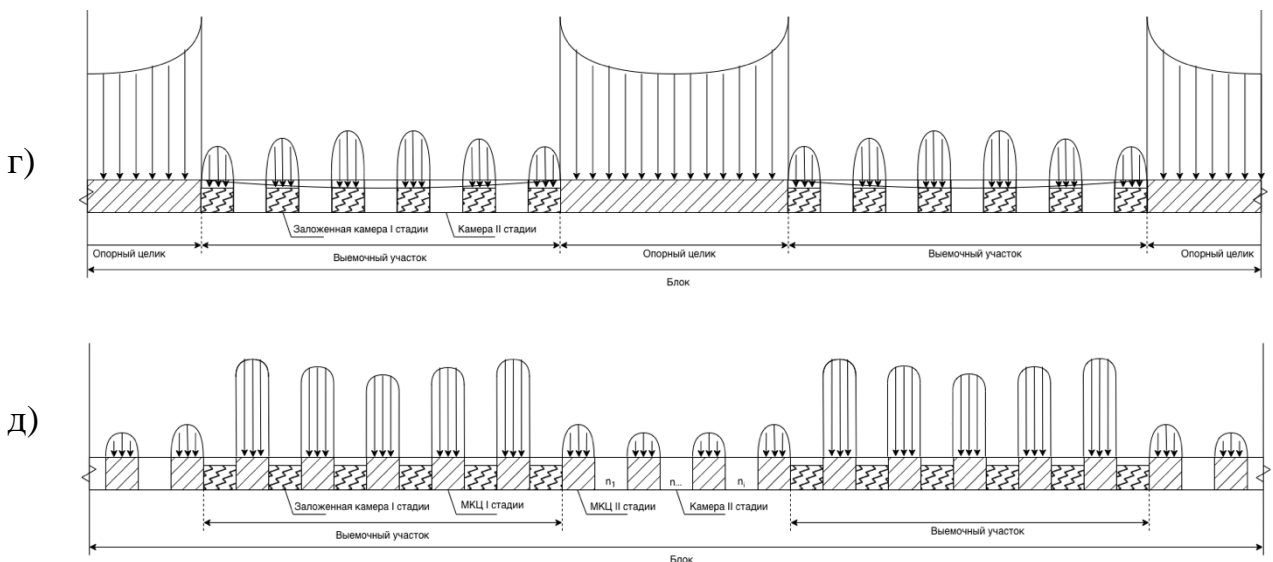


Рисунок 1 – Варианты камерных систем разработки калийных пластов (эпюры напряжений показаны схематично): а) с оставлением МКЦ; б) с уменьшенной шириной МКЦ; в) с оставлением МКЦ и ОЦ; г) доизвлечение МКЦ; д) доизвлечение ОЦ (составлено автором)

Помимо этого, данная схема на больших глубинах позволяет добиться определенного снижения уровня потерь уже на первой стадии [51]. В этом варианте технологической схемы блок делится на выемочные участки, между которыми оставляют ОЦ, ширина которых рассчитана на восприятие основной нагрузки от веса полного столба пород до поверхности, а междукамерные целики, расположенные в пределах выемочного участка, испытывают эффект частичной разгрузки от напряжений.

На рисунке 2 приведены расчётные графики зависимости эксплуатационных потерь полезного ископаемого от глубины ведения горных работ (для типовых условий разработки) для распространенного варианта отработки пласта с оставлением в пределах блока только МКЦ (рисунок 1а, система 1) и рассматриваемого варианта с оставлением в пределах блока МКЦ и ОЦ (рисунок 1в, система 2).

Второй вариант (система 2) в условиях больших глубин демонстрирует преимущество по объему извлечения на ~8-12%.

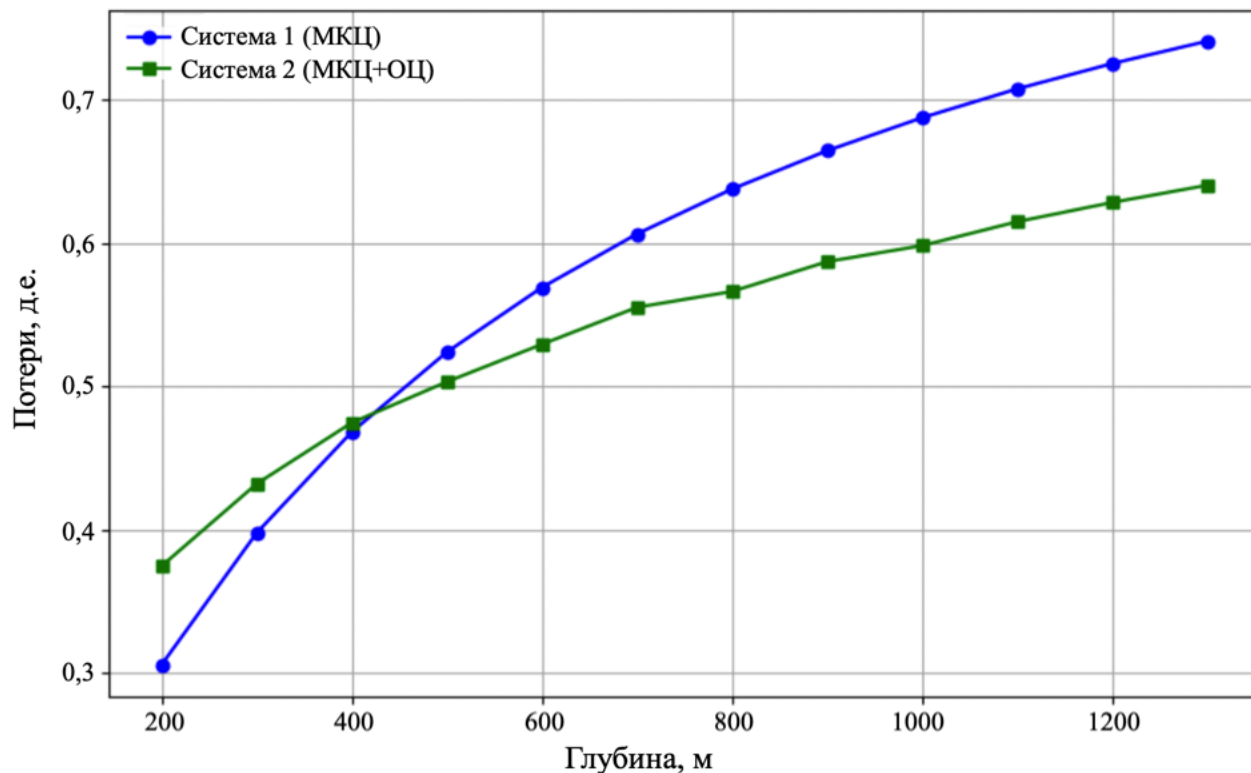


Рисунок 2 – Изменение величины потерь в зависимости от глубины ведения горных работ (составлено автором)

В целях установления рациональной области применения технологии с привлечением метода Монте-Карло [13, 125] было проведено сравнение двух вариантов систем разработки и определена вероятность того, что система 2 имеет бóльшие потери, чем система 1 (рисунок 3) при следующих варьируемых показателях: глубина (200÷1300 м с шагом 100 м), вынимаемая мощность (5÷20 м с шагом 1 м), ширина выемочного участка для второй системы (50÷200 м с шагом 50 м). Было сгенерировано 10 000 различных сценариев и для каждого сценария рассчитана величина потерь для обеих систем.

Результаты сравнения показывают, что при глубинах залегания продуктивных пластов до 500 м целесообразно применение системы разработки с оставлением МКЦ одинаковой ширины по всему блоку. С дальнейшим увеличением глубины вероятность превосходства второй системы возрастает, что доказывает целесообразность применения варианта отработки с периодическим оставлением ОЦ между выемочными участками.

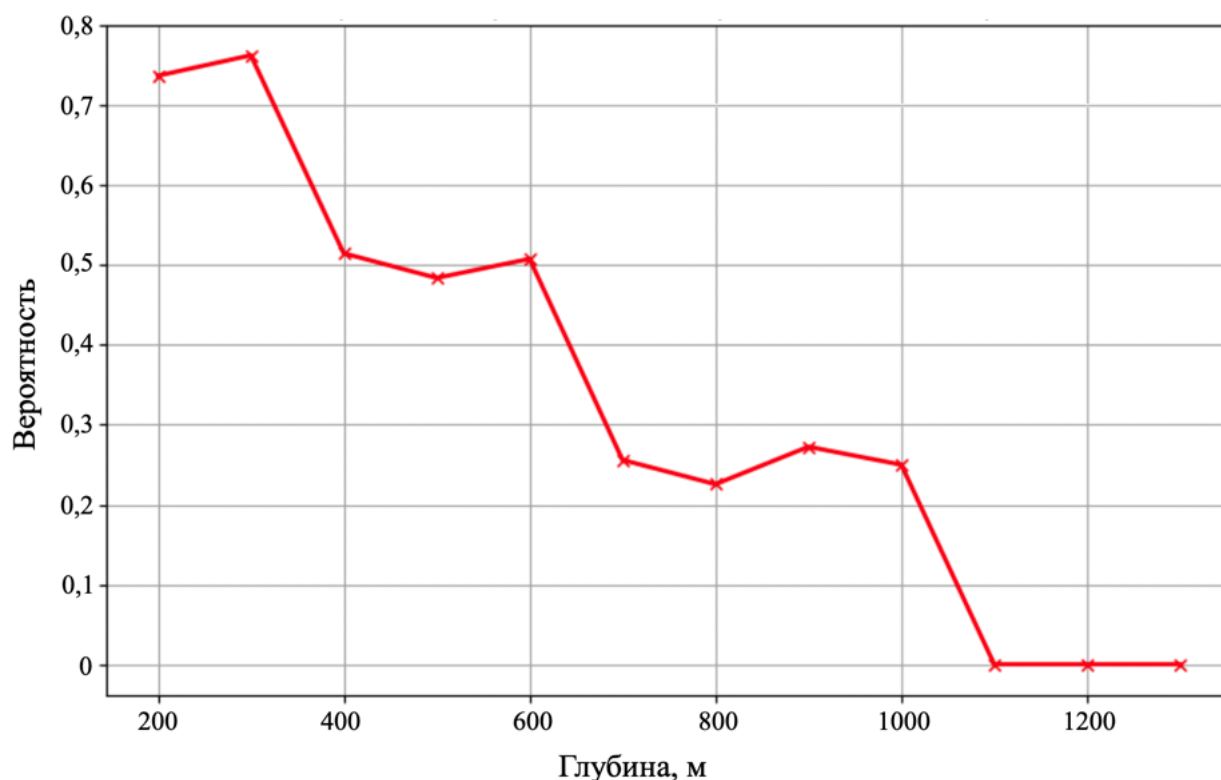


Рисунок 3 – Вероятность преобладания потерь в системе 2 (МКЦ+ОЦ) по сравнению с системой 1 (МКЦ) в зависимости от глубины разработки (составлено автором)

Таким образом, исходя из результатов сравнения двух систем, можно сделать вывод, что рациональной областью применения системы разработки с периодическим оставлением опорных межучастковых целиков является глубина ведения горных работ 500÷1300 м.

Необходимо подчеркнуть, что в ОЦ может быть заключено до 45% балансовых запасов блока в зависимости от конкретных условий разработки. Рисунок 4 иллюстрирует изменение средней доли запасов в ОЦ в зависимости от глубины залегания пласта. Увеличение глубины приводит к росту ширины ОЦ, о чем свидетельствует основная линия средней доли запасов. Светло-голубая зона характеризует разброс данных вокруг основной линии, возникающий из-за варьируемых параметров горно-геологических условий.

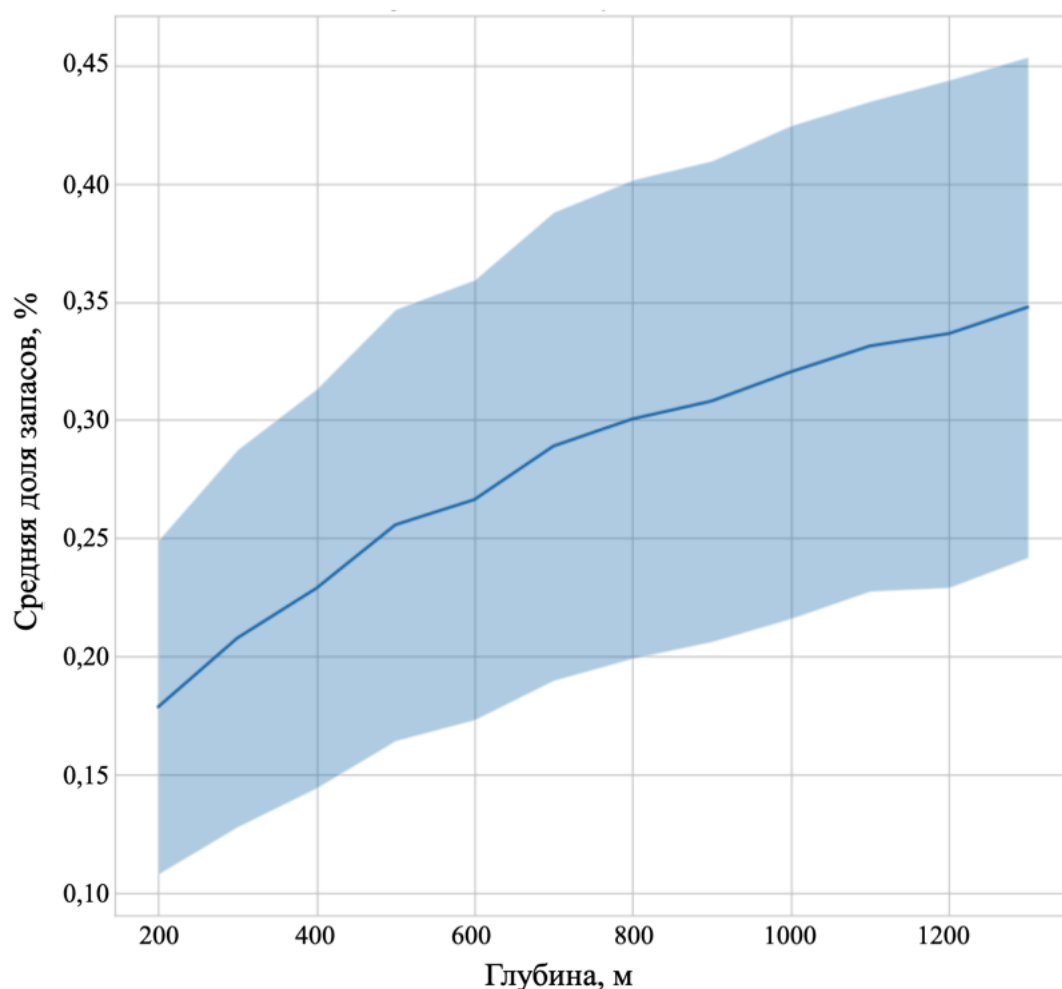


Рисунок 4 – Доля запасов, оставленных в опорных целиках, в зависимости от глубины разработки (составлено автором)

Следует отметить, что анализ проектной документации отработки одного из калийных месторождений России позволил подсчитать величину оставляемых запасов в опорных целиках. В таблице 2 приведен расчет средних значений эксплуатационных потерь по отдельным обрабатываемым панелям и панелям долгосрочного периода отработки. В целом, рассчитанные результаты согласуются с результатами смоделированных сценариев. Таким образом, система разработки с оставлением ОЦ и МКЦ является более предпочтительной для больших глубин.

Таблица 2 – Оставляемые запасы в опорных целиках (по данным автора)

Панель, м	Глубина отработки, м	Вынимаемая мощность, м	Ширина ОЦ, м	Потери, д.е.	Запасы в ОЦ, д.е.
1 ЗП	1084	3,1÷7,6	23	0,636	0,381
2 ЗП	1172	4,9÷8,1	25	0,747	0,611
3 ЗП	1125	3,1÷7,4	26	0,535	0,282
4 ЗП	1199	3,3÷16	36	0,753	0,494
5 ЗП	1215	11,4	67	0,707	0,297
6 ЗП	1228	14,3	72	0,738	0,344
7 ЗП	1233	7,4	52	0,650	0,257
8 ЗП	1252	10,1	61	0,702	0,302
9 ЗП	1328	4,6	43	0,589	0,212
10 ЗП	1245	8,4	55	0,666	0,277
12 ЗП	1311	7,2	38	0,637	0,354
1 ВП	1099	10,3÷13,4	38	0,688	0,438
2 ВП	1166	7,5÷13,6	42	0,686	0,405
4 ВП	1172	7,3÷10,7	34	0,785	0,642
6 ВП	1183	9,1÷19,6	43	0,776	0,582
8 ВП	1182	14÷19	64	0,819	0,599
10 ВП	1239	18,2	87	0,773	0,360
11 ВП	1246	13,1	52	0,720	0,436
12 ВП	1256	11,2	65	0,713	0,310
13 ВП	1320	8,8	59	0,678	0,296

Тем не менее, в целиках все равно остаются существенные объемы эксплуатационных потерь. Изыскание путей дальнейшего их снижения следует производить за счёт решения вопроса о вовлечении в отработку запасов, сосредоточенных в оставляемых целиках, путем внедрения двустадийной выемки, реализующей принцип доизвлечения запасов из оставленных МКЦ и/или ОЦ (вторая стадия) после отработки запасов выемочного участка (первая стадия) с

обеспечением необходимых мер охраны подрабатываемых водоносных горизонтов в виде закладки выработанного пространства.

1.3 Сравнение перспективных технологий разработки пологозалегающих калийных пластов, направленных на снижение эксплуатационных потерь

Задача рационального использования и увеличения показателей извлечения полезных ископаемых является одной из базовых в недропользовании. Технология применения закладки выработанного пространства позволяет контролировать процесс перераспределения напряжений в массиве при правильной организации горных работ [50, 101, 118].

Как было подытожено в разделе 1.2, система разработки с оставлением ОЦ и МКЦ является более предпочтительной по фактору снижения эксплуатационных потерь с перспективой дальнейшего извлечения запасов из ОЦ или МКЦ.

В целях геомеханической оценки возможности доизвлечения МКЦ в программном комплексе FLAC [76] разработана численная модель [45], включающая междукамерный целик и смежные с ним заложенные камеры, и учитывающая реологическое поведение соляных пород [36, 95] и компрессионные свойства закладочного массива [118, 128].

Граничные и начальные условия, а также геометрические параметры модели [90, 91] и физико-механические свойства материалов отвечают типовым обобщенным условиям разработки калийных пластов. На основе модели построена характерная кривая изменения напряжений в поперечном сечении МКЦ с течением времени (рисунок 5, 6).

Показано, что наличие закладочного массива в камерах в первый продолжительный период существования МКЦ приводит к повышенному уровню его напряженного состояния в силу наличия сил бокового отпора (реакции) закладочного массива. Это обстоятельство негативно скажется на безопасности горных работ при доизвлечении МКЦ в этот период.

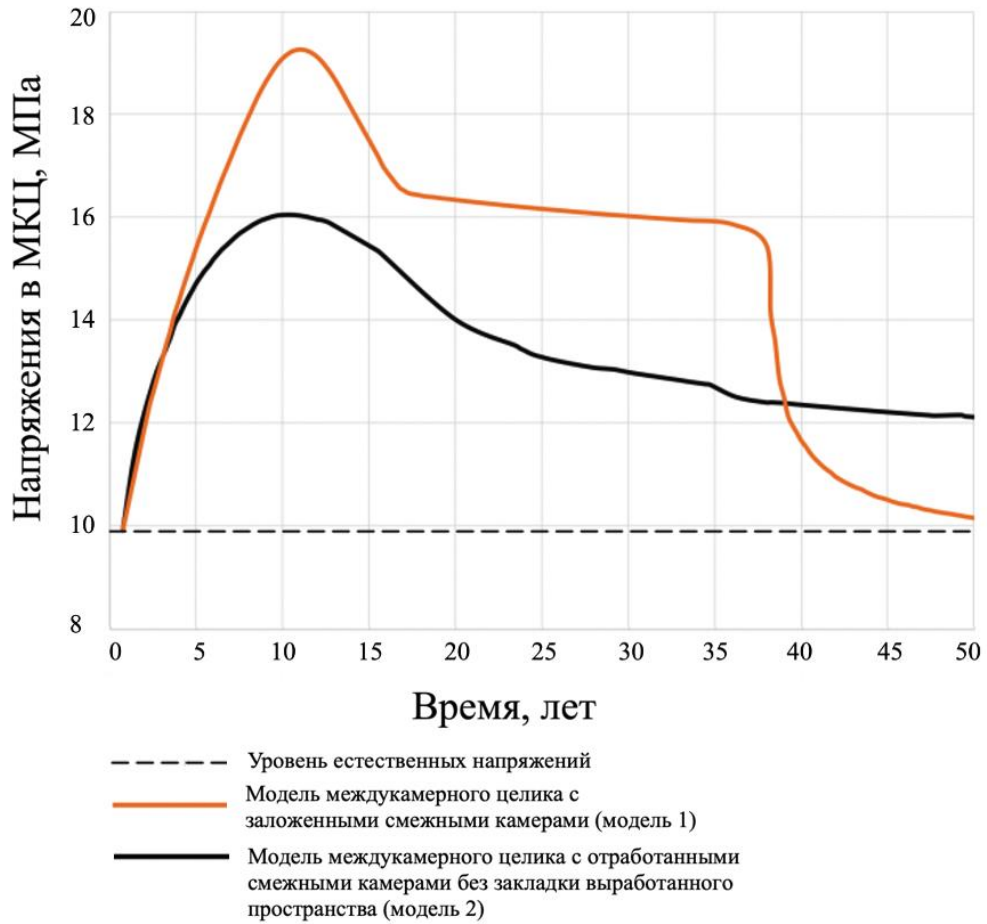


Рисунок 5 – Характерная кривая изменения напряжений в поперечном сечении МКЦ с течением времени (составлено автором)

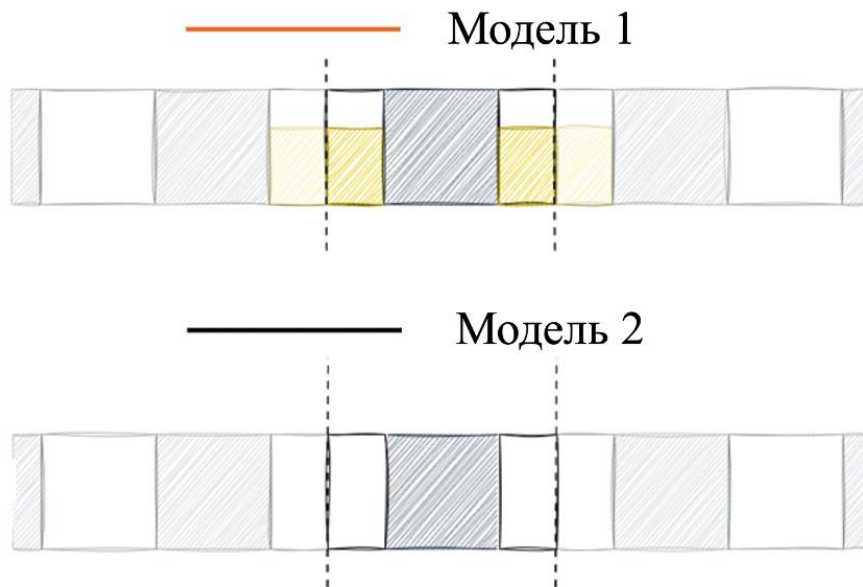


Рисунок 6 – Графическое представление исследуемых моделей (модель 1 – с закладкой камер; модель 2 – без закладки камер) (составлено автором)

Разгрузка МКЦ от напряжений до естественного состояния (и, соответственно, обеспечение безопасных условий его доизвлечения) наступает только через продолжительный отрезок времени, оцениваемый в ~25-35 лет после отработки камер (в зависимости от конкретного набора влияющих факторов), что физически объясняется вязкопластическим поведением соляных пород и постепенным закрытием полостей недозаклада в кровле камер и началом передачи нагрузки от вышележащих пород собственно на закладочный массив.

При этом, как показывают опытно-поисковые работы по отработке оставленных более 40 лет назад запасов на рудниках Старобинского месторождения [20, 73], а также некоторые результаты исследований физико-механических пород техногенно-сформированных пластов Верхнекамского месторождения, выполненных специалистами ИГД УрО РАН спустя 37 лет после окончания добычных работ [95, 96], доизвлечение запасов из МКЦ сопровождается рядом геомеханических проблем, к числу которых относятся повышенные нагрузки в целиках, а также наличие полостей, трещин, расслоений, приводящих в вывалам, динамическим просадкам, снижению устойчивости массива, что сказывается на безопасности проведения выработок на этих участках.

Исходя из выполненного анализа можно сделать вывод, что вариант доизвлечения запасов из МКЦ (рисунок 1г) не обеспечивает должной безопасности ведения горных работ.

Кроме того, при отложенном во времени доизвлечении МКЦ возникают технико-экономические проблемы. В основном экономический ущерб от откладывания сроков разработки на отдалённую перспективу возникает из-за необходимости восстановления старых или проведения новых подготовительных выработок, о чем свидетельствуют результаты визуально-инструментальных наблюдений за процессами деформирования междукамерных целиков и очистных камер на одном из калийных месторождений России, где выработки приходят в неэксплуатационное состояние уже через 1–2 года после окончания очистных работ [47, 74].

Укрупненная оценка экономического ущерба [105, 110] может быть представлена в виде сравнения систем с отложенным доизвлечением запасов из МКЦ (рисунок 1з) и с доизвлечением запасов из ОЦ (рисунок 1д) по следующим формулам (1), (2):

$$NPV_{\Delta} = \sum_{t=0}^T \frac{CF_{1,t}}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{CF_{2,t}}{(1+r)^t} \quad (1)$$

где NPV_{Δ} – разность чистых приведенных стоимостей (разница в эффективности между сравниваемыми вариантами), руб.;

t – индекс года от начала реализации проекта ($t = 0$ - текущий год, $t = 1$ – следующий год, и т.д.);

T – горизонт планирования, лет;

$$CF_{i,t} = P_{i,t} \cdot Q_{i,t} - C_{i,t}, \quad (2)$$

где $CF_{i,t}$ - чистый денежный поток проекта i в году t (разница между доходами и расходами), руб.;

PQ – выручка от реализации продукции, руб.;

P – рыночная цена на полезное ископаемое (цена 1 т хлористого калия), руб/т;

Q – объем добычи (производство хлористого калия), т;

C – полные затраты (проходка и поддержание выработок, закладочные работы и материалы), руб.;

r – ставка дисконтирования (норма доходности, отражающая альтернативную стоимость капитала, риски проекта и инфляцию), %;

В таблице 3 приведены укрупненные расчеты основных экономических показателей для сравнения варианта с извлечением запасов из МКЦ (вариант 1) и дополнительной отработкой ОЦ (вариант 2) на срок, равный отработке одной панели.

Укрупненная оценка экономической эффективности рассчитана в виде величины, равной разности чистых приведенных стоимостей сравниваемых вариантов. Результаты расчетов основных экономических показателей доказывают, что относительная эффективность варианта 2 выше по сравнению с вариантом 1.

Таким образом, можно сделать вывод, что выемка опорных целиков в 1,5 раза прибыльнее отложенного доизвлечения запасов из МКЦ.

Таблица 3 – Экономическая оценка отложенного доизвлечения запасов из ОЦ (по данным автора)

Показатель	Ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2
P_0	руб/т	34 257	34 257
PQ	млн руб	145 712	169 918
Q	млн т	3,6	4,2
C	млн руб	2 962	10 285
r	%	13	13
T	лет	26	12
NPV	млн руб	55 327	84 185
NPV_{Δ}	млн руб	28 858	

Из сказанного следует, что рационального решения вопроса снижения потерь за счёт доизвлечения МКЦ достичь в период срока службы блока невозможно – в частности, из-за того, что не обеспечиваются разумные (минимальные) сроки отставания работ по извлечению запасов МКЦ от основных работ по выемке запасов участка. В связи с этим предложено снижать потери в выемочных блоках за счет отработки опорных межучастковых целиков, так как их выемку возможно осуществлять одновременно с ведением добычных работ в пределах одного блока (рисунок 1з).

Возможность одновременного ведения очистных работ на выемочных участках и в ОЦ в пределах блока обеспечивается за счёт предотвращения роста нагрузки на ОЦ (опорного давления) путём ограничения максимальных оседаний кровли на смежных с ним выемочных участках, что достигается определенной конфигурацией МКЦ и параметрами ведения закладочных работ при отработке камер первой очереди.

1.4 Выводы по главе 1

1. Применяемые в настоящее время камерные системы разработки калийных руд характеризуются высокими эксплуатационными потерями. При этом, как

показывает проведенный анализ отечественного и мирового опыта, предлагаемые различными исследователями технические решения не могут обеспечить быстрый переход к доизвлечению оставленных запасов.

2. С целью решения вопросов, связанных с ресурсосбережением, наиболее перспективным направлением исследований является внедрение технологии доизвлечения запасов с применением закладки выработанного пространства.

3. Рационального решения вопроса снижения потерь за счёт доизвлечения междукамерных целиков достичь в период срока службы блока невозможно – в частности, из-за того, что не обеспечиваются разумные сроки отставания работ по извлечению запасов междукамерных целиков от основных работ по выемке запасов участка.

4. В условиях больших глубин (более 500 м) наиболее целесообразно использование камерной системы разработки с периодическим оставлением опорных целиков между смежными выемочными участками. Данный способ обеспечивает более высокие показатели извлечения по сравнению с камерной системой разработки с оставлением междукамерных целиков постоянной ширины.

5. Результаты моделирования и анализ проектной документации одного из калийных месторождений России позволили сделать вывод, что в оставляемых опорных целиках заключено до 45% балансовых запасов блока.

6. Дальнейшее снижение эксплуатационных потерь в выемочных блоках возможно за счет отработки опорных межучастковых целиков при создании в выработанном пространстве закладочных массивов с параметрами, ограничивающими рост опасных напряжений в опорных целиках за счет минимизации величины оседаний пород над выемочными участками.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН

2.1 Компьютерное моделирование геомеханических процессов соленосного массива в зонах ведения очистных работ

Ввиду отложенных сроков возможного доизвлечения запасов из МКЦ, в работе рассматривается способ отработки опорного целика, так как его реализация возможна при одновременном ведении очистных и закладочных работ на участке, обеспечивающая минимальные сроки отставания доизвлечения запасов. При этом степень возможного доизвлечения запасов из опорных целиков (количество пройденных в них камер второй стадии, см. рисунок 1д) и безопасность работ по доизвлечению зависит от степени нагружения ОЦ.

Для прогноза геомеханических процессов использовалось компьютерное моделирование, с помощью которого была построена модель (плоскодеформированная постановка, упругопластический закон деформирования) для типовых условий разработки пологозалегающих калийных пластов.

Для обоснования применимости разработанного способа применяется метод численного моделирования, выполненного при помощи программного комплекса компании Rocscience [77], предназначенной для моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния массива при ведении горных работ. Программа может быть использована для решения широкого круга инженерных задач, в том числе и для принятия проектных решений при разработке месторождений, так как позволяет эффективно и менее трудозатратно получать результаты в сравнении, например, с методами физического моделирования. Программа позволяет быстро создавать и анализировать сложные, многостадийные задачи [104].

Моделируется плоский фрагмент камерной системы разработки с опорными целиками, включающий породы кровли, почвы и основной пласт, представленный чередованием междукамерных целиков на выемочном участке и опорный целик

между выемочными участками. Модель симметрична, поэтому при численном моделировании рассматривается половина ширины опорного целика и половина ширины выемочного участка (рисунок 7).

Смоделирована закладка камер с заданными прочностными и деформационными свойствами при разной степени заполнения камер.

На боковых границах модели запрещены перемещения по горизонтальной оси, на нижней границе – по вертикальной. К верхней границе прикладывается нагрузка от веса вышележащих пород. Начальное напряженное состояние массива принимается гидростатическим.

Для моделирования приняты и использованы усредненные значения прочностных и деформационных свойств соляных пород, слагающих моделируемый разрез.

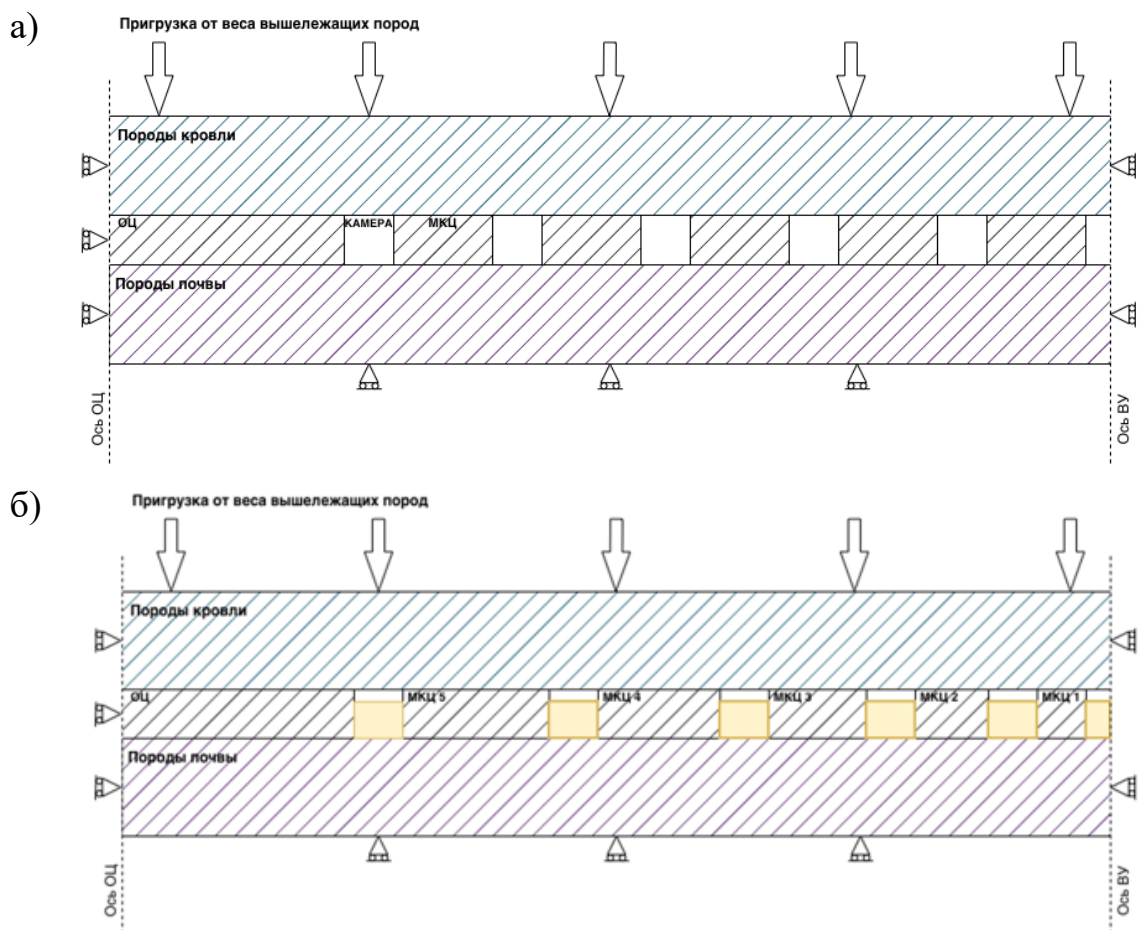


Рисунок 7 - Геометрия исследуемой горно-геомеханической модели:

а) без закладки камер; б) с закладкой камер (составлено автором)

Анализ напряженно-деформированного состояния массива проводился для условий мощности пластов 9 метров. Анализ научной литературы установил, что этот показатель является средней проектной вынимаемой мощностью пластов известных калийных месторождений России, залегающих на глубине более 500 м и находящихся на разных стадиях горноподготовительных и разведочных работ [6, 25].

В работах [4, 67, 123] установлено, что соляные целики деформируются пластично, в результате чего происходит постепенное заполнение выработанного пространства камер вплоть до создания нового сплошного техногенного массива. Максимальное оседание кровли чаще всего составляет от 30 до 40 % от вынимаемой мощности и зависит от отношения площади целиков к общей площади выемочного участка. В этой связи для оценки временного фактора в работе использовался такой параметр как величина опускания кровли в центре выемочного участка.

Для выявления зависимости опускания кровли от времени были использованы результаты визуально-инструментальных наблюдений за процессами деформирования междукамерных целиков и очистных камер на одном из калийных месторождений России, а также источники научной литературы [54, 55, 94, 121].

Лабораторные исследования ползучих свойств соляных пород позволили аппроксимировать скорости деформации ползучести от времени. Кривые аппроксимации имеют вид (3) [65]:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_e \cdot (1 + \alpha \cdot t^\beta) + \varepsilon_0, \quad (3)$$

где $\varepsilon(t)$ - величина деформации в момент времени t , д.ед.;

ε_e - упругая деформация, д.ед.;

ε_0 - начальная деформация, д.ед.;

α и β – константы;

t - время.

Большое распространение в области исследования пород с ярко-выраженными реологическими свойствами получило уравнение ползучести

Нортон-Бейли [63, 109, 112]. По сути константы α и β составляют суть модели ползучести Нортон-Бейли, которая явным образом выражает деформации от времени и широко применяется для инженерных расчетов. В классической форме уравнение ползучести Нортон-Бейли выглядит следующим образом (4):

$$\varepsilon = A \cdot \sigma^n \cdot t^m, \quad (4)$$

где ε – скорость деформации в условиях объемного нагружения;

σ – действующее напряжение;

t – время;

A, n, m – параметры, определяемые из экспериментов на ползучесть в условиях трехосного сжатия.

Очевидно, что константа m соответствует константе β , а комбинация $A \cdot \sigma^n$ соответствует константе α . Здесь константы α и β для прикладных расчетов необходимо масштабировать на произвольные условия.

Результаты наблюдений за оседаниями кровли в очистных камерах на месторождении, продуктивные пласты которого залегают на глубине 1100 м, показывают, что оседания кровли в первый год после очистных работ могут достигать более 360 мм.

Оседания, соответствующие концу процесса сдвижения, определялись по формулам (5), (6):

$$\eta = 0,9 \cdot m \cdot \omega \quad (5)$$

$$\omega = \frac{a}{a + b} \quad (6)$$

где m означает вынимаемую мощность пласта, м;

ω – коэффициент извлечения руды, который вычисляется через ширину очистных камер a и ширину междокамерных целиков b .

Полученные по зависимости (5) оседания кровли представлены на рисунке 8 в виде прогнозных графиков нарастания оседаний, где приняты усредненные значения $\alpha=0,13$ и $\beta=0,175$.

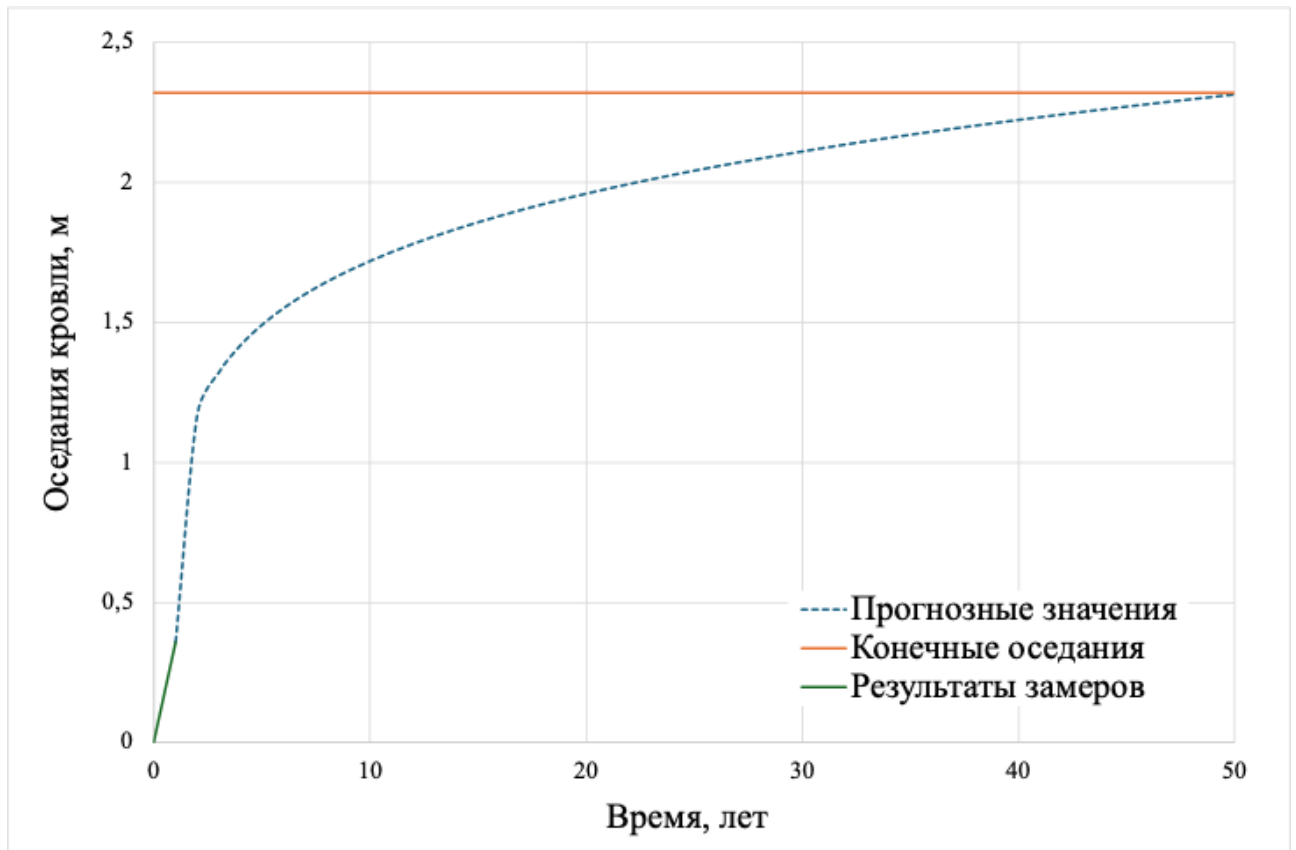


Рисунок 8 – Графики нарастания оседаний кровли (составлено автором)

С целью оценки изменения действующих напряжений в опорном целике с течением времени искусственно менялась степень податливости целиков, которая регулировалась выведенными значениями оседаний.

Калибруя модель по величине оседаний кровли (рисунок 9), можно проследить за изменениями напряжений в опорных целиках (рисунок 10). Анализируя полученные графики распределения напряжений по ширине опорного целика, можно сделать вывод, что с увеличением оседаний кровли выемочного участка, увеличиваются напряжения в опорном целике. Таким образом, согласно результатам построенной модели, напряжения в опорных целиках спустя год превышают уровень естественных напряжений в 1,7 раза, и в дальнейшем продолжают увеличиваться.

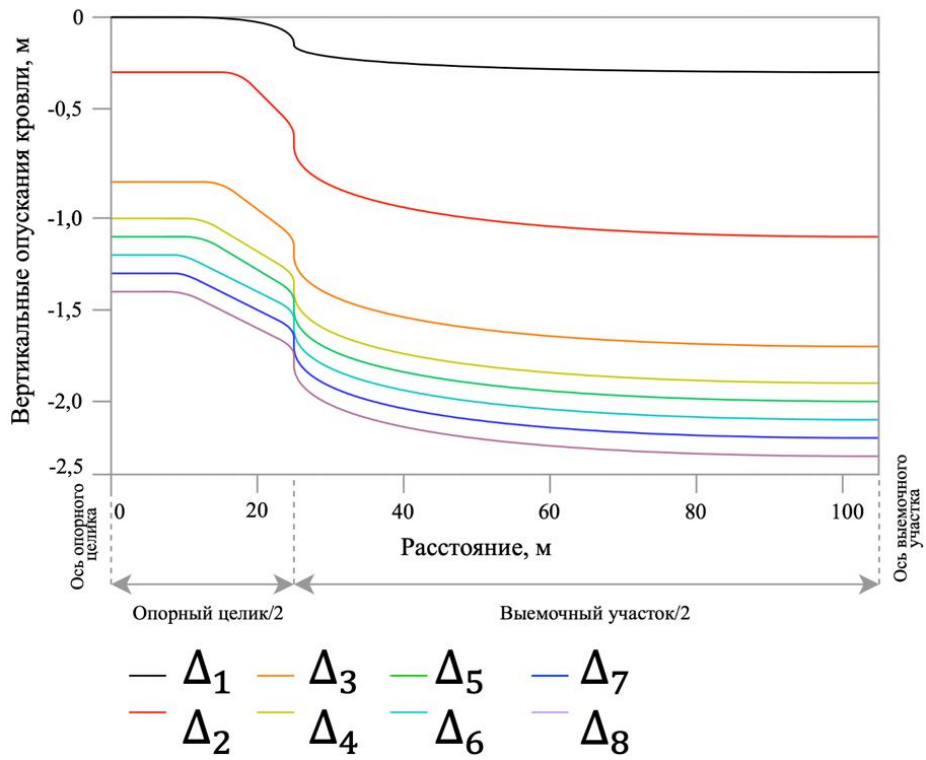


Рисунок 9 – Опускания кровли выемочного участка (составлено автором)

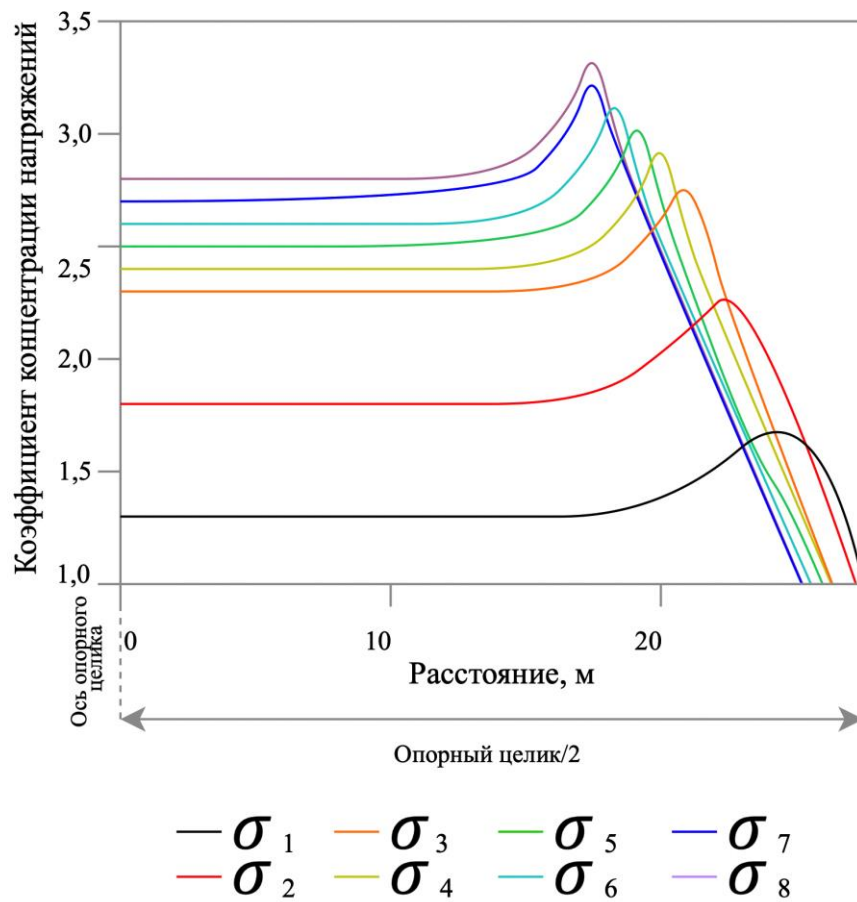


Рисунок 10 – Напряжения в опорном целике (составлено автором)

Согласно полученной эпюре распределения напряжений по сечению опорного целика в краевых участках наблюдается концентрация напряжений, максимальные значения которых в 1,4–1,7 раза больше средних. При решении вопросов о доизвлечении запасов необходимо ориентироваться именно на уровень максимально действующих напряжений в опорном целике, так как именно эти зоны повышенных напряжений создают сложности при расчете достаточной ширины оставляемых междукламерных целиков второй очереди.

Для исследуемых условий была получена линейная (прямая) зависимость коэффициента концентрации напряжений в опорном целике от величины опускания кровли на выемочном участке (рисунок 11) с величиной достоверности $R^2 = 0,99$ (7):

$$\sigma_k = 7,96 \cdot \Delta + 1,0 \quad (7)$$

где σ_k – коэффициент концентрации напряжений;

Δ - оседание кровли, м;

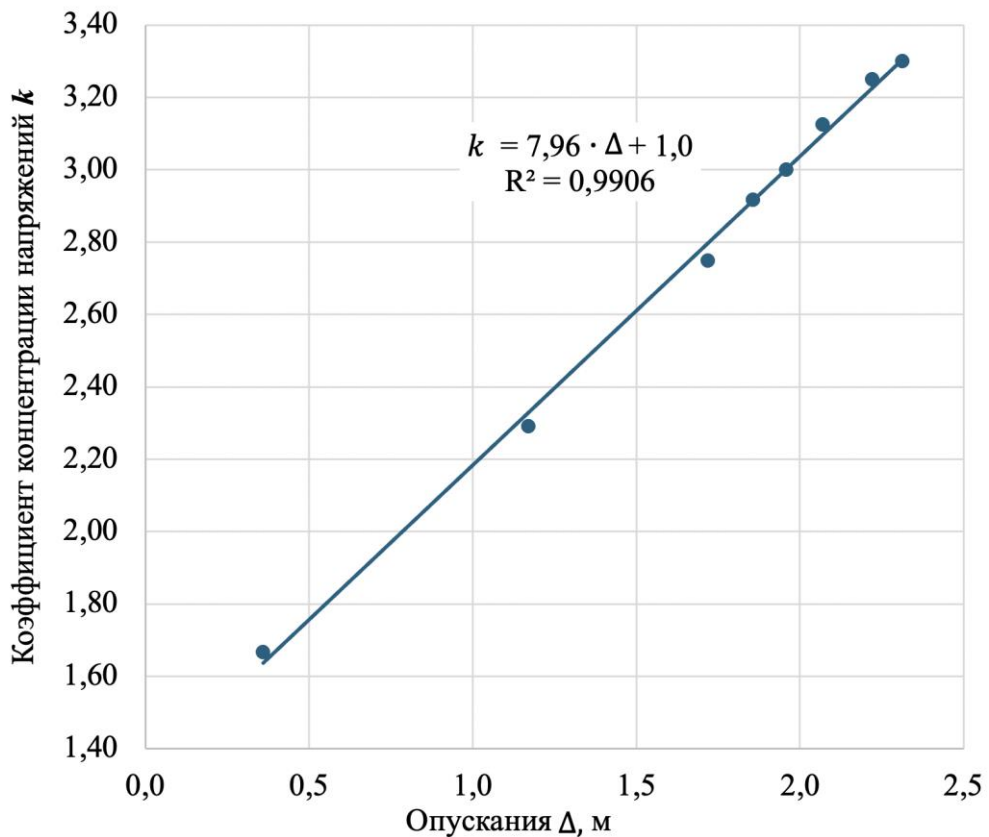


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента концентрации напряжений от опусканий кровли в центре выемочного участка (составлено автором)

Область действия зависимости максимальных напряжений в опорном целике от опускания кровли была расширена и исследована для диапазона мощностей от 5 до 20 м. Полученные результаты могут быть интерпретированы путем использования зависимости (8) и введения поправочного коэффициента N (9), зависящего от вынимаемой мощности пласта m .

Коэффициент N (9) с величиной достоверности $R^2 = 0,9906$ был вычислен путем обработки результатов численного моделирования. При этом необходимо учитывать, что расчетная схема подразумевает увеличение ширины опорного целика при увеличении вынимаемой мощности в соответствии с требованиями минимальной степени нагружения опорного целика.

$$\sigma_k = N \cdot \Delta + 1 \quad (8)$$

$$N = 0,0132 \cdot m^2 - 0,2086 \cdot m + 8,7692 \quad (9)$$

Отслеживая динамику деформирования пласта во времени, можно оценить величину действующих напряжений в опорном целике по вышеприведенным зависимостям.

Увеличение сроков между очистными и закладочными работами приводит к более высоким напряжениям в опорных целиках, а также к более сложным работам по закладке камер.

Результаты визуально-инструментальных наблюдений на месторождении за процессами деформирования междукамерных целиков и очистных камер свидетельствуют о том, что выработки приходят в неэксплуатационное состояние уже через 1-2 года после окончания очистных работ. Исследования других ученых [54, 127] по изучению целиков и камер на глубоких соляных месторождениях показывают, что обрушение стенок целиков происходит примерно через 250 суток после отработки камеры. Однако на этих участках не велись закладочные работы. Закладка камер снижает скорость деформирования пласта [81, 101], снижается величина опускания кровли и соответственно, предотвращается рост напряжений в опорном целике. Очевидно, что чем меньше этот период, тем лучше, однако необходимо увязать процесс очистных и закладочных работ технологически во времени и в пространстве [35, 39, 60, 93].

2.2 Способы предотвращения роста напряжений в опорных целиках

Степень возможного доизвлечения запасов из опорных целиков (количество пройденных в них камер второй стадии, см. рисунок 1д) и безопасность работ по доизвлечению зависит от степени нагружения ОЦ.

Для оценки действующих в ОЦ напряжений при разных горнотехнических и горно-геологических условиях разработан ряд конечно-элементных моделей, в которых в представительных диапазонах варьировались параметры: ширина ОЦ, ширина выемочного участка, мощность пласта, ширина МКЦ, физико-механические свойства пород и закладочных массивов, глубина ведения горных работ.

2.2.1 Этап 1. Конфигурация междукамерных целиков

На первом этапе исследований оценивалось распределение напряжений в ОЦ при следующих вариантах конфигурации МКЦ на смежных с опорным целиком выемочных участках (рисунок 12):

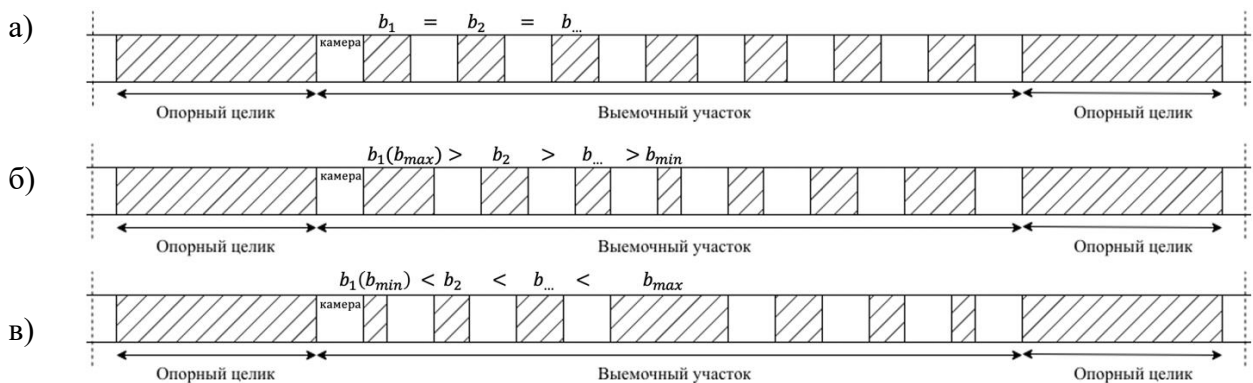


Рисунок 12 - Варианты конфигурации МКЦ при отработке камер первой очереди на выемочных участках: b_n – ширина МКЦ на выемочном участке;

b_{min} – минимальная ширина МКЦ; b_{max} – максимальная ширина МКЦ

(составлено автором)

- при оставлении МКЦ одинаковой ширины, т.е. при классической схеме (вариант А, «базовый», рисунок 12а);

- при оставлении МКЦ с увеличением их ширины от центра к краям выемочного участка (вариант Б, «сравниваемый», рисунок 12б);

- при оставлении МКЦ с уменьшением их ширины от центра к краям выемочного участка (вариант В, «сравниваемый», рисунок 12в).

При этом коэффициент извлечения на участке (количество камер и их ширина) оставался во всех вариантах одинаковым, а влияние закладочных работ не оценивалось.

На основе численного анализа установлено, что при прочих равных условиях, вариант Б обеспечивает наибольшее снижение напряжений в опорных целиках (рисунок 13) за счет выполаживания кривой оседаний по ширине выемочного участка.

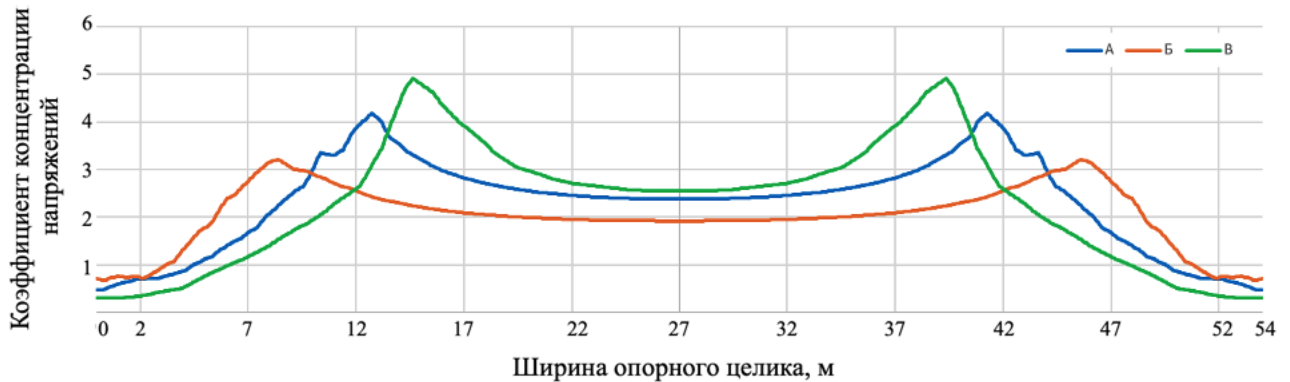


Рисунок 13 – Пример распределения напряжений по ширине опорного целика при разных вариантах конфигурации МКЦ (составлено автором)

Дополнительно сравниваемые варианты были проверены по коэффициенту запаса прочности (Strength Factor) [106], на основе которого установлено, что вариант Б не снижает уровень запаса прочности несущих элементов системы разработки, что удовлетворяет требованиям безопасности (рисунок 14).

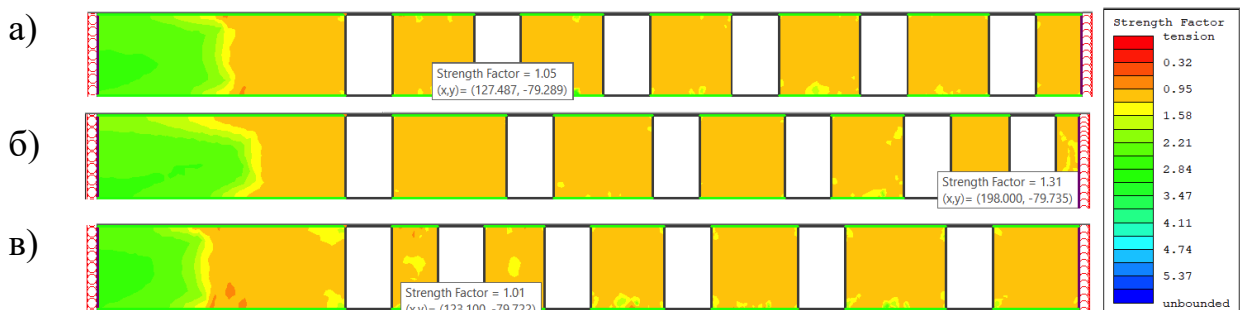


Рисунок 14 – Поле коэффициента запаса прочности при разных вариантах конфигурации МКЦ (составлено автором)

Таким образом, наличие зоны с переменной шириной целиков, увеличивающейся от центра к краям выемочного участка, обеспечивает наибольшее снижение напряжений в опорных целиках за счет выполаживания кривой оседаний по ширине выемочного участка, а также уменьшает их величину в краевой части на границе опорного целика и выемочного участка (в самой опасной зоне с точки зрения образования секущих водопроводящих трещин).

В связи с этим вариант Б конфигурации МКЦ был принят как основной для предлагаемого типового варианта технологии разработки пологозалегающих калийных пластов.

Минимальная ширина МКЦ b_{min} определяется по степени его нагружения исходя из сроков отставания закладочных работ в блоке от очистных и рассчитывается по известным нормативным эмпирическим зависимостям.

Ширина промежуточных МКЦ b_n увеличивается линейно от центра к границам выемочного участка, при этом средняя степень нагружения МКЦ на выемочном участке C_{cp} должна соответствовать максимально разрешенному нормативной документацией значению (10):

$$C_{cp} = \frac{\sum b_n \cdot C_n}{\sum b_n} \quad (10)$$

Полная методика расчета переменной ширины междукламерных целиков на выемочном участке изложена в разделе 2.3 настоящей работы.

2.2.2 Этап 2. Закладочные работы на выемочных участках

На втором этапе исследований моделировалось влияние параметров закладочных массивов, возводимых на выемочных участках в камерах первой стадии, на напряженное состояние ОЦ в варианте Б [27]. При исследовании влияния параметров закладочных массивов на напряженное состояние опорного целика варьировались такие параметры как вынимаемая мощность пласта, степень закладки камер и деформационно-прочностные характеристики закладочных массивов.

Действующие напряжения в опорном целике для диапазона исследованных условий при ведении закладочных работ в предлагаемом варианте *Б* можно найти по формуле (11):

$$\sigma_{\text{оц}} = k \cdot \sigma_{\text{ест}}, \quad (11)$$

где $\sigma_{\text{ест}}$ – естественный уровень напряжений;

k – полученная на основе численных моделей зависимость для оценки действующих в ОЦ напряжений $\sigma_{\text{оц}}$, имеющая вид (12):

$$k = A \cdot x^{-B}, \quad (12)$$

где x – степень заполнения камер;

A и B – эмпирические коэффициенты (рисунок 15, для вынимаемой мощности 9 м), зависящие от конкретных параметров разработки смежных участков (A – функция от деформационных свойств закладочных массивов; B – функция от вынимаемой мощности пласта).

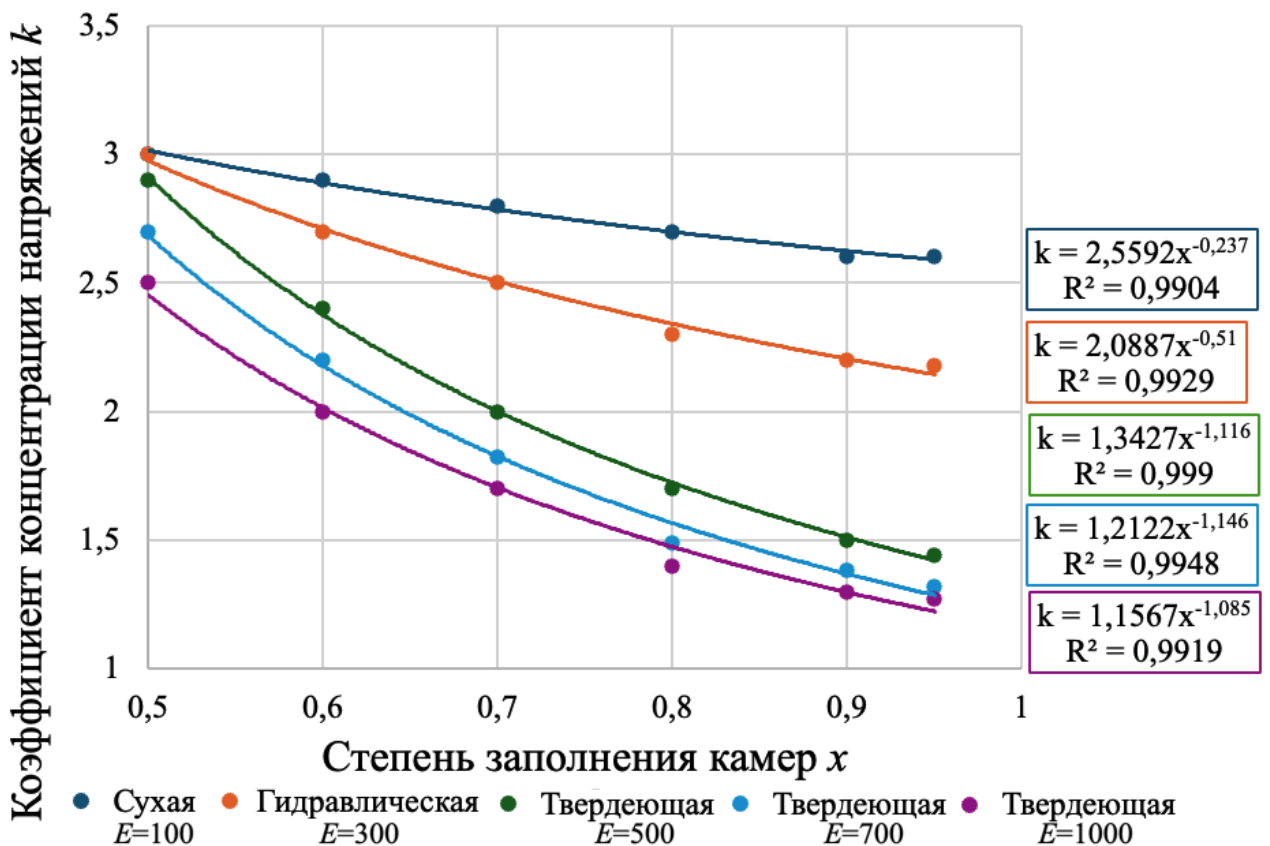


Рисунок 15 – Влияние закладки камер первой очереди на напряженное состояние опорного целика (составлено автором)

Коэффициент A выражается полиномиальной функцией второй степени с величиной достоверности $R^2=0,99$, зависящей от модуля упругости E (МПа) закладочного массива (13):

$$A = 0,000002 \cdot E^2 - 0,0042 \cdot E + 2,8386 \quad (13)$$

Влияние свойств закладки при заполнении камер на распределение напряжений велико, поэтому достаточно сложно выделить единый коэффициент, который бы зависел только от вынимаемой мощности. В этой связи показатель степени B может быть выражен в виде зависимости (14) от вынимаемой мощности пласта m (м) и усредненного показателя типа закладки X :

$$B = X \cdot m^{-0,33} \quad (14)$$

где X – коэффициент, зависящий от типа закладки (2,3 – для твердеющей, $R^2=0,89$; 1,81 – для гидравлической, $R^2=0,79$; 0,68 – для сухой, $R^2=0,83$).

В частности, для типовых условий разработки калийных месторождений при залегании продуктивных пластов на глубине 1100 м и средней вынимаемой мощности 9 м, расчетное значение эмпирической функции при оставлении МКЦ по варианту B и применении твердеющей закладки составит $k = 1,27$, а без реализации данных технологических решений $k = 3,25$.

Заполняя камеры первой очереди, создается монолитная конструкция, которая разгружает опорный целик от «будущих» напряжений и опорный целик может оставаться с пониженными напряжениями.

Уровень напряжений в опорном целике зависит от параметров закладочных массивов. В работе [31] показано, что неполная «сухая» закладка камер не оказывает влияния на устойчивость целиков. Этот же факт подтверждается измерениями, проведенными в настоящей работе. Гидравлическая закладка несколько улучшает ситуацию, однако не позволяет в полной мере реализовать потенциал предлагаемой технологии. Извлечь максимально возможное количество камер в опорном целике можно только с использованием твердеющей закладки [108].

Количество камер второй очереди и ширина оставляемых между ними целиков будет рассчитываться исходя из действующих напряжений после закладки камер первой очереди $\sigma_{\text{оц}}$.

Суть предлагаемой зависимости (11) можно обосновать применительно к условиям калийных пластов, залегающих на большой глубине 1100 м, где средняя вынимаемая мощность пласта 9 м. Ширина выемочного участка 160 м. Расчетная ширина опорного целика 54 м. Теоретически действующий уровень естественных напряжений составляет $\sigma_{\text{ест}} = \gamma H = 24$ МПа. Коэффициент концентрации напряжений, действующих после закладки камер определяют по формуле (12), исходя из условий отработки пласта и свойств закладочного материала.

На рисунке 16 приведены результаты моделирования на границе участка «опорный целик – камера» при вынимаемой мощности пласта 9 м для пограничных условий коэффициента заполнения камеры (максимальный и минимальный коэффициент заполнения 0,9 и 0,5).

При применении сухой закладки ($E=100$) с уровнем заполнения камер 0,5, коэффициент концентрации напряжений $k = 3$. Максимальные напряжения в опорном целике после закладочных работ составляют 72 МПа. В данном случае пройти камеры второй очереди с соблюдением условий безопасной подработки ВЗТ не представляется возможным.

При использовании гидравлической закладки ($E=300$) с заполнением камер $A=0,7$, $k = 2,5$, что соответствует напряжениям ~ 58 МПа. В данном случае можно отработать опорный целик одной камерой с оставлением целиков шириной 24,4 м. При невозможности реализации высокой степени закладки камер необходимо применение более жесткой закладочной смеси. Например, при параметрах $E=700$ и заполнении камеры 0,7, расчетное значение $k = 1,8$, действующие напряжения ~ 43 МПа. В данном случае можно отработать опорный целик двумя камерами с оставлением целиков шириной 14,6 м. Таким образом, варьируя параметрами закладочной смеси и степенью закладки камер, можно регулировать напряжениями в опорном целике при немедленном заложении камер первой очереди.

Тип закладочного
материала/
Коэффициент
заполнения

Уровень вертикальных напряжений, МПа

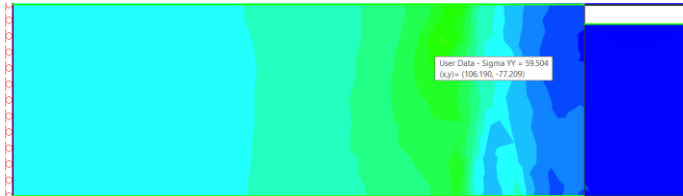
Сухая / 0,5

72



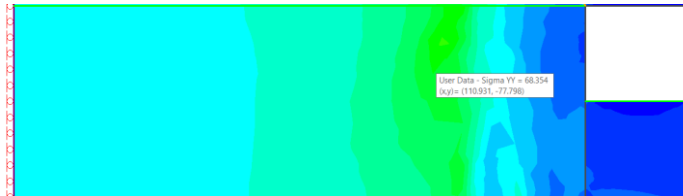
Сухая / 0,9

59



Гидравлическая /
0,5

68



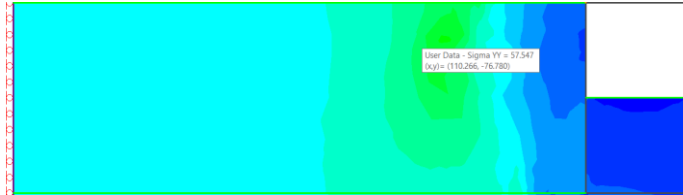
Гидравлическая /
0,9

53



Твердеющая / 0,5

57



Твердеющая / 0,9

25

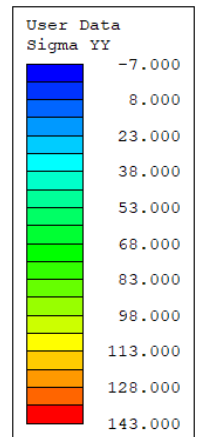


Рисунок 16 - Поле вертикальных напряжений в краевой части опорного целика
(составлено автором)

Максимальный коэффициент извлечения достигается при использовании твердеющей закладки с модулем упругости $E=1000$ при коэффициенте заполнения камер $A=0,9$. В таком случае напряжения приближены к уровню естественных, что позволит отработать опорный целик пятью камерами с оставлением целиков шириной 4,7 м.

Закладка камер по мере их отработки является критически важным моментом с точки зрения обеспечения устойчивого состояния массива. Если же закладка

камер производится в условиях деформированного пласта, в котором уже сформировались повышенные напряжения, прогнозирование изменения напряженно-деформированного состояния массива становится более сложным из-за необходимости разгрузки целиков, учета текущего состояния горных пород и нелинейных характеристик закладочного материала, что ведет к повышенной неопределенности в оценке геомеханических процессов [24, 116]. Проведение закладочных работ в начальный период до начала активных процессов деформирования пласта исключает необходимость разгрузки опорного целика. Таким образом, преимущество одновременной закладки камер заключается в предотвращении повышения опорного давления и исключении отложенных сроков доизвлечения запасов из опорных целиков.

Основываясь на результатах численного моделирования и на требованиях действующих нормативно-технических документов, регламентирующих ведение горных работ на калийных рудниках, разработана методика (раздел 2.3) расчета параметров предлагаемой технологии выемки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах со сниженными эксплуатационными потерями руды, алгоритм которой приведен на рисунке 17.

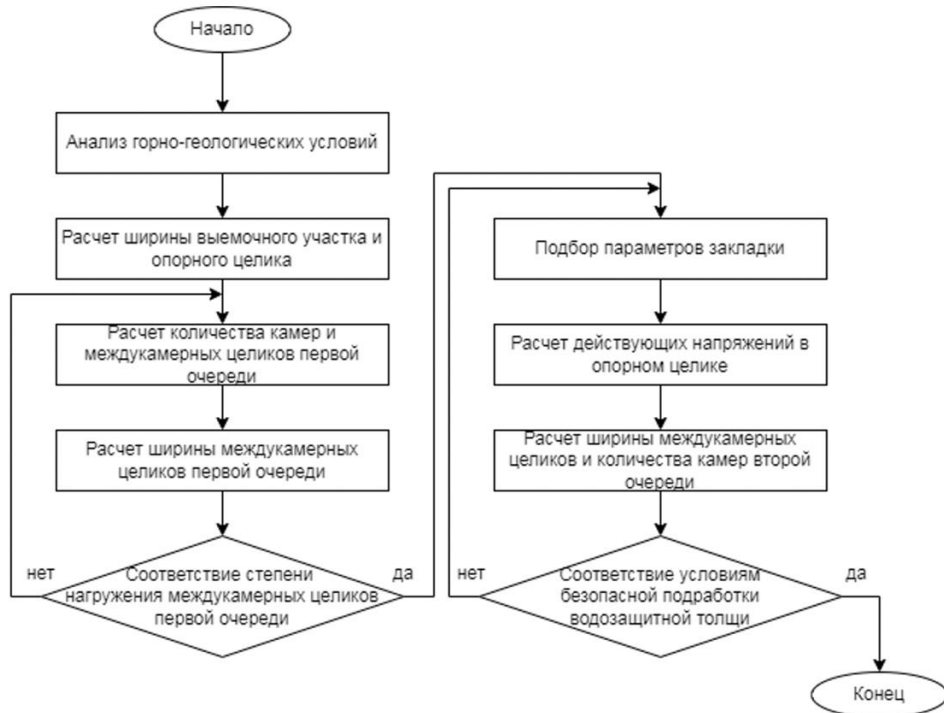


Рисунок 17 - Алгоритм определения параметров технологии разработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах (составлено автором)

2.3 Методика обоснования параметров технологии разработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах, обеспечивающей снижение потерь полезного ископаемого

Для расчета параметров камерной системы разработки для условий пологозалегающих калийных пластов применяется методика, основанная на гидростатической модели напряженного состояния массива горных пород, которая подтверждается в условиях отработки калийных месторождений [37, 38, (Приложение Б)].

При последовательном расположении междукамерных целиков и камер (камеры могут состоять из нескольких ходов комбайна по высоте и ширине, при этом по ширине они разделяются междуходовыми целиками) методика расчета ширины междукамерных и опорных целиков заключается в следующем.

Степень нагружения междукамерных целиков должна быть равной или несколько меньше, чем степень нагружения опорных целиков (13):

$$C_{\text{МКЦ}} \leq C_{\text{ОЦ}} \leq [C] \quad (13)$$

Ширина целиков определяется с учетом ограничений степени их нагружения (14), (15):

$$C_{\text{МКЦ}} < [C]_{\text{МКЦ}} \quad (14)$$

$$C_{\text{ОЦ}} < [C]_{\text{ОЦ}} \quad (15)$$

где $[C]_{\text{МКЦ}}$ - допускаемая величина степени нагружения МКЦ, принимается $[C]_{\text{МКЦ}}=0,4$;

$[C]_{\text{ОЦ}}$ - допускаемая величина степени нагружения ОЦ, принимается $[C]_{\text{ОЦ}}=0,6$.

Ширина целиков определяется путем регулирования допускаемой степени нагружения целиков, которая выражает отношение действующей нагрузки к их несущей способности и определяется по формуле (16):

$$C = \frac{Q}{P} \quad (16)$$

где Q – удельная нагрузка, приходящаяся на целик, тс/м²;

P – несущая способность целика, тс/м².

В качестве удельной нагрузки принимается максимальная нагрузка, приходящаяся на целики, расположенные в центре выработанного пространства (блока). Она определяется по формулам (17), (18):

$$Q_{\text{ОЦ}} = \gamma \cdot H \cdot (L + B) \quad (17)$$

$$Q_{\text{МКЦ}} = \gamma \cdot H_{\text{пр}} \cdot (a + b) \quad (18)$$

где $Q_{\text{ОЦ}}$, $Q_{\text{МКЦ}}$ – удельная нагрузка на ОЦ и МКЦ соответственно, тс/м²;

γ – удельный вес покрывающих пород, тс/м³;

H – глубина ведения горных работ, м;

$H_{\text{пр}}$ – приведенная глубина ведения горных работ, м;

L – ширина выемочного участка, м;

a – ширина камеры, м;

B – ширина опорного целика, м;

b – ширина междукамерного целика, м.

Несущая способность целика P определяется по формулам (19), (20):

$$P_{\text{ОЦ}} = B \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot k_{\phi} \cdot k_1 \quad (19)$$

$$P_{\text{МКЦ}} = b \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot k_{\phi} \cdot k_1 \quad (20)$$

где $P_{\text{ОЦ}}$, $P_{\text{МКЦ}}$ – несущая способность ОЦ и МКЦ соответственно, тс/м²;

B – ширина опорного целика, м;

b – ширина междукамерного целика, м;

$\sigma_{\text{сж}}$ — средневзвешенный предел прочности пород, слагающих целик, на сжатие, тс/м²;

k_1 – коэффициент, учитывающий влияние масштабного фактора, глинистых прослоек на прочность целика, отношения расчетной ширины целиков к их расчетной высоте, продольной компоненты напряжений, действующих в целик, принимается равным $k_1 = 1,12$;

k_{ϕ} – коэффициент формы целика, учитывающий влияние отношения ширины целиков b, B к их высоте m , и определяемый из выражений (21), (22):

$$k_{\phi} = 1 \text{ при } \frac{m}{b(B)} < 1 \quad (21)$$

$$k_{\phi} = \sqrt{\frac{m}{b(B)}} \text{ при } \frac{m}{b(B)} \geq 1 \quad (22)$$

Ширина выемочного участка L между соседними опорными целиками определяется из выражений (23), (24):

$$L \leq 160 \quad \text{при } H_{\text{ВЗТ}} > 150 \text{ м} \quad (23)$$

$$L = 2 \cdot H_{\text{ВЗТ}} - \frac{\Delta H}{\text{tg}(60)} \text{ при } H_{\text{ВЗТ}} < 150 \text{ м} \quad (24)$$

где $H_{\text{ВЗТ}}$ - мощность ВЗТ, м;

ΔH - суммарное значение мощности водозащитной потолочины и погрешности определения ВЗТ, м ($\Delta H=25$ м).

Приведенная глубина ведения горных работ ($H_{\text{пр}}$) определяется из формулы (25) [9]:

$$H_{\text{пр}} = \sqrt{H \cdot L} \quad (25)$$

где L – ширина очистного пространства между соседними опорными целиками, м;

H – глубина ведения горных работ, м.

Переменную ширину МКЦ $b_{\text{МКЦ}}^i$ на выемочном участке следует рассчитывать в соответствии со следующими условиями.

Количество камер и междуканальных целиков на выемочном участке ($n_{\text{к}}, n_{\text{МКЦ}}$) (26), (27):

$$n_{\text{к}} = \frac{L + b}{a + b} \quad (26)$$

$$n_{\text{МКЦ}} = n_{\text{к}} - 1 \quad (27)$$

Ширина центрального междуканального целика определяется по степени нагружения, исходя из необходимого срока устойчивого состояния целиков.

Минимальная ширина МКЦ $b_{\text{МКЦ}}^{\text{мин}}$ определяется по степени его нагружения исходя из сроков отставания закладочных работ в блоке от очистных и рассчитывается по известным нормативным эмпирическим зависимостям.

Допустимая степень нагружения центрального МКЦ ($C_{\text{цент}}$) (28):

$$C_{\text{цент}} = 1 - \beta (\ln t)^{1/\alpha} \quad (28)$$

где t – технологически необходимый срок устойчивого состояния целиков, регулируемый скоростью ведения закладочных работ и набора прочности закладочного материала, сутки;

β и α – параметры аппроксимации ($\alpha = 1,0$; $\beta = 6,15 \cdot 10^{-2}$).

Ширина междукамерных целиков переменной ширины при отдалении от центрального целика изменяется линейно (29):

$$b_i = b_1 + (i - 1) \cdot \Delta b \quad (29)$$

где b_1 - ширина центрального междукамерного целика, м;

Δb – величина пошагового увеличения ширины междукамерного целика, м.

Ширина промежуточных МКЦ $b_{\text{МКЦ}}^i$ увеличивается линейно от центра к границам выемочного участка, при этом средняя степень нагружения МКЦ на выемочном участке $C_{\text{ср}}$ не должна превышать максимально разрешенное нормативной документацией значение $[C]_{\text{МКЦ}}$. Контроль степени нагружения всех МКЦ на выемочном участке выполняется по условию (30):

$$C_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{МКЦ}}} C_i \cdot b_i}{\sum_{i=1}^{n_{\text{МКЦ}}} b_i} \leq [C]_{\text{МКЦ}} \quad (30)$$

При несоблюдении условия (30) необходимо уменьшить количество камер, увеличить ширину междукамерных целиков и повторить расчет согласно алгоритму, приведенному на рисунке 17.

Ширина целиков второй очереди определяется по условию степени нагружения (31):

$$C_{II} = \frac{\gamma \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{действ}}}{\gamma}} \cdot B \cdot (a + b_{II})}{b_{II} \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot k_{\phi} \cdot k_1} \quad \text{при } C_{\text{МКЦ}} < C_{\text{ср.допуст.МКЦ}} \quad (31)$$

где b_{II} – ширина междукамерного целика второй очереди, м;

$\sigma_{\text{действ}}$ - действующие напряжения в опорном целике после закладки камер первой очереди, определяется по формуле (32):

$$\sigma_{\text{действ}} = k \cdot \sigma_{\text{ест}} \quad (32)$$

где $\sigma_{\text{ест}}$ - уровень естественных напряжений;

k – коэффициент концентрации напряжений, определяющийся через свойства закладки и степень заполнения камер.

После определения параметров отработки пласта на первой и второй стадиях, производят расчеты определения соответствия условиям безопасной подработки ВЗТ. Большинство методик расчета параметров отработки основываются на оценке высоты трещинообразования ВЗТ по эмпирическим формулам, основанным на предельном прогибе слоев ВЗТ. Однако, в виду того, что выемочный участок и опорный целик могут быть отработаны с разными параметрами, граница «выемочный участок-опорный целик» может быть потенциально опасным участком с точки зрения вероятности возникновения субвертикальных трещин. Поэтому в работе необходимо учитывать разность величин максимальных оседаний слоев ВЗТ над выемочным участком и над доизвлекаемым опорным целиком, а также кривизну оседания пород ВЗТ. Дополнительно может быть оценен такой параметр как горизонтальные и сдвиговые деформации растяжения пород ВЗТ, где области с превышением критических значений будут соответствовать зонам нарушения сплошности ВЗТ. Основные расчеты и вывод зависимостей по обоснованию безопасной подработки ВЗТ приводится в разделе 4.3 настоящей работы.

2.4 Способ отработки пласта, обеспечивающий снижение эксплуатационных потерь

Типовой вариант предлагаемой системы разработки (технологической схемы) приведен на рисунке 18 [28, 49, 51, 68].

Применяют панельно-блоковый способ подготовки шахтного поля. По оси панели проходят панельные штреки – транспортный, конвейерный, закладочный и вентиляционный, по границам панели – вентиляционные штреки. Панель разделяют на отдельные выемочные блоки, расположенные по обе стороны от оси панели. По оси блока проходят блоковый конвейерный штрек, с обеих сторон от конвейерного штрека – блоковые выемочные штреки, по границам блока – блоковые вентиляционно-транспортные штреки.

Отработка запасов осуществляется камерной системой разработки с периодическим оставлением опорных целиков между выемочными участками. Выемочный участок отрабатывают камерами первой стадии с оставлением междукамерных ленточных целиков с увеличением их ширины от центра к краям выемочного участка.

По мере отработки камер первой стадии производят их закладку. Для этого предусматривают ведение очистных работ с оси блока, закладочных – с границ. Закладку камер производят сразу после завершения проходки камеры или с минимальным технологически необходимым отставанием.

После закладки двух смежных выемочных участков производят выемку оставленного между ними опорного целика камерами второй стадии. Отработку камер второй стадии осуществляют аналогично отработке камер первой стадии.

Решение о закладке камер второй стадии принимается на основе оценки безопасных условий подработки водозащитной толщи [9], которые определяются в соответствии с мероприятиями по защите рудника от затопления и оцениваются исходя из следующих параметров: достаточной мощности ВЗТ, устанавливаемой по возможной высоте распространения техногенных водопроводящих трещин над кровлей отрабатываемого пласта, при условии сохранения ненарушенной предохранительной водозащитной потолочины; величиной максимального и допустимого оседаний водозащитной толщи; степенью нагружения междукамерных и опорных целиков.

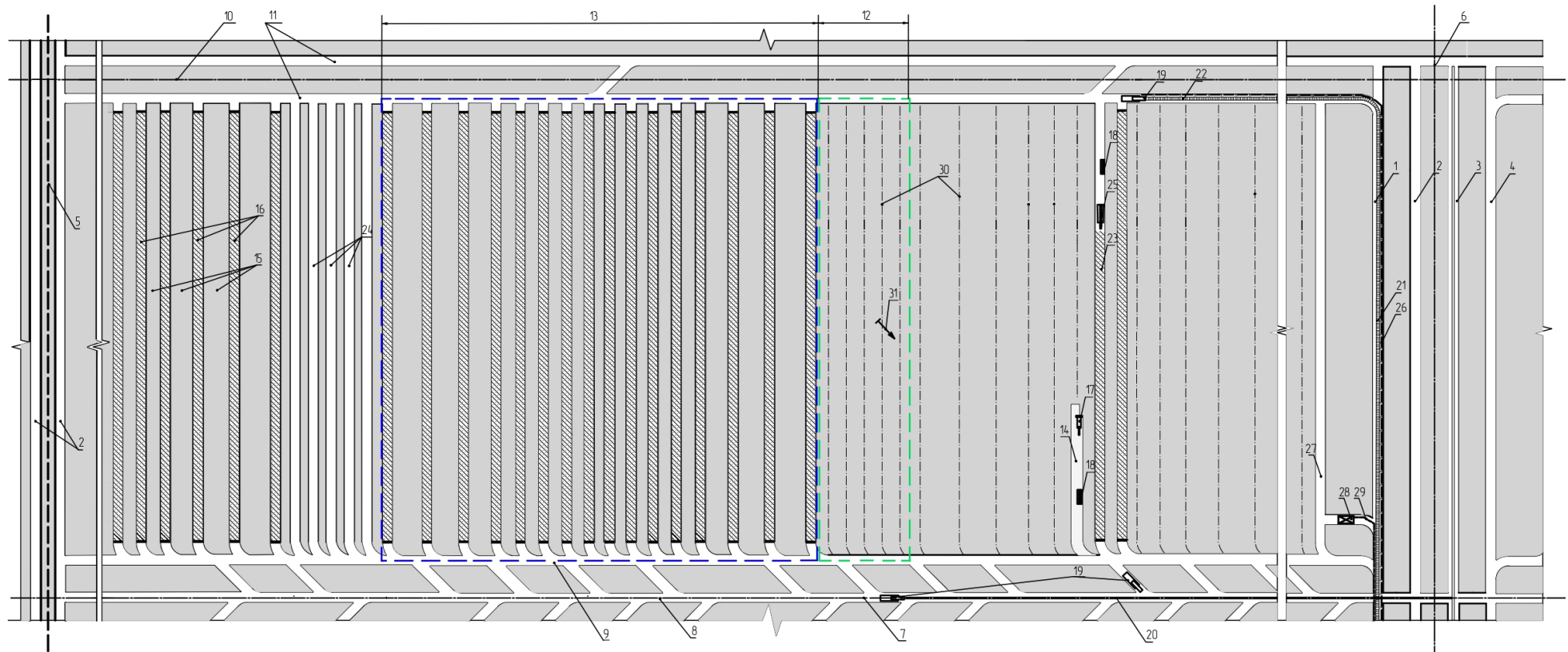


Рисунок 18 - Типовой вариант камерной системы разработки с доизвлечением запасов из опорных целиков:

1 – панельный закладочный штрек; 2 – панельный вентиляционный штрек; 3 – панельный конвейерный штрек; 4 – панельный транспортный штрек; 5 – границы панели; 6 – ось панели; 7 – ось блока; 8 – блоковый конвейерный штрек; 9 – блоковый выемочный штрек; 10 – границы блока; 11 – блоковый вентиляционно-транспортный штрек; 12 – опорный целик; 13 – выемочный участок; 14 – камера первой очереди; 15 – междукамерный ленточный целик; 16 – заложенная камера; 17 – проходческо-очистной комбайн; 18 – самоходный вагон; 19 – бункер перегружатель; 20 – блоковый конвейер; 21 – панельный закладочный конвейер; 22 – блоковый закладочный конвейер; 23 – закладываемая камера; 24 – камера второй очереди; 25 – метатель; 26 – пульпопровод; 27 – камера служебного назначения; 28 – рассолоборник блоковой насосной станции; 29 – рассолопровод; 30 – ось будущей камеры; 31 – направление падения пласта (составлено автором)

2.5 Выводы по главе 2

1. После выемки камер первой очереди наблюдается постепенная деформация пласта, развивающаяся во времени, которая влечет за собой возрастание напряжений в опорных целиках. Процесс опускания вышележащих пород, соответственно, и возрастание напряжений в опорных целиках имеет протяженный во времени характер. Зависимость изменения действующих напряжений в опорном целике от уровня опускания кровли в центре выемочного участка носит линейный характер.

2. Закладка выработанного пространства снижает скорость деформирования пласта и ограничивает рост напряжений в опорных целиках, что обеспечивает возможность последующего доизвлечения запасов из опорных целиков камерами второй очереди.

3. Вариант отработки калийного пласта с оставлением междукамерных целиков переменной ширины, увеличивающейся от центра к границам выемочного участка, обеспечивает большее снижение напряжений в опорных целиках по сравнению с базовым вариантом. При этом факт оставления самого узкого целика в центре выемочного участка не снижает условий безопасной подработки водозащитной толщи.

4. Параметры доизвлечения запасов из опорных целиков зависят от действующих напряжений в опорном целике, которые определяются зависимостями, полученными на основе численных моделей для оценки действующих в опорных целиках напряжений.

5. Разработан типовой вариант камерной системы разработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах с доизвлечением запасов из опорных целиков. Возможность отработки опорного целика представляется благодаря одновременному ведению очистных и закладочных работ в пределах одного блока. Для этого предусматривают ведение очистных работ с оси блока, закладочных – с границ. Закладку камер производят сразу после завершения проходки камеры или с минимальным технологически необходимым отставанием.

6. Разработана методика расчета параметров предлагаемой технологии, основанной на оставлении междукамерных целиков переменной ширины на выемочном участке, закладке камер первой очереди и последующем доизвлечении запасов исходя из величины действующих напряжений в опорном целике.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕЦЕПТУР ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ НА ОСНОВЕ СОЛЕОТХОДОВ

3.1 Методика лабораторных испытаний

Используя различную рецептуру закладочной смеси, производится изготовление достаточного количества образцов, которые в последующем выдерживаются стандартные сроки перед испытанием, предусмотренные методикой. После исследования образцов и установления характеристик закладочной смеси производят выбор наиболее приемлемой рецептуры. Выбор компонентов закладочной смеси и подбор рецептуры должен быть произведён в полной взаимосвязи с технологией ведения горных работ и применяемой на месторождении системы разработки с учётом нормативных требований безопасности.

Были проведены испытания по определению прочностных и деформационных свойств образцов закладочной смеси. Методика проведения испытаний регламентируется ГОСТ 21153.2-84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии» [22], ГОСТ 28985-91 «Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии» [23], ГОСТ 12248.4-2020 «Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия» [21] и методическими рекомендациями по контролю качества закладочных смесей [61].

Все исследуемые составы должны соответствовать единой методике приготовления смеси (порядок засыпки компонентов, скорость смешивания, применяемое оборудование); формирования лабораторных образцов (формы и параметры образцов, условия хранения/сушки при наборе прочности образцов); лабораторного исследования физико-механических свойств закладочных материалов (оборудование).

В качестве основного заполнителя использовались солеотходы.

В качестве затворителя использовался насыщенный соляной раствор. Плотность рассола составляла не менее $1,235 \text{ т/м}^3$.

Параллельно производилось взвешивание необходимого количества сухих компонентов и их смешивание до состояния однородного распределения. Насыщенный соляной раствор вливался в сухую смесь при постоянном перемешивании до пропорции твердого и жидкого 1:3. Плотность пульпы 1,582 т/м³.

Свежеприготовленная пульпа подавалась в фильтрующие цилиндрические каркасы, в которых она впоследствии отправлялась на сушку (после отфильтровывания рассола).

Каркасы изготавливались из строительного сетчатого полотна с размерами ячейки 1мм x 1мм, которое не деформировалось во время заливки образцов, не создавало препятствий для отделения рассола и не допускало просачивания твердой фазы.

Размер каркасов подбирался таким образом, чтобы обеспечить геометрическое соответствие получаемых образцов требованиям [21-23, 61]. Конечный размер испытуемых образцов цилиндрической формы после сушки и усадки составлял $h = 100$ мм и $d = 50$ мм с учетом разрешенных допусков. Образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 70-80 °С до постоянной массы. Перед проведением лабораторных испытаний образцы остужались при комнатной температуре.

3.2 Определение достаточного количества образцов

Количество образцов для каждой серии испытаний подбиралось таким образом, чтобы обеспечить надежность результатов не менее 90% [82].

Учитывая, что при достаточно большой выборке численностью в n единиц распределение средней выборочной (\bar{X}) подчиняется нормальному закону, ошибка средней арифметической признака X по выборке определяется по формуле (33):

$$\varepsilon_x = \frac{t \cdot \sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (33)$$

где t – коэффициент, имеющий табличное значение согласно табулированной функции вероятности;

σ_x – среднеквадратическая ошибка определения прочности каждого образца.

Из этой же формулы определяем необходимый объем выборки n , при котором будет определено значение \bar{X} с заданной ошибкой ε_x и с заданной надежностью B (34):

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon_x^2} \quad (34)$$

Для обеспечения доверительного интервала $\bar{X} \pm \varepsilon_x$ с предельной ошибкой $\varepsilon_x=0,02$ по каждому исследуемому составу требуется испытать не менее 6 образцов на каждый вариант рецептуры.

3.3 Материалы для изготовления лабораторных образцов закладочных смесей и определение достаточного количества компонентов

На калийных рудниках наиболее распространен флотационный способ обогащения. Отходы обогащения калийной руды состоят в основном из хлористого натрия ($NaCl$) с небольшими примесями сильвина и других солей и нерастворимого остатка (н.о.), представленного преимущественно глинистой фракцией. Химический и гранулометрический состав реальных флотоотходов обогащения калийных руд представлен в таблицах 4, 5.

Таблица 4 – Типовой химический состав отходов флотационного обогащения сильвинитовой руды [88, 114]

Содержание, %				
NaCl	KCl	CaSO ₄	MgCl ₂	н.о.
90-98	0.3-2.6	1.1-1.9	0.03-0.07	0.07-2

Таблица 5 – Типовой гранулометрический состав отходов флотационного обогащения сильвинитовой руды [88, 114]

Крупность частиц, мм						
<5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	>0,25
Содержание фракций, %						
0	2,3	9,1	15,3	20,1	49,3	3,9

При отработке малоценных руд обеспечение необходимой прочности искусственного массива является основной проблемой, так как в качестве главного

компонента – вяжущего, обеспечивающего прочность массива, требуется применение дорогостоящего цемента. В целях оптимизации состава по данному фактору в исследовании вместо цемента использовались активированные доменные гранулированные шлаки. Предыдущие исследования доказали проявление вяжущих свойств доменных шлаков [18, 19, 52, 99]. Кроме того, максимальное использование отходов горного производства удовлетворяет требованиям к обеспечению ресурсосбережения при эксплуатации недр [3, 58].

В исследовании были применены шлаки Чусовского металлургического комбината, химический состав и модули которых приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристика шлаков Чусовского металлургического комбината [18]

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	S	SO_3	MnO	Fe_2O_3	FeO	Др.	M_o	M_c
31,1	10,2	50,6	4,3	1,4	0,2	-	-	-	2,2	1,33	3,04

Кроме добавления вяжущего, в целях придания закладочному материалу повышенных прочностных характеристик в состав смеси был введен армирующий компонент в виде фибры.

Фибра представляет собой волокно, в основном используемое в строительной отрасли для упрочнения и улучшения свойств бетонов (устранение усадки, предотвращение растрескивания, повышение долговечности и т.д.). Благодаря свойствам фибры ее зачастую называют «микроарматурой» и рассматривают как альтернативу традиционному армированию [1, 124].

Для упрочнения закладочного массива требуется использование высокомодульных видов фибр, получаемых из материалов, модуль упругости которых выше, чем у бетона (19–34,5 ГПа). Высокомодульная фибра значительно повышает прочность материала на растяжение и сжатие, его сопротивляемость статическим деформациям и образованию трещин. Таким образом, чем выше модуль упругости, тем выше будет прочность итогового материала.

Различают металлическую, стеклянную, полимерную, базальтовую и углеродную фибры (рисунок 19). Недостатком использования металлической и стеклянной фибр является их нестойкость к коррозии в среде гидратации цемента,

помимо этого металлическую фибру нельзя совмещать с применением хлористых солей.



Рисунок 19 – Исследуемые виды армирующего компонента:

а) углеродная фибра; б) базальтовая фибра; в) полипропиленовая фибра
(фото автора)

На основе серии лабораторных экспериментов изучались свойства закладочных массивов, в рецептуру которых входили следующие комбинации компонентов в различных пропорциях:

- солеотходы *С*;
- металлургические шлаки *Ш*;
- фибра *Ф* (базальтовая *БФ*, углеродная *УФ*, полипропиленовая *ПФ*);
- жидкая фаза – рассол, насыщенный по NaCl.

В общей сложности было исследовано 34 рецептуры и изготовлено 540 образцов, испытанных на одноосное сжатие (рисунок 20а, 21).

После исследования прочностных свойств были проведены испытания компрессионных свойств рекомендуемых составов закладки на 30 образцах на объемное сжатие (рисунок 20б, 21).

В сводных таблицах 7, 8 приведены испытываемые составы для изучения влияния компонентов на прочность образца и определения их достаточного количества.

Для разработки многокомпонентного состава необходимо определение требуемого количества каждого из компонентов. Для этого проводили исследование двухкомпонентных рецептур в комбинациях «солеотходы и фибра» (*С+БФ*, *С+УФ*, *С+ПФ*) и «солеотходы и шлаки» (*С+Ш*).

а)



б)



Рисунок 20 – Лабораторные испытания образцов закладки:

а) испытания на одноосное сжатие; б) испытания на объемное сжатие
(фото автора)



Рисунок 21 – Образцы, подготовленные для лабораторных испытаний
(фото автора)

Таблица 7 – Испытуемые одно- и двухкомпонентные составы (по данным автора)

<i>Однокомпонентная рецептура</i>					
№	Компоненты	Содержание по сухой массе, %			
1	С	100			
<i>Двухкомпонентные рецептуры</i>					
С+Ш			С+Ф		
№	Компоненты	Содержание, %	№	Компоненты	Содержание, %
1	С	ост.	1	С	ост.
	Ш	5		БФ/УФ/ПФ	0,1/0,1/0,1
2	С	ост.	2	С	ост.
	Ш	10		БФ/УФ/ПФ	0,3/0,3/0,3
3	С	ост.	3	С	ост.
	Ш	20		БФ/УФ/ПФ	0,5/0,5/0,5
4	С	ост.	4	С	ост.
	Ш	25		БФ/УФ/ПФ	0,7/0,7/0,7
5	С	ост.	5	С	ост.
	Ш	30		БФ/УФ/ПФ	0,9/0,9/0,9
6	С	ост.	6	С	ост.
	Ш	40		БФ/УФ/ПФ	1,1/1,1/1,1
			7	С	ост.
				БФ/УФ/ПФ	1,3/1,3/1,3
			8	С	ост.
				БФ/УФ/ПФ	1,5/1,5/1,5

При испытаниях двухкомпонентных рецептур С+Ш содержание шлаков Ш составляло 5%; 10%; 20%; 25%; 30%; 40% (по сухой массе). Оставшуюся часть занимали солеотходы С. Всего было исследовано 6 вариантов рецептур.

При испытаниях двухкомпонентных рецептур С+БФ, С+УФ, С+ПФ содержание фибры Ф в экспериментах составляло 0,1%; 0,3%; 0,5%; 0,7%; 0,9%; 1,1%; 1,3%; 1,5% (по сухой массе). Оставшуюся часть занимали солеотходы С. Всего было исследовано 24 варианта рецептур.

Прочность образцов, состоящих только из солеотходов, составила 0,72 МПа. Добавление вяжущего (металлургических шлаков) привело к росту прочности

образцов до значений 1,5 МПа при содержании шлаков 5% и до 6,0 МПа при содержании шлаков 25%. Добавление вяжущего в количестве более 25% практически не оказало влияния на дальнейший прирост прочности образцов закладочного массива (рисунок 22).

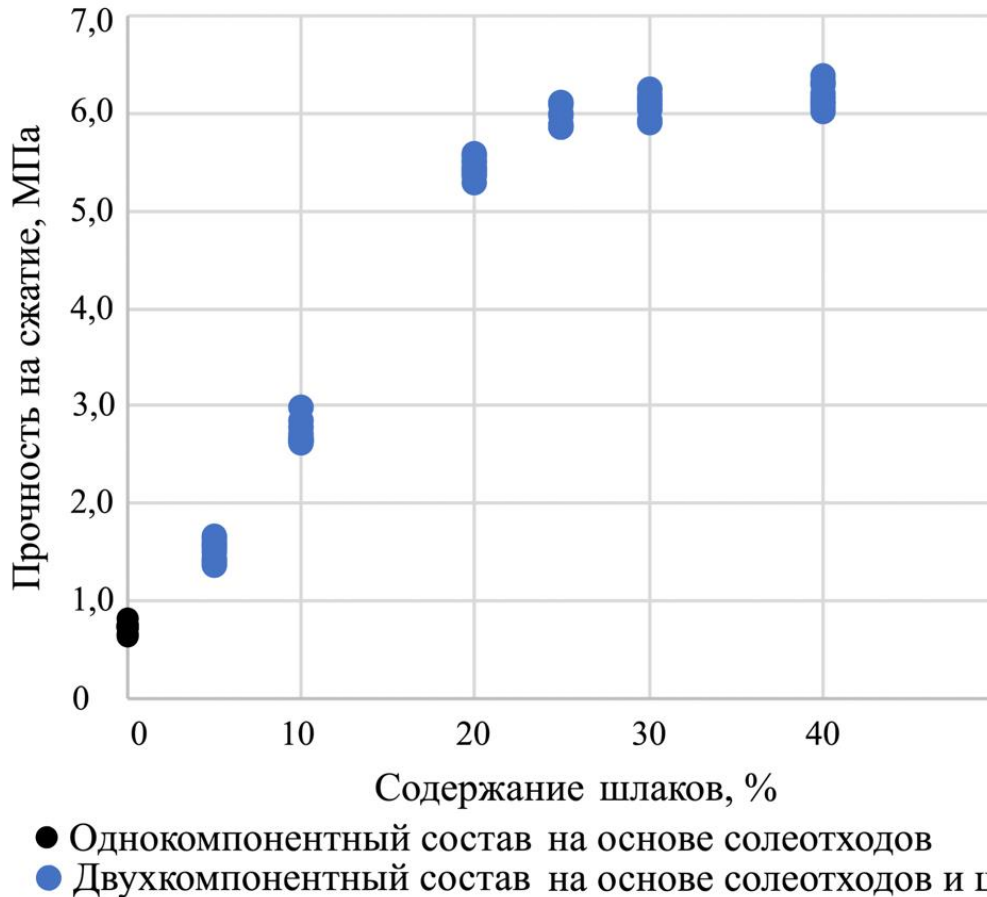


Рисунок 22 – Результаты лабораторных исследований прочностных свойств образцов закладочного массива с добавлением вяжущего материала (металлургических шлаков) (составлено автором)

Испытания образцов по рецептуре С+Ф показали, что наибольший прирост прочности происходит при добавлении базальтовой (БФ) и углеродной фибры (УФ) в количестве 0,7% и 1,1% соответственно (рисунок 23). Средние значения прочности составили при этом 2,78 МПа и 2,87 МПа, что примерно сопоставимо, хотя применение УФ характеризуется большим расходом. Дальнейшее увеличение содержания фибры приводит к уменьшению прочности образцов.

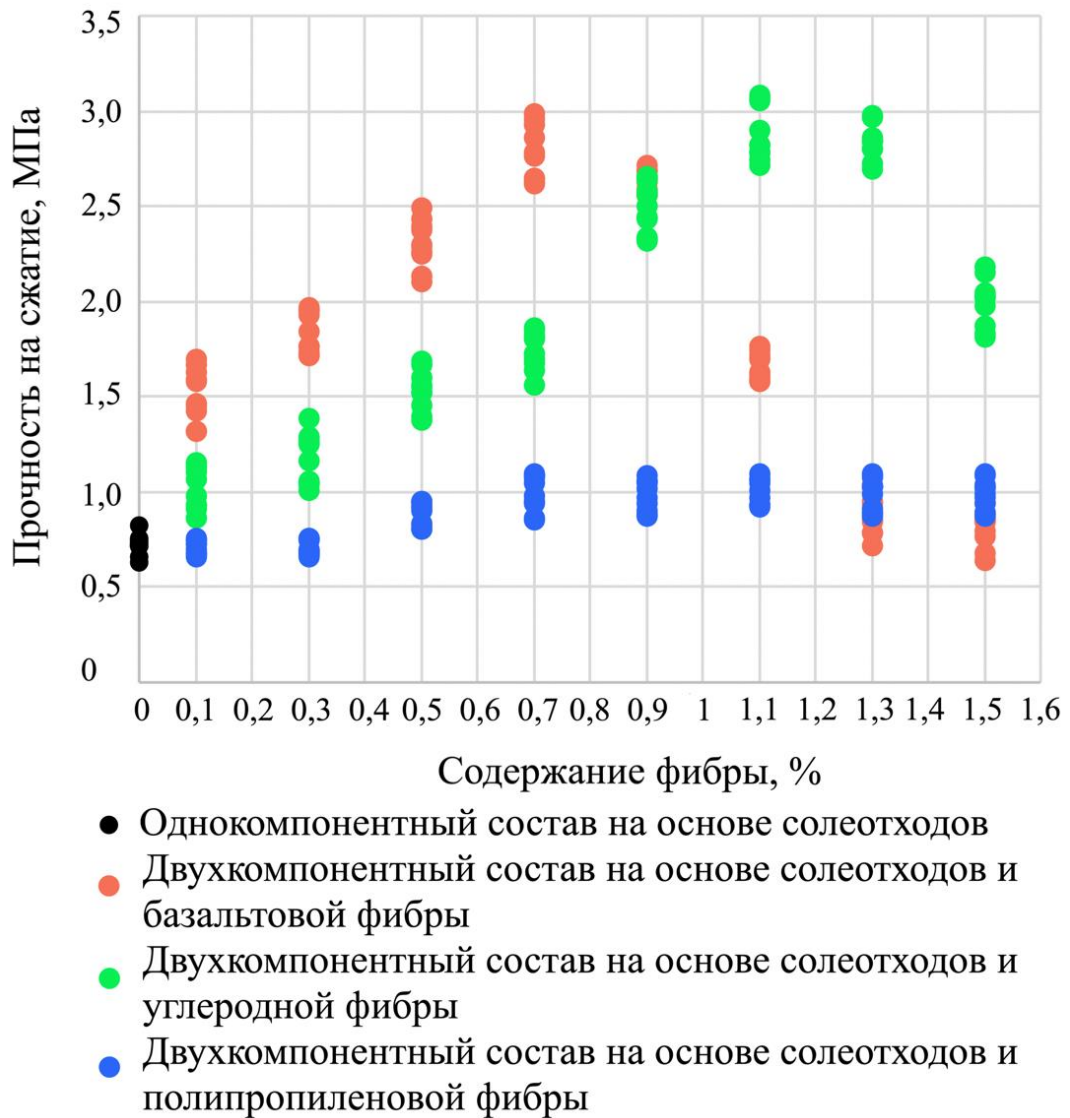


Рисунок 23 – Результаты лабораторных исследований прочностных свойств образцов закладочного массива с добавлением армирующего материала (фибры) (составлено автором)

При добавлении полипропиленовой фибры (ПФ) прочность образцов показала несущественный рост и составила всего 1,0 МПа при содержании ПФ 0,7%. Дальнейшее увеличение содержания ПФ не оказало влияния на рост прочности образцов. В связи с отсутствием значимого влияния на прочностные свойства образцов полипропиленовая фибра была исключена из дальнейших исследований.

Результаты исследований по определению необходимого количества компонентов показывают, что для достижения наибольшей прочности необходимо добавление в смесь 20% шлаков и 0,7% базальтовой фибры.

3.4 Определение прочностных и деформационных свойств рекомендуемого состава закладочной смеси

Лабораторные испытания трехкомпонентных рецептур «солеотходы, фибра, шлаки» (С+БФ+Ш) включали 24 варианта рецептур.

При испытаниях трехкомпонентных рецептур С+Ф+Ш содержание шлаков Ш в экспериментах составляло 10%, 20%, 25% и 30% по сухой массе; содержание базальтовой фибры БФ – 0,3%, 0,5% и 0,7%; содержание углеродной фибры УФ – 0,7%, 0,9% и 1,1%. Солеотходы С занимали оставшуюся часть сухой массы.

Таблица 8 – Испытуемые трехкомпонентные рецептуры (по данным автора)

№	Компо- ненты	Содержа- ние, %	№	Компо- ненты	Содержа- ние, %	№	Компо- ненты	Содержа- ние, %
1.1	С Ш БФ/УФ	ост. 10 0,3/0,7	1.2	С Ш БФ/УФ	ост. 10 0,5/0,9	1.3	С Ш БФ/УФ	ост. 10 0,7/1,1
2.1	С Ш БФ/УФ	ост. 20 0,3/0,7	2.2	С Ш БФ/УФ	ост. 20 0,5/0,9	2.3	С Ш БФ/УФ	ост. 20 0,7/1,1
3.1	С Ш БФ/УФ	ост. 25 0,3/0,7	2.2	С Ш БФ/УФ	ост. 25 0,5/0,9	2.3	С Ш БФ/УФ	ост. 25 0,7/1,1
4.1	С Ш БФ/УФ	ост. 30 0,3/0,7	3.2	С Ш БФ/УФ	ост. 30 0,5/0,9	3.3	С Ш БФ/УФ	ост. 30 0,7/1,1

Результаты испытаний на одноосное сжатие трехкомпонентных составов при различном их соотношении представлены на рисунке 24а.

Как и показали результаты исследований по определению необходимого количества компонентов, для достижения наибольшей прочности достаточно добавление в смесь 20% шлаков и 0,7% базальтовой фибры. Больше количество шлаков значительного прироста не дает. Тем не менее необходимо заметить, что требуемая прочность может быть достигнута разной вариацией количества компонентов.

Экспериментально установлена зависимость прочностных свойств закладочного массива из трехкомпонентной рецептуры от вида и процентного содержания шлаков и базальтовой фибры, выражающаяся полиномиальной функцией второй степени (рисунок 24б). Функции имеют следующий вид (35), (36), (37):

$$\sigma = -0,0126sh^2 + 0,7109sh - 0,6628 \quad (35)$$

$R^2=0,9893$, при содержании БФ 0,3%;

$$\sigma = -0,0152sh^2 + 0,8196sh - 0,3065 \quad (36)$$

$R^2=0,9997$, при содержании БФ 0,5%

$$\sigma = -0,0239sh^2 + 1,2057sh - 2,9456 \quad (37)$$

$R^2=0,9942$, при содержании БФ 0,7%

где σ – предел прочности образца на одноосное сжатие;

sh – содержание шлаков, варьирующееся в пределах 10÷30%;

R^2 – величина достоверности.

В качестве рекомендуемого принят состав, который достигает значений прочности на одноосное сжатие 12 МПа, что соответствует максимальному значению среди всех исследуемых трехкомпонентных составов, и включающий 20% шлаков и 0,7% базальтовой фибры [69].

С целью оценки и сравнения компрессионных свойств закладочных смесей были проведены испытания на объемное сжатие образцов сухой, гидравлической и твердеющей закладки.

Образцы сухой закладки изготовлены из сухих солеотходов, гидравлической – пульпа из сухих солеотходов с насыщенным соляным раствором, твердеющая – разработанный и ранее рекомендуемый состав. Результаты испытаний приведены на рисунке 25.

Результаты показывают, что величина относительной усадки сухой закладки составляет 0,25; гидравлической – 0,15; твердеющей – 0,05.

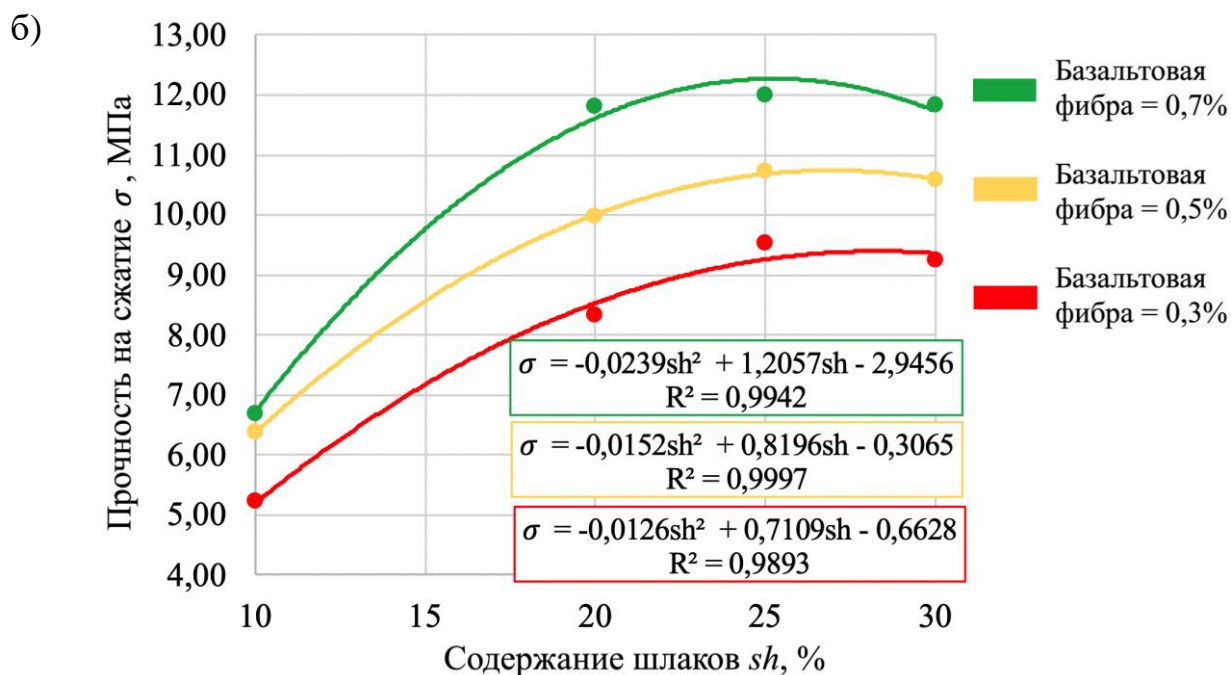
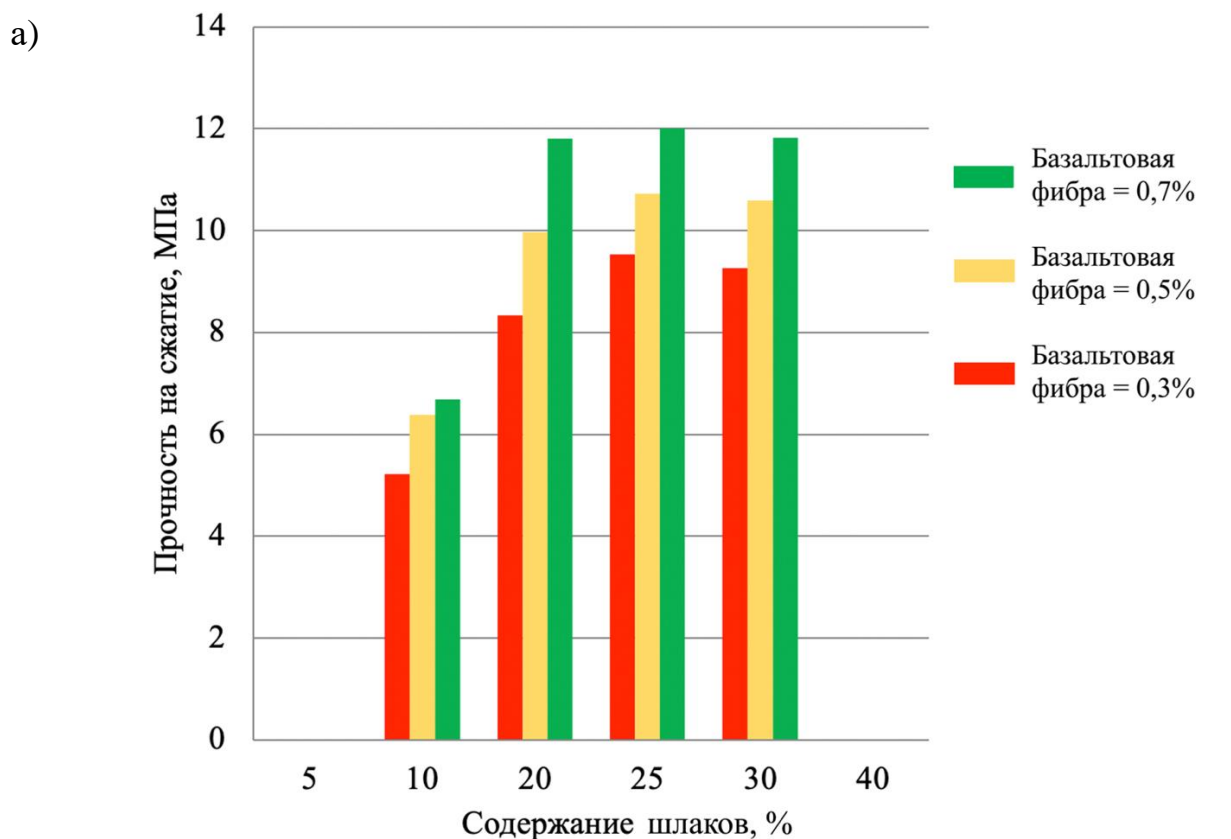


Рисунок 24 - Результаты лабораторных исследований прочностных свойств образцов закладочного массива, изготовленных по трехкомпонентной рецептуре:

- а) прочность на сжатие лабораторных образцов, б) функция максимальной прочности образцов от вида и процентного содержания шлаков и базальтовой фибры (составлено автором)

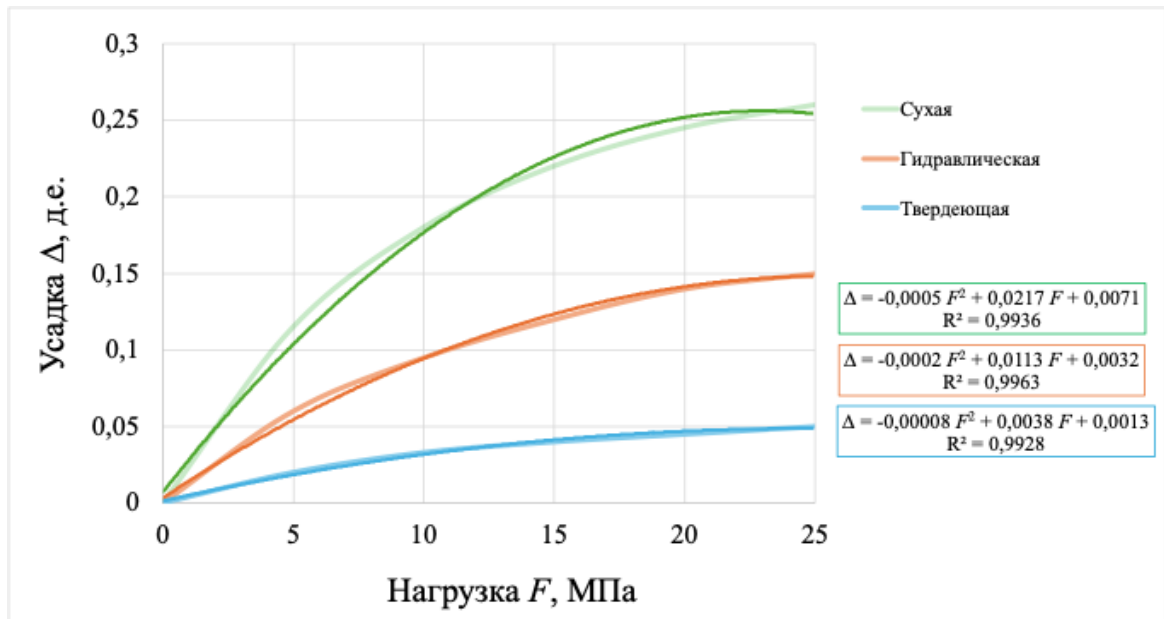


Рисунок 25 – Результаты лабораторных исследований компрессионных свойств образцов закладочного массива (составлено автором)

Как было ранее обосновано в разделе 2.2 настоящей работы, от коэффициента закладки камер зависит величина действующих напряжений в опорном целике. В этой связи необходимо учитывать факт усадки закладочного материала при использовании разработанных формул. А именно, при расчете коэффициента концентрации напряжений после закладки камер первой очереди (формула 7), степень заполнения камер x должна быть рассчитана с учетом поправочного коэффициента усадки материала (38):

$$x = x_{до} \cdot k_h = x_{до} \cdot (1 - \Delta_h) \quad (38)$$

где x – итоговая степень заполнения камеры;

$x_{до}$ – степень заполнения камеры до усадки материала;

k_h – поправочного коэффициента усадки;

Δ_h – степень усадки закладочного материала.

Рассматривая типовые условия разработки калийных пластов, залегающих на глубине 1100 м, при средней вынимаемой мощности пласта 9 м, применение сухой закладки крайне проблематично. Она обладает низкой прочностью, склонна к слеживаемости и большой усадке, что делает ее неприменимой в целях дальнейшего извлечения запасов. Гидравлическая закладка несколько улучшает ситуацию: при коэффициенте заполнения камеры 0,7 можно пройти в опорном

целике одну камеру. Однако, ввиду относительной усадки камеры, настает необходимость изначального заполнения камеры гидравлической закладкой на 0,85. Наибольшие показатели извлечения обеспечивает твердеющая закладка, обладающая усадкой 5%, которая позволяет пройти большее количество камер при меньшем коэффициенте заполнения по сравнению с гидравлической закладкой.

Следует отметить, что твердеющая закладка имеет свои преимущества по набору нормативной прочности, который достигается в течение 60÷90 суток, тогда как гидравлическая на основе солеотходов – от 3 до 5 лет.

3.5 Выводы по главе 3

1. Широко применяемая на калийных рудниках России и мира сухая и гидравлическая закладка вследствие большой усадки и низкой прочности не могут быть применены в целях дальнейшего доизвлечения запасов. Наиболее благоприятные условия, характеризующиеся максимальным снижением действующих напряжений в опорном целике и позволяющие отработать максимальное количество камер второй очереди, возможны только при применении твердеющей закладки.

2. Предложено использование в рецептуре твердеющих смесей металлургических шлаков в качестве вяжущего и фибры в качестве армирующего компонента для создания твердеющей закладочной смеси, позволяющей реализовать технологию извлечения запасов из оставленных целиков.

3. Установлено, что на прирост прочности закладки на основе солеотходов оказывают базальтовая и углеродная фибры, при этом увеличение прочности наблюдается при добавлении их в состав не более 0,5% и 0,7% соответственно. Превышение установленных значений приводит к разупрочнению материала.

4. Добавление металлургических шлаков более 25% не дает значительного прироста прочности материала.

5. В результате серии лабораторных экспериментов получен состав твердеющей закладочной смеси, включающий солеотходы 79,3 масс.%, металлургические шлаки 20 масс.%, базальтовую фибру 0,7 масс.%, соляной

раствор, обладающий прочностью на одноосное сжатие 12 МПа и величиной усадки не более 5%.

6. Экспериментально установлена зависимость прочностных свойств закладочного массива из трехкомпонентной рецептуры от вида и процентного содержания шлаков и базальтовой фибры, выражающаяся полиномиальной функцией второй степени.

7. При расчете действующих напряжений в опорном целике необходимо учитывать факт усадки закладочного материала. Для этого введен поправочный коэффициент для учета компрессионных свойств закладочного материала и экспериментально установлена степень усадки сухой, гидравлической и твердеющей закладки.

ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ НА ОСНОВЕ СОЛЕОТХОДОВ

4.1 Технология выемки пологозалегающих калийных пластов с закладкой выработанного пространства и доизвлечением запасов из опорных целиков

4.1.1 Технология очистных работ

По центру панели проходят панельный транспортный, конвейерный, вентиляционный и закладочный штреки, по границам - вентиляционные штреки с оставлением между ними охранных целиков, ширина которых определена в соответствии мероприятиями по защите рудника от затопления и поверхностных объектов от вредного влияния горных работ и с учетом исключения их взаимовлияния.

Панель разделяют на отдельные выемочные блоки, которые располагают по обе стороны от оси панели. По оси блока проходят блоковый конвейерный штрек, с обеих сторон от которого располагают блоковые выемочные штреки, по границам блока проходят блоковые вентиляционно-транспортные штреки.

Отработку запасов осуществляют камерной системой разработки с периодическим оставлением опорных целиков между выемочными участками. Выемочный участок отрабатывают камерами первой очереди с оставлением междукамерных ленточных целиков.

Очистные работы ведут проходческими комбайнами в комплексе с самоходным вагоном и бункер-перегрузателем. Сильвинитовая руда на конвейеры, которые устанавливают в блоковых конвейерных штреках, поступает через перегрузочные установки непосредственно с самоходных вагонов, работающих в комплексе с очистными комбайнами, затем с блоковых конвейеров перегружается на панельные конвейеры.

При ведении очистных и подготовительных работ в панельных и блоковых выработках предполагается использование комбайнов типа Урал-20Р-12 (Урал-20Р-14), типа Continuous Miner JOY 12НМ36, типа КП330/Sandvik МН621.

4.1.2 Технология закладочных работ

Одновременно с очистными работами в блоке ведутся закладочные работы. Закладку камер производят сразу после завершения проходки камеры. Для этого очистные работы ведут с оси блока, а закладочные работы с границ блока.

В целях повышения технологичности предлагаемой системы разработки, твердеющую закладочную смесь, приготовляемую по предложенным вариантам рецептур, транспортируют частями, а именно, путем отдельной доставки сухой и жидкой частей конвейерным и трубопроводным транспортом соответственно до установки приготовления закладочной смеси.

Подземный закладочный комплекс [10, 15, 107] обеспечивает транспортировку сухой части по солеспуску (вертикальный трубопровод по стволу), приемку и перегрузку в зумпфовой части, транспортировку по конвейерной сети к закладываемому блоку, транспортировку рассолов по трубопроводу к закладываемому блоку, затворение сухой части рассолами, размещение закладочной смеси в забой (рисунок 26).

Установку приготовления закладочной смеси устанавливают непосредственно у закладываемой камеры в блоковом вентиляционно-транспортном штреке или в нижней камере блока относительно падения пласта. Установка представляет из себя смеситель для смешивания сухой и жидкой фаз и отжима рассолов. С целью минимизации влияния рассолов на прочность пород необходимо обеспечить влажность закладочной смеси 6%, которая, согласно результатам опытно-промышленных испытаний на Гремячинском месторождении, выполненных специалистами Северо-Кавказского горно-металлургического института [10, 107], соответствует границе, обеспечивающей способность консолидации массива и отсутствие необходимости сбора рассолов.

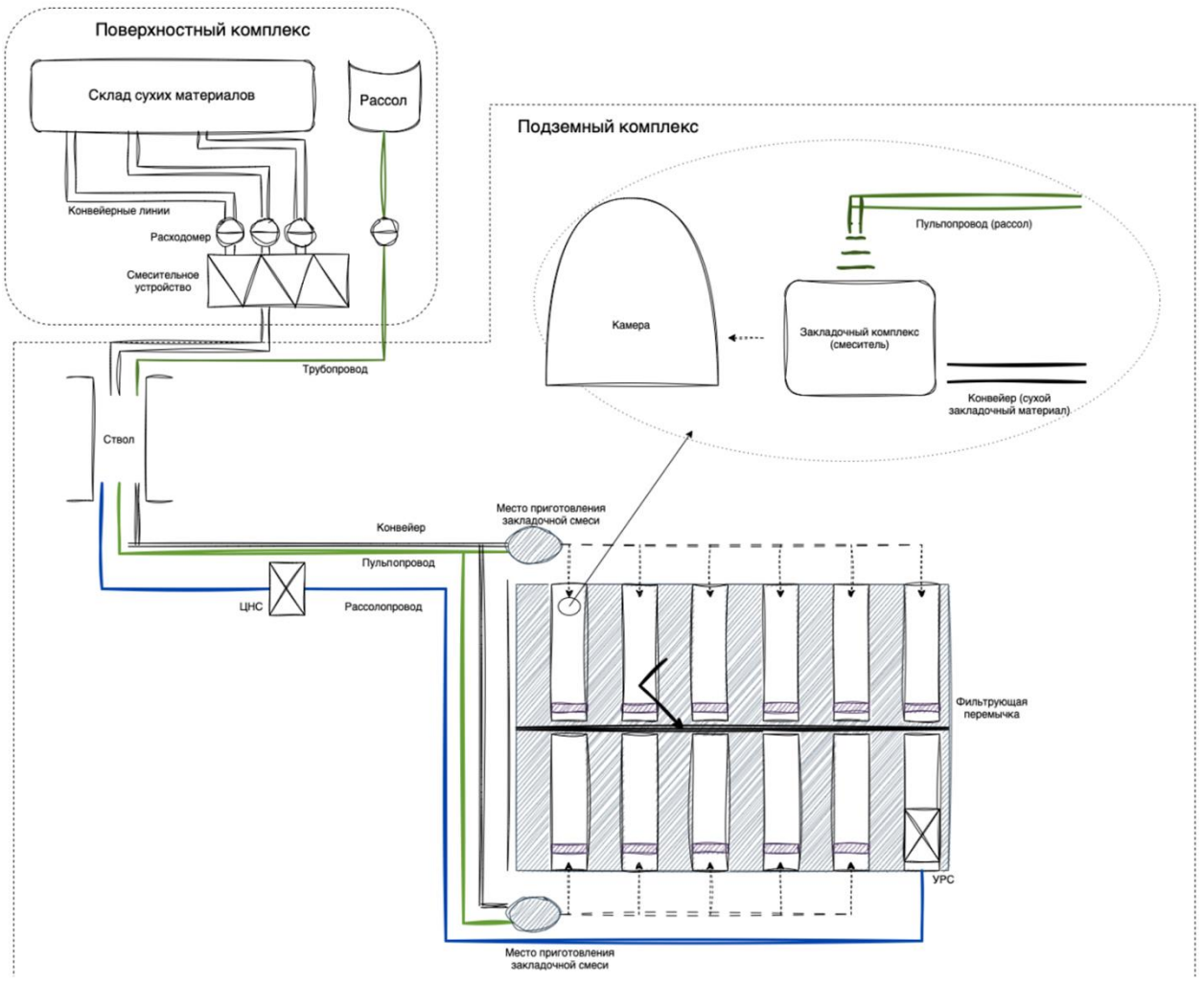


Рисунок 26 – Технологическая схема ведения закладочных работ
(составлено автором)

Закладка камеры осуществляется комплексом оборудования в составе бункера-дозатора (типа БПС-25 или УПС-25) для загрузки самоходного вагона (типа ВС-22 или аналог), закладочной установки с метателем типа МЗК «Универсал», с помощью которого осуществляют укладку закладочного материала в камеры [62], самоходного вагона или троллейной ПДМ с прицепным катком для уплотнения отсыпанных слоев закладочного материала в камере [10].

Назначение технологической линии предусматривает приготовление закладочной смеси, укладку приготовленной закладочной смеси в камеры, дозаклад камер и включает следующее технологическое оборудование (рисунок 27):

- питающий конвейер, подающий сухую часть закладочной смеси конвейером из панельного закладочного штрека;

- бункер-питатель для равномерного дозирования сухой части в смеситель непрерывного действия;
- конвейер для подачи сухой части в смеситель;
- участковый трубопровод с рассолом;
- смеситель для приготовления твердеющей закладочной смеси;
- участковый закладочный конвейер для подачи приготовленной твердеющей закладочной смеси к оборудованию закладочной установки для последующего ведения закладочных работ.

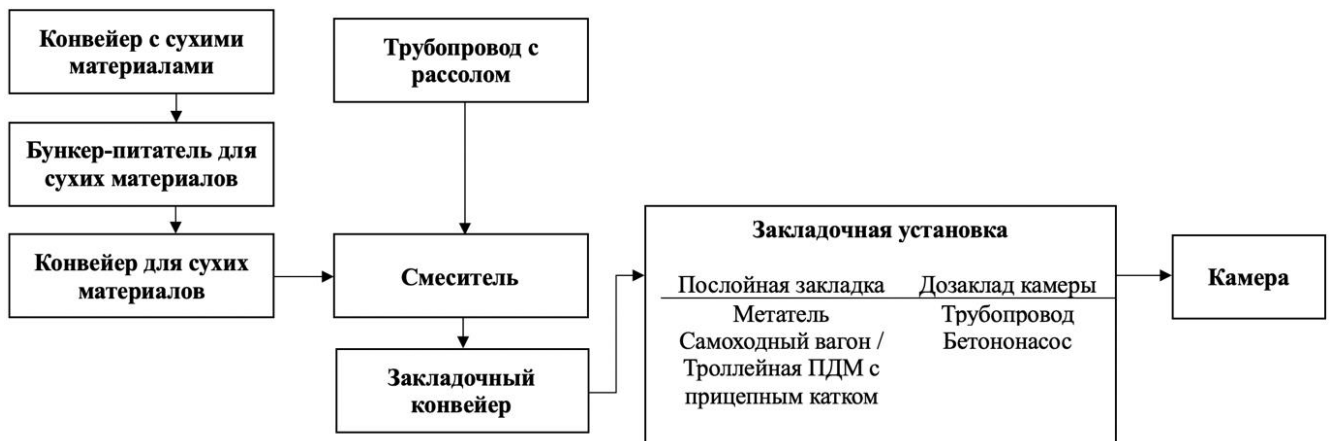


Рисунок 27 – Технологическая цепочка подачи закладочных материалов
(составлено автором)

Для создания в камерах закладочного массива с максимальной полнотой заполнения камер требуется выполнение трудоемких операций и совмещение работ по отсыпке твердеющей смеси и ее уплотнению, а также дозаклада камер под кровлю (рисунок 28).

Первый слой отсыпается с помощью метателей и уплотняется с применением средств механизации. Уплотнение первого слоя закладочной смеси производится самоходным вагоном или троллейной ПДМ с прицепным катком для пригрузки почвы, в том числе, на контакте с целиками. После уплотнения первого слоя с учетом высоты камеры производится монтаж системы конвейеров для отсыпки последующего слоя, далее цикл работ повторяется.

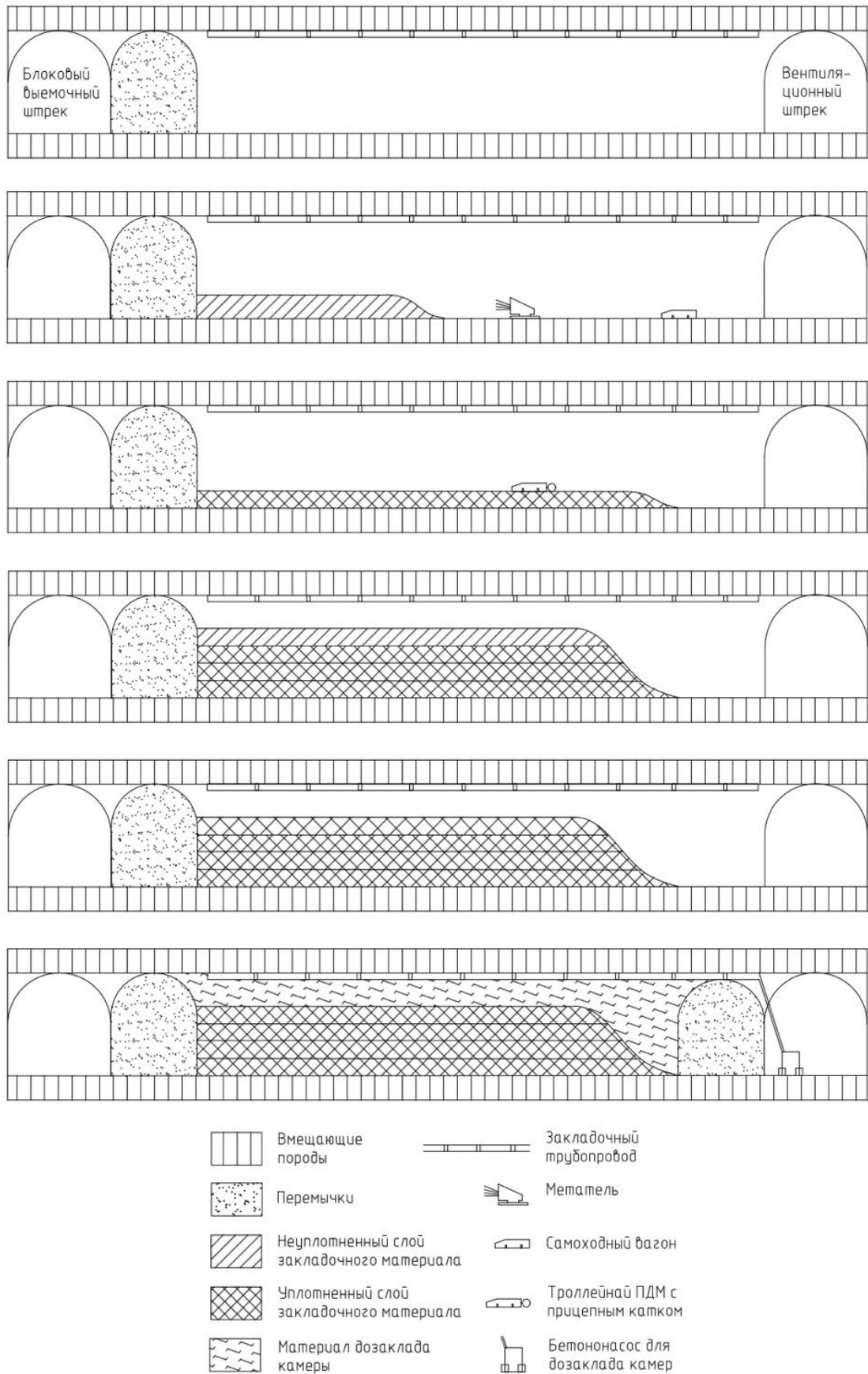


Рисунок 28 – Технология ведения закладочных работ (составлено автором)

После завершения работ по формированию последнего слоя производятся работы по дозакладу камер под кровлю. Для этого в кровле камеры по всей длине монтируется трубопровод и подается закладочная смесь бетононасосом под давлением. В этих целях предусматривают установку пневмопоршневого насоса со стороны вывода трубопровода, монтаж соединительных патрубков, проверку на герметичность при нагнетании закладочной смеси в камеру. При планировании работ в субгоризонтальных камерах при отсутствии достаточного наклона требуется прокладка нескольких трубопроводов в кровле камеры. Современные бетононасосы (SERMAC (SCL120C), CIFA (PC907/612), SANY (HBT60C- 1413D) [14], применяемые в строительстве, способны обеспечивать транспортирование материалов, характеризующихся весьма низкой подвижностью на значительные расстояния до 800 м при напоре до 300 м.

После завершения операций по закладке камеры со стороны ведения работ формируется удерживающая перемычка на основе пород от проходки выработок [83] с выводом трубопроводов для отвода отжимных рассолов (при необходимости) в закладочный штрек через участковый рассолоборник (УРС). Для выдачи на поверхность рассолов от ведения закладочных работ предусмотрено строительство насосных станций с центральным рассолоборником (ЦНС).

4.2 Календарный план выемки запасов

По завершении закладочных работ на двух смежных выемочных участках и набора прочности материала производят отработку оставленных опорных целиков камерами второй очереди.

С целью минимизации процессов деформирования пласта закладку камер осуществляют сразу после окончания очистных работ. В таком случае интервал времени от начала очистных работ до начала отработки опорного целика будет оцениваться согласно следующей формуле (39):

$$t = t_{очI} + t_{очII} + t_{подг.заклII} + t_{заклII} \quad (39)$$

где $t_{очI}$ – время, затрачиваемое на выемку камер на первом выемочном участке;

$t_{очII}$ – время, затрачиваемое на выемку камер на втором выемочном участке;

$t_{\text{подг.закл}_{II}}$ – время, затрачиваемое на подготовительные операции перед закладкой камер на втором выемочном участке;

$t_{\text{закл}_{II}}$ – время, затрачиваемое на закладочные работы на втором выемочном участке.

При создании календарного плана применительно к типовым условиям разработки пластов, на выемочном участке шириной 160 метров будет пройдено по 12 камер. Для стандартных размеров блока длина камеры составляет 300 м. Время проходки одной камеры составит ~10 суток. Обычно скорость закладочных работ быстрее, чем скорость очистных, однако, учитывая время на подготовительные операции, примем их равными. Скорость набора прочности закладки 60 суток.

На рисунке представлен календарный план отработки двух выемочных участков, согласно которому через 311 суток можно приступать к отработке опорного целика (рисунок 30).

При максимальном коэффициенте извлечения окончание процесса выемки запасов, закладки камер второй очереди приходится на 380-й день (рисунок 29).

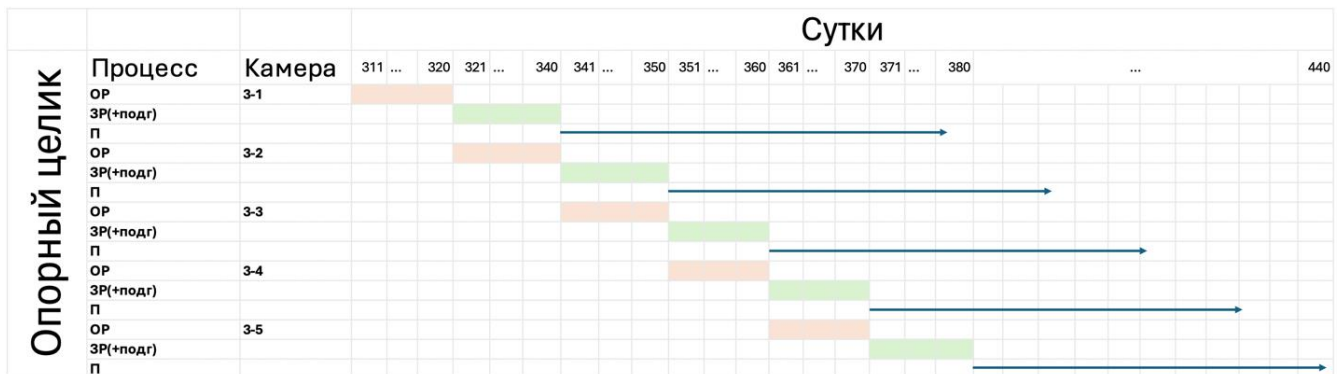


Рисунок 29 - Календарный план отработки опорного целика:

ОР – очистные работы; ЗР – закладочные работы; Подг – подготовительные закладочные работы; П – период набора прочности закладочного материала
(составлено автором)

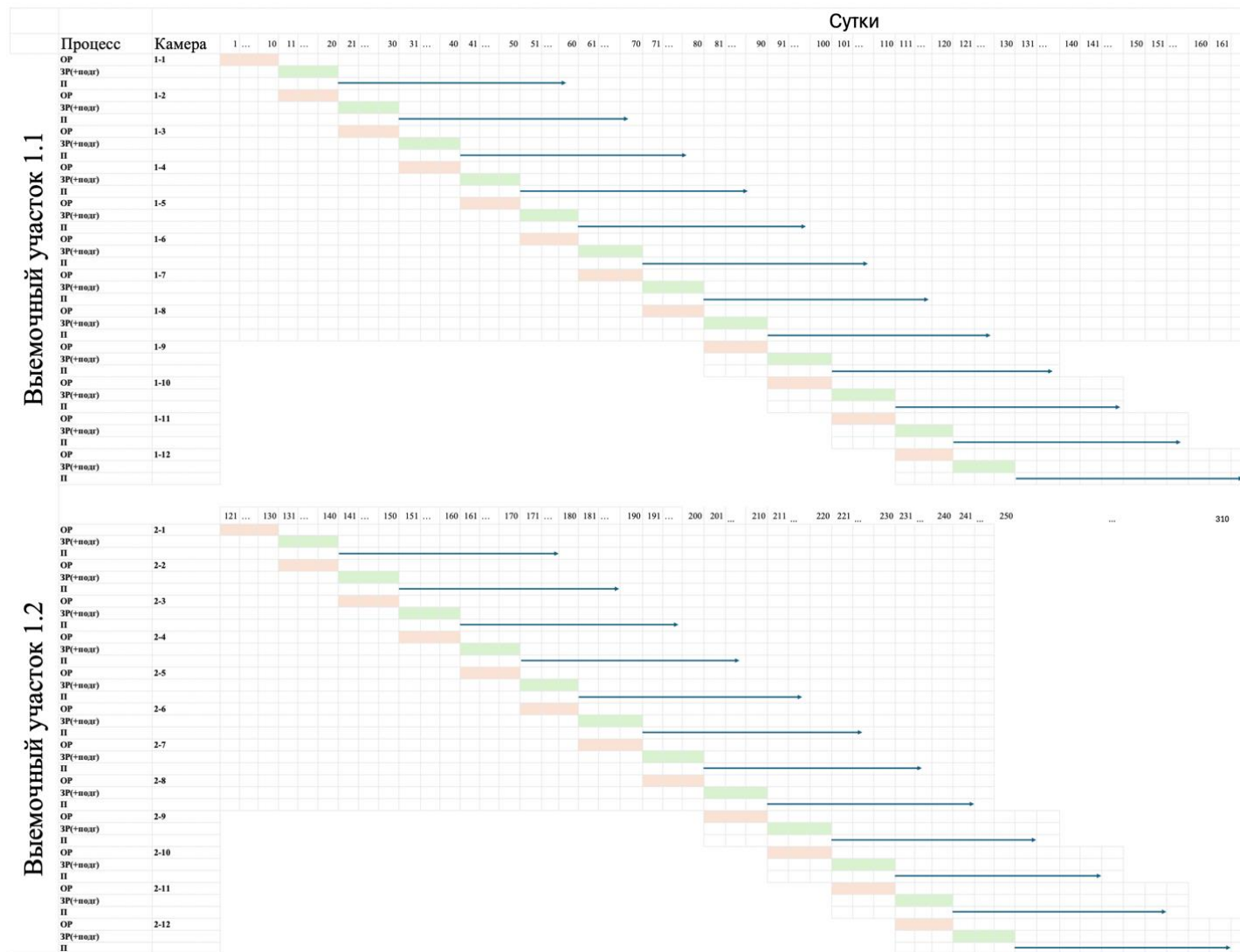


Рисунок 30 - Календарный план отработки смежных выемочных участков: ОР – очистные работы; ЗР – закладочные работы; Подг – подготовительные закладочные работы; П – период набора прочности закладочного материала (составлено автором)

4.3 Оценка соответствия параметров технологии критериям безопасной подработки водозащитной толщи

Согласно мероприятиям по защите рудника от затопления и поверхностных объектов от вредного влияния горных работ в условиях месторождений калийных солей, критерием безопасной подработки ВЗТ являются следующие условия (рисунок 31) [11, 86]:

- достаточная мощность ВЗТ, устанавливаемая по возможной высоте распространения техногенных водопроводящих трещин $H_{тр}$ над кровлей отработываемого пласта, при условии сохранения ненарушенной предохранительной водозащитной потолочины;
- величина максимальных и допустимых оседаний ВЗТ;
- степень нагружения междукамерных и опорных целиков.

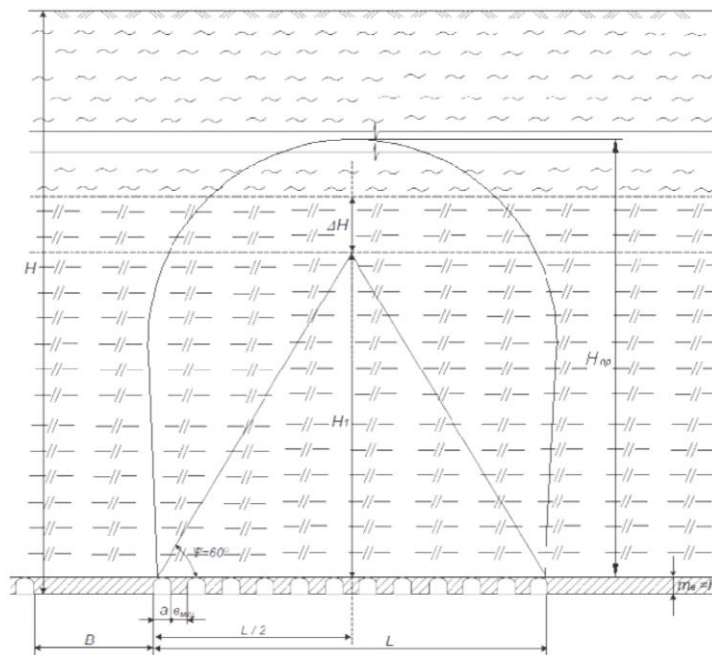


Рисунок 31 – Схема к определению безопасных условий подработки ВЗТ:

H – глубина залегания пласта; H_{np} - приведенная глубина ведения горных работ;

H_1 - высота предполагаемого свода естественного равновесия при возможном разрушении МКЦ; ΔH - суммарное значение мощности водозащитной потолочины и погрешности определения ВЗТ; B – опорный целик; L – выемочный участок; a – очистная камера; b – МКЦ; $m_в$ – вынимаемая мощность

(составлено автором)

Расстояние от кровли отрабатываемого пласта до нижней границы водозащитной потолочины должно быть больше высоты возможного образования трещин (40):

$$h_0 = h_b - [\Delta h] - h_{вп} > H_{тр}, \quad (40)$$

где h_b - минимально необходимая мощность ВЗТ над кровлей отрабатываемого пласта с учетом определения ее погрешности, м (41);

$$h_b = H_1 + 25, \quad (41)$$

где H_1 - высота предполагаемого свода естественного равновесия при возможном разрушении МКЦ (42):

$$H_1 = \frac{L}{2} \cdot \operatorname{tg} 60^\circ, \quad (42)$$

где L - ширина выемочного участка, м;

$[\Delta h]$ - возможная погрешность определения ВЗТ ($[\Delta h]=10$ м);

$h_{вп}$ - мощность водозащитной потолочины ($h_{вп}=15$ м);

$H_{тр}$ - высота возможного образования трещин с запасом для условий с неизученным характером процессов сдвижения, м (43):

$$H_{тр} = 0,28 \cdot \frac{\eta_0}{\varepsilon_{кр}} \cdot k_t, \quad (43)$$

где η_0 - величина максимального оседания на рассматриваемом участке, м (44):

$$\eta_0 = m_0 \cdot \omega \cdot p \cdot q_0, \quad (44)$$

где m_0 - вынимаемая мощность пласта, высота камеры;

ω - коэффициент извлечения из недр в пределах вынимаемой мощности пласта (45):

$$\omega = \frac{S_a}{S_a + S_b}, \quad (45)$$

где S_a - площадь поперечного сечения камеры, м²;

S_b - площадь поперечного сечения целика, м²;

p - коэффициент, учитывающий влияние закладки выработанного пространства (46):

$$p = 1 - A + AB \quad (46)$$

где A – коэффициент заполнения камер закладкой,

B - коэффициент усадки закладки;

q_0 - относительная величина максимального оседания ($q_0=0,9$);

$\varepsilon_{кр}$ – критическая деформация ($\varepsilon_{кр} = 6 \cdot 10^{-3}$);

k_t – коэффициент, учитывающий уменьшение скорости деформирования подрабатываемой толщи горных пород при камерной отработке ($k_t=0,5$).

Критерием безопасной подработки ВЗТ является условие, в соответствии с которым расстояние от кровли отработываемого пласта до нижней границы водозащитной потолочины должно быть больше высоты возможного образования трещин.

При двустадийной выемке проверка условий безопасной подработки ВЗТ выполняется на границах выработанного пространства, отработанных с разными параметрами отработки.

На смежных участках отработки должно выполняться условие, ограничивающее разность величин максимальных прогибов слоев ВЗТ (47):

$$\Delta\eta = \eta_0^1 - \eta_0^2 \leq [\eta_{доп}] \quad (47)$$

где η_0^1 и η_0^2 - расчетные значения максимальных оседаний водозащитной толщи на смежных участках, м, $\eta_0^1 > \eta_0^2$.

Величина допустимого оседания пород ВЗТ (48):

$$[\eta_{доп}] = \frac{\varepsilon_{кр}(h_v - [\Delta h] - h_{вп})}{0,28 \cdot k_t} \quad (48)$$

В качестве величины допустимого прогиба слоев водозащитной толщи $[\eta_{доп}]$ принимается минимальное значение этого параметра на границе смежных участков отработки. При проверке в проекте (годовых) мер охраны безопасных условий подработки ВЗТ на участке шахтного поля, отработанного с различными параметрами, используются минимальные значения $[\eta_{доп}]$ на каждой из границ переходных зон.

Максимальные оседания η_0 после второй стадии на конечный момент сдвижений должны быть в диапазоне $\eta_0 < [\eta_{доп}]$.

Ниже на рисунке 32 представлена область, соответствующая безопасным условиям подработки ВЗТ, лежащая ниже прямой максимальных оседаний. Область безопасной подработки ВЗТ по критерию разности величин максимальных оседаний может быть выражена следующим образом (49):

$$\eta_0^1 - \eta_0^2 \leq 0,3157 \cdot m - 0,1214 \quad (49)$$

где m – вынимаемая мощность пласта.

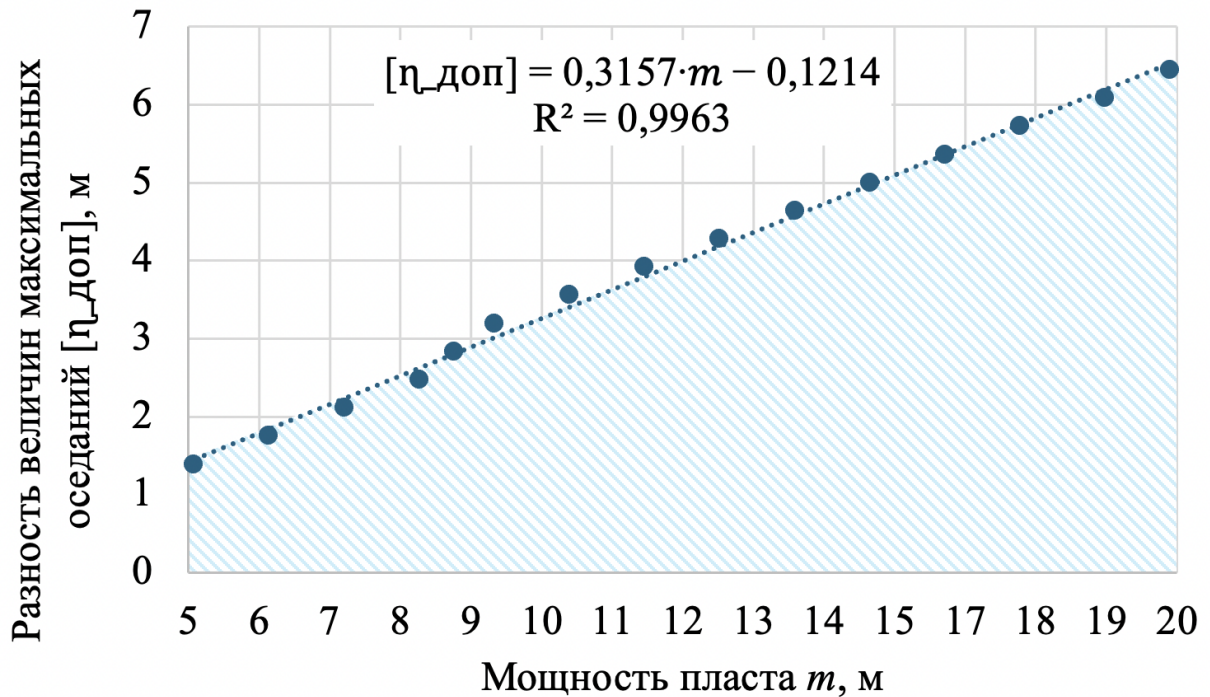


Рисунок 32 – Область безопасной подработки ВЗТ по критерию максимальных оседаний на смежных участках (составлено автором)

Расчеты проведены для типовых условий залегания пласта на глубине 1100 метров при максимальной ширине выемочного участка с соблюдением условий максимальной степени нагружения опорного целика.

В основе современных методик расчета параметров отработки оценка высоты трещинообразования ВЗТ $H_{\text{тр}}$ производится по эмпирической формуле (43), основанной на предельном прогибе ВЗТ. При этом длительное деформирование соляных пород учитывается только эмпирическим коэффициентом. Характер прогиба ВЗТ свидетельствует о том, что максимальные деформации и водопроницающие трещины образуются в краевых участках ВЗТ. При этом скорость деформации зависит от ползучести подстилающих пластов. В процессе

увеличения прогиба и нарастания трещин общая жесткость конструкции изменяется, что влияет на скорость деформирования пород и на общее сопротивление трещинообразованию. Таким образом, современные методики применимы лишь в ограниченном диапазоне и не дают полноценного представления о состоянии ВЗТ [78].

Трещины над очистным пространством возникают в результате прогиба водозащитной толщи. Трещины могут возникнуть не только в центре выемочного участка, но и на границе с опорным целиком.

Более точная оценка высоты трещинообразования может быть проведена с использованием методов численного моделирования, которое позволяет учесть реальное геологическое строение участка месторождения и параметры ведения горных работ, а также оценить напряженно-деформированное состояние пласта в процессе его отработки. Наибольшее распространение получили методики механики сплошной среды, где учесть трещинообразование в явном виде не представляется возможным, однако существуют модели, позволяющие учесть изменение жесткости материала вследствие его упрочнения и разупрочнения, что косвенно свидетельствует о разрушении.





Для оценки высоты развития трещин в результате ведения горных работ были проанализированы геологические разрезы глубоких месторождений калийных солей. В строении ВЗТ присутствуют хрупкие (ангидриты и ангидрит-доломиты) и вязкопластические (каменная соль) породы. В основном субвертикальные трещины формируются в породах, склонных к хрупкому разрушению, что объясняется различием в энергии трещинообразования у хрупких и пластических пород [78].

Для построения численных моделей был выделен типовой геологический разрез пород ВЗТ со следующими усредненными характеристиками, представленными в таблице 9 [63, 64, 84].

Целью моделирования являлось определение зон повреждений пород ВЗТ. Для анализа использована горизонтальная деформация растяжения. За критерий трещинообразования в модели принято превышение предела критических

деформаций растяжения. Согласно проведенному анализу, усредненная величина критической деформации для соляных пород составляет $\varepsilon_{xx_крит} = -0,001$ [5, 54, 66].

Таблица 9 – Типовой геологический разрез пород ВЗТ над продуктивным пластом (по данным автора)

Породы	$\sigma_{сж}$	σ_p	C	φ	μ	E	ρ
 Галит	38,7	3,2	7,9	32,9	0,20	24,45	2222
 Ангидрит- доломитовые породы	82,4	8,9	17,1	35,8	0,13	46,48	2715
 Ангидрит	119,9	9,7	19,4	35,1	0,16	67,93	2862
 Сильвинит	37,0	3,3	5,2	35,2	0,20	23,27	2114

$\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие, МПа; σ_p – предел прочности на растяжение, МПа; C – сцепление, МПа; φ – угол внутреннего трения, град; μ – коэффициент Пуассона, E – Модуль Юнга, ГПа; ρ – плотность, кг/м³

Результатом расчета является распределение горизонтальных деформаций над отработываемым пластом, а также областей с превышением критических горизонтальных деформаций. В реальности этим областям будут соответствовать зоны нарушения сплошности ВЗТ.

С целью сравнения предлагаемой технологии с традиционными системами разработки были построены три численные модели: #1 – выемка камер только в пределах выемочного участка; #2 - выемка камер первой очереди с применением твердеющей закладки; #3 - выемка камер первой очереди, закладка твердеющими материалами, последующая выемка камер второй очереди. По результатам моделирования оценивались области, соответствующие требованию $\varepsilon_{xx} < \varepsilon_{xx_крит}$.

Первая модель на конечный момент сдвижений характеризуется большими деформациями, что способствует образованию субвертикальных трещин, которые

могут распространяться над кровлей отрабатываемого пласта до 50 метров. Вторая модель характеризуется горизонтальными деформациями на уровень 5 м в центральной зоне выемочного участка, что свидетельствует о благоприятном эффекте от закладки камер. Третья модель характеризуется отсутствием областей ниже критического уровня.

При уменьшении вынимаемой мощности тенденция отсутствия горизонтальных деформаций при закладке камер первой очереди и выемке опорного целика сохраняется. С увеличением мощности начинается развитие горизонтальных деформаций. При отработке пласта мощностью 20 метров после выемки камер второй очереди над кровлей опорного целика появляются горизонтальные деформации, распространяющиеся на 7,8 м. Тем не менее, учитывая минимально допустимую мощность ВЗТ = 60 м, деформации являются допустимыми.

Дополнительно для модели #3 была произведена оценка возникновения трещин расслоения, которые характеризуются вертикальными деформациями ε_{yy} . Результаты исследования показали отсутствие зон, которые могут способствовать возникновению секущих трещин в породах ВЗТ.

Следует заметить, что отработка опорного целика положительно влияет на общую картину возникновения растягивающих напряжений. Выемка камер второй очереди способствует выполаживанию кривой оседаний, что обеспечивает более ровное опускание пород водозащитной толщи (рисунок 33). При этом уровень критических опусканий кровли, регламентируемый указаниями по защите рудников от затоплений, не превышает требуемых значений.

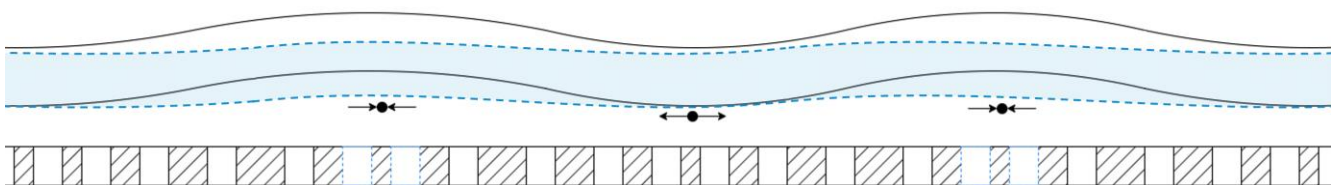


Рисунок 33 – Кривая оседаний пород водозащитной толщи (составлено автором)

Для подтверждения факта выполаживания кривой ВЗТ был построен график (рисунок 34), характеризующий кривизну оседаний пород ВЗТ, каждая точка которого была вычислена по формуле (50):

$$y_i = \frac{\Delta_{i+1} - \Delta_i}{\Delta l} \quad (50)$$

где Δ_{i+1} и Δ_i – координаты вертикальной деформации последующей и предыдущей точек;

Δl расстояние между соседними точками.

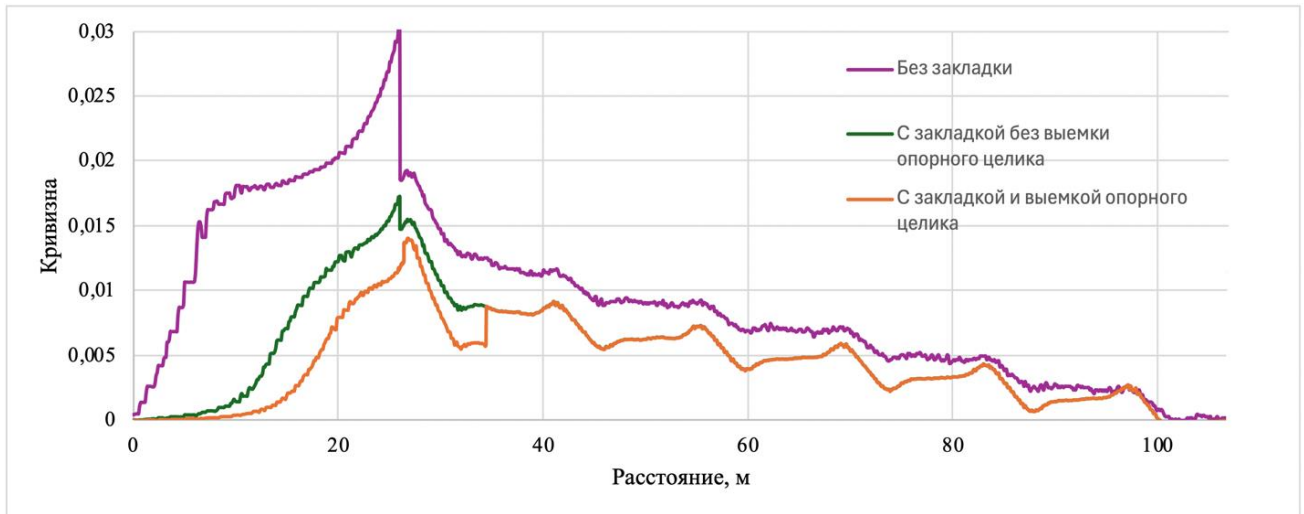


Рисунок 34 – Кривизна оседаний пород ВЗТ (составлено автором)

Согласно построенному графику, закладка камер первой очереди значительно снижает уровень вертикальных деформаций, а выемка опорного целика способствует выполаживанию кривой оседаний пород ВЗТ.

Описанные выше исследования позволяют выделить основные показатели, определяющие условия безопасной подработки ВЗТ и входящие в методику расчетов параметров разработки пологозалегающих калийных пластов:

- Степень нагружения междукамерных и опорных целиков;
- Высота распространения водопроводящих трещин над кровлей отработываемого пласта, рассчитываемая по величине максимальных прогибов слоев ВЗТ;
- Разность величин максимальных оседаний на смежных участках, а именно на границе «опорный целик – выемочный участок»;
- Горизонтальная и вертикальная деформация растяжения пород ВЗТ;
- Кривизна оседания пород ВЗТ.

4.4 Технико-экономическая оценка технологии доизвлечения запасов из опорных целиков

Эффективность предлагаемых решений оценена посредством рассмотрения их технико-экономических показателей для характерных условий отработки блока на Гремячинском месторождении калийных солей [75, 91, 97, 113].

Параметры системы разработки на участках шахтного поля без особых условий рассчитаны для условия применения камерной системы разработки (степень нагружения междукамерных целиков не более 0,4; опорных межчастковых – не более 0,54) и твердеющей закладки выработанного пространства (таблица 10).

Как было установлено ранее в разделе 3 настоящей работы наиболее благоприятные условия, характеризующиеся максимальным снижением действующих напряжений в опорном целике и позволяющие максимально снизить потери в опорном целике, возможны только при применении твердеющей закладки. В этой связи оценивался вариант рекомендуемого состава «шлаки 20%; базальтовая фибра 0,7%; солеотходы 79,3%» при конфигурации МКЦ по варианту Б (рисунок 12б) с доизвлечением ОЦ (рисунок 1д).

Итоговый коэффициент извлечения руды после второй стадии по блоку был рассчитан по формуле (51):

$$K_{\text{извл}} = k_1 + (1 - k_1) \cdot k_2 \quad (51)$$

где $K_{\text{извл}}$ – коэффициент извлечения после отработки блока двустадийной выемкой;

k_1 – коэффициент извлечения при отработке запасов первой очереди;

k_2 – коэффициент извлечения при отработке запасов второй очереди.

Степень извлечения руды на второй стадии при отработке опорного целика мощностью 9 м зависит от величины действующих напряжений в опорном целике. Изменение величины извлечения запасов из опорных целиков при разном коэффициенте концентрации напряжений k , представлено на рисунке 35 и может быть аппроксимировано функцией (52) с величиной достоверности $R^2 = 0,9643$.

Таблица 10 – параметры ведения очистных и закладочных работ (по данным автора)

Глубина отработки, м	1100	Закладка	твердеющая
Мощность ВЗТ, м	320	Коэффициент заполнения камер закладкой	0,8
Вынимаемая мощность, м	9	Величина максимального оседания	0,52
Ширина выемочного участка, м	160	Высота распространения техногенных водопроводящих трещин над кровлей отрабатываемого пласта (расчетные значения)	2,1
Ширина камер, м	5,1	Степень нагружения МКЦ / ОЦ	0,3/0,54
Ширина целиков первой очереди	5÷11	Разность оседаний на выемочном участке и опорном целике	1,2
Количество камер первой очереди	12	Горизонтальные деформации растяжения	нет
Ширина целиков второй очереди	4,75	Соблюдение условий безопасной подработки ВЗТ	Верно
Количество камер второй очереди	5	Степень извлечения после первой стадии в пределах блока	0,286
Ширина опорного целика, м	54	Степень извлечения после второй стадии в пределах блока	0,445

Зависимость изменения извлечения запасов от коэффициента концентрации напряжений (52):

$$K_{\text{извл}} = -10,114 \cdot k + 56,19 \quad (52)$$

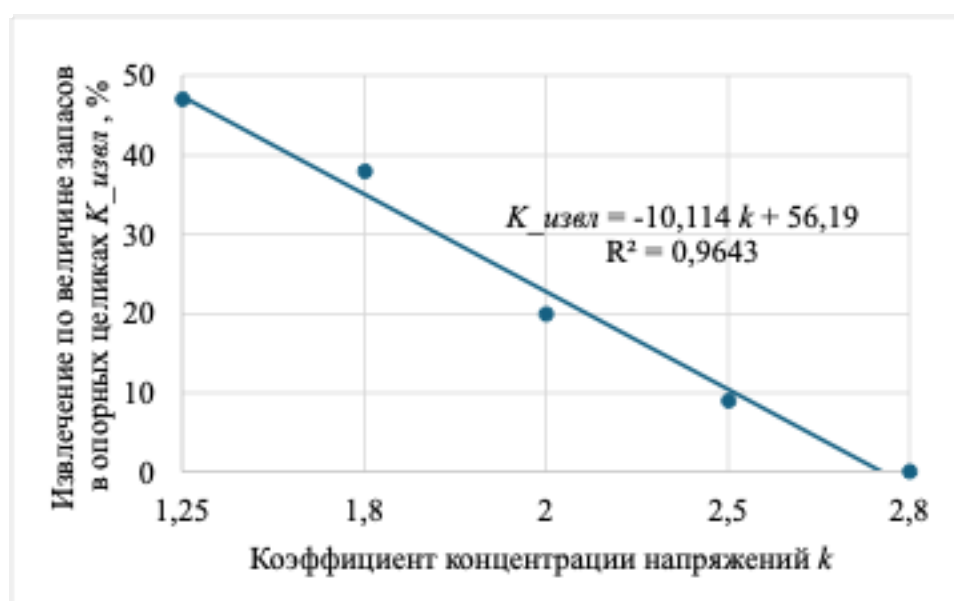


Рисунок 35 – Величина извлечения запасов из опорных целиков (составлено автором)

Преимущество дополнительного извлечения запасов из опорных целиков выражается экономической эффективностью. Для корректного обоснования эффективности предлагаемой технологии произведены расчеты выручки от продажи хлористого калия, себестоимости добычи сильвинитовой руды, себестоимости закладки выработанного пространства.

Сравнение проводилось с технологической схемой с конфигурацией МКЦ по варианту А (рисунок 12а) с применением сухой закладки без доизвлечения ОЦ (базовая схема на месторождении).

Расчеты экономической эффективности внедрения предлагаемой технологии могут быть проведены сравнением укрупненных эксплуатационных затрат при реализации технологии сухой и твердеющей закладки. Дополнительный доход, полученный от повышения извлечения сильвинитовой руды из опорных целиков, может быть вычислен как разность чистых приведенных стоимостей сравниваемых вариантов и рассчитан формуле (1).

Относительная эффективность (по NPV) при базовом варианте с применением сухой закладки без доизвлечения целиков (В1) и варианте с твердеющей закладкой и отработкой опорных целиков (В2) для параметров одной панели приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Экономическое сравнение базового и предлагаемого вариантов (по данным автора)

Показатель	Ед. изм.	В 1	В 2
Сильвинитовая руда	млн т	8,5	11,2
Расход руды на 1 т хлористого калия	единица	2,67	
Производство хлористого калия	млн т	3,2	4,2
Цена 1 т хлористого калия	руб	34 257	
Выручка от реализации продукции	млн руб	127 587	169 918
Затраты	млн руб	1 425	10 285
NPV	млн руб	76 720	84 185
NPV _Δ	млн руб	7 465	

Сравнительная эффективность от дополнительной добычи запасов, оцениваемая по величине относительного NPV, равная разнице выручки от

реализации продукции и всех затрат, приведенных по коэффициенту дисконтирования на срок реализации проекта, составляет 7 465 млн руб.

Для представленных выше условий средней вынимаемой мощности пласта 9 м, выемка пяти камер второй очереди позволила снизить потери в опорных целиках на 47%, что соответствует 16,2% эксплуатационных потерь (здесь за 100% эксплуатационных потерь приняты запасы МКЦ первой очереди и опорных целиков) в блоке. При максимальной степени извлечения опорных целиков для рассматриваемых минимальной (5 м) и максимальной (20 м) мощностей величина уменьшения потерь в опорных целиках составляет 63% и 30% соответственно (рисунок 36).

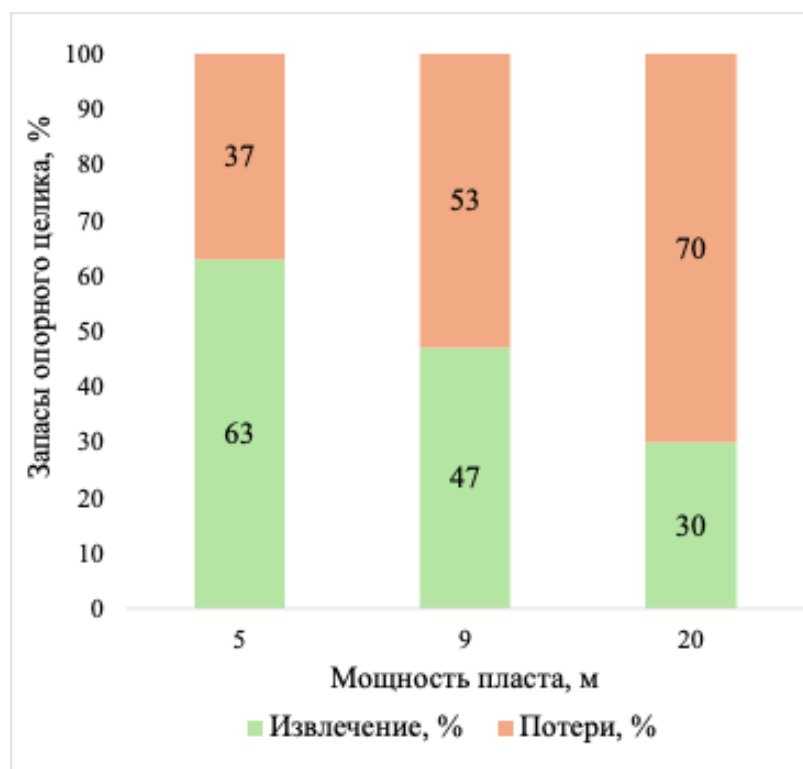


Рисунок 36 – Соотношение извлечения и потерь в опорных целиках для минимальной, средней и максимальной вынимаемой мощности пласта (составлено автором)

Узким местом рассматриваемой технологии с точки зрения ее экономичности и технологичности, является необходимость ведения закладочных работ. Однако, таковая необходимость на современных калийных рудниках и так диктуется весьма негативным опытом разработки калийных месторождений (в том числе опытом рудников Верхнекамского месторождения, где отсутствие закладочных работ в

прошлом привело к целому ряду проблем в настоящем), поэтому затраты на закладочный комплекс, а также весь спектр сложных организационных и технологических проблем, возникающих при его эксплуатации, можно считать неизбежны для вновь проектируемых калийных рудников. В этой связи не следует рассматривать необходимость ведения крупномасштабных «площадных» работ по закладке выработанных пространств исключительно как недостаток предлагаемой технологии.

Помимо этого, за экономической эффективностью следует социальная: снижение эксплуатационных потерь расширяет масштабы добычи, создавая дополнительные ресурсы для инвестиций в человеческий капитал и инфраструктуру [56, 111].

Положительный аргумент также состоит в том, что реализация предложенного способа не потребует проведения большого комплекса дополнительных вскрывающих и подготовительных выработок, а также в целом существенного пересмотра технологической схемы рудника. Следует также учесть, что рассматриваемая технология позволяет более полно использовать запасы месторождения, увеличивая срок службы предприятия. В долгосрочной перспективе уменьшение потерь увеличивает общий объем добычи, что эквивалентно экономии на освоении новых участков.

4.5 Выводы по главе 4

1. Приведена технологическая схема ведения закладочных работ, обеспечивающая создание многокомпонентной твердеющей закладки на участке и укладку закладочной смеси под кровлю путем дозаклада камеры бетононасосами.

2. При двустадийной выемке проверка условий безопасной подработки ВЗТ выполняется с учетом предельного прогиба слоев ВЗТ; разности максимальных опусканий слоев ВЗТ над выемочным участком и над доизвлекаемым опорным целиком; степени нагружения опорных и междукамерных целиков первой и второй очереди; горизонтальных и сдвиговых деформаций; кривизны оседания пород ВЗТ.

3. Чем меньше величина действующих напряжений в опорном целике, тем выше итоговый коэффициент извлечения. Для типовых условий залегания пласта на глубине 1100 метров при максимальной ширине выемочного участка с соблюдением условий максимальной степени нагружения опорного целика, коэффициент извлечения может быть выражен зависимостью от коэффициента концентрации напряжений после закладки камер первой очереди.

4. Разработанная технология, включающая доизвлечение запасов из опорных целиков с использованием твердеющей закладки при рассматриваемых минимальной (5 м) и максимальной (20 м) мощностях величина уменьшения потерь в опорных целиках составляет 63% и 30% соответственно. При средней вынимаемой мощности пласта технология позволяет снизить эксплуатационные потери полезного ископаемого в опорных целиках на 47% при реализации предложенного варианта системы разработки и получить экономический эффект в размере 7 465млн руб.

5. Помимо экономической эффективности преимущества предлагаемой технологии заключаются в создании дополнительных ресурсов для инвестиций в человеческий капитал и инфраструктуру, а также в эколого-экономическом эффекте от предотвращения ущерба окружающей среде благодаря утилизации значительных объемов отходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований обоснованы параметры камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства, обеспечивающей существенное (на величину до 63%) снижение эксплуатационных потерь руды в опорных целиках, что имеет важное значение для калийной отрасли РФ. Основные научные и практические результаты выполненного исследования заключаются в следующем:

1. Горно-геологические и горнотехнические условия большинства месторождений РФ и мира определяют необходимость применения камерной системы разработки с удержанием кровли на рудных целиках, в которых заключена существенная часть балансовых запасов. Дальнейшее развитие калийной промышленности РФ в ближайшие годы связано с резким переходом глубин залегания разрабатываемых пластов от текущих средних значений ~350 м к значениям порядка ~1000 м, что в случае отсутствия адекватных технологических решений приведёт к соответствующему увеличению потерь калийной руды (до 80%).

2. Установлено, что в условиях перехода горных работ на большие глубины (более 500 м) к наиболее целесообразным технологиям разработки пологозалегающих калийных пластов следует отнести варианты камерной системы разработки с периодическим оставлением в выработанном пространстве опорных межучастковых целиков. Данные варианты показывают увеличение объемов извлечения руды по сравнению с вариантами без опорных целиков в среднем на ~8-12% процентов.

3. Показано, что дальнейшее экономически эффективное и безопасное повышение коэффициента извлечения при разработке калийных пластов возможно обеспечить путем выемки запасов из опорных целиков с применением закладки выработанного пространства, при этом обоснована технологическая возможность организации совместного ведения основных добычных работ и работ по доизвлечению запасов опорных целиков в пределах одного блока. Показано, что варианты с доизвлечением междукамерных целиков менее целесообразны по

факторам наличия недозаклада и повышенной нагрузки на междукамерные целики, сохраняющейся в течение 25-35 лет после образования целиков.

4. Разработан типовой вариант системы разработки пологозалегающего калийного пласта, позволяющий снизить потери в опорных целиках на 63% и предусматривающий отработку запасов блока камерной системой разработки с оставлением в пределах выемочного участка междукамерных целиков переменной ширины и опорных целиков между участками, ведение закладочных работ и последующее доизвлечение опорных целиков.

5. На основе численного моделирования определена зависимость действующих напряжений в опорном целике от параметров отработки смежных выемочных участков с учетом ведения на них закладочных работ при реализации предложенного варианта системы разработки.

6. В результате серии лабораторных экспериментов получен состав закладочной смеси, включающий солеотходы 79,3 масс.%, металлургические шлаки 20 масс.%, базальтовую фибру 0,7 масс.%, соляной раствор, позволяющий снизить потери в опорных целиках на величину до 63% при реализации предложенного варианта системы разработки и получить экономический эффект в размере 7 465 млн руб.

7. Разработана методика обоснования параметров технологии разработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах, обеспечивающих безопасное снижение потерь полезного ископаемого, учитывающая фактор ограничения роста напряжений в опорных целиках за счет управления параметрами разработки смежных выемочных участков.

Перспективное направление дальнейшего развития темы диссертации связано с разработкой технологии выемки калийной руды со сниженными потерями для условий отработки двух и более смежных взаимовлияющих пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агзамов, Ф.А. Исследование влияния фиброармирования на свойства тампонажных материалов / Ф.А. Агзамов, М.А. Тихонов, И.Н. Каримов // Нефтегазовое дело. -2013. - Т. 11, № 2. - С. 30-39.
2. Андреичев, А.Н. Разработка калийных месторождений. - М.: Недра, 1966. - 254 с.
3. Антонинова, Н.Ю. Оценка возможной деградации экосистемы при использовании промышленных отходов горнометаллургического комплекса при ликвидации горных выработок / Н.Ю. Антонинова, Л.А. Шубина, А.В. Собенин, А.И. Усманов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 5. -С. 193-201. -DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_193.
4. Асанов, В.А. Изучение особенностей деформирования соляных пород при длительном нагружении / В.А. Асанов, И.Л. Паньков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - №1. - С. 1-7.
5. Асанов, В.А. Методические аспекты определения прочностных, деформационных и энергетических характеристик соляных пород при прямом растяжении породных образцов в лабораторных условиях / В.А. Асанов, И.Л. Паньков, В.С. Кузьминых, И.А. Морозов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2018. - № 4. - С. 58-68. DOI: 10.15593/perm.mech/2018.4.05
6. Барях, А.А. Калийная промышленность России: проблемы рационального и безопасного недропользования / А. А. Барях, Э.В. Смирнов, С.Ю. Квиткин, Л.О. Тенисон // Горная промышленность.- 2022. - № 1. - С. 41-50. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1-41-50.
7. Барях, А.А. Мониторинг негативных последствий затопления калийного рудника / А.А. Барях, И.А. Санфиоров, Р.А. Дягилев // Горный журнал. - 2013. - № 6. - С. 34-39.
8. Барях, А.А. О мерах охраны калийных рудников от затопления. / А.А. Барях, Е.А. Губанова // Записки Горного института. - 2019. - Т.240. - 613-620. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.613.

9. Беляков, Н.А. Прогноз целостности водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении калийных руд / Н.А. Беляков, А.А. Беликов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2022. - № 6-2. - С. 33-46. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_33.

10. Бергер, Р.В. Развитие научно-методических основ технологий закладки выработанного с учётом специфики горно-геологических и горнотехнических условий освоения месторождений солей / М.В. Рыльникова, Р.В. Бергер, П.О. Зубков, В.И. Татарников // Рациональное освоение недр. – 2024. – № 1 (75). – С. 36-44.

11. Беспалов, В.С. Оценка безопасности подработки водозащитной толщи пластом Красный-II в сложных горно-геологических условиях на Верхнекамском месторождении солей / В.С. Беспалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2026. - № 2-1. - С. 85--98. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_21_0_85.

12. Борзаковский, Б.А., Папулов Л.М. Закладочные работы на Верхнекамских калийных рудниках: Справочник. - М.: Недра, 1994. - 234 с.

13. Босиков, И.И. Анализ и комплексная оценка газодинамических процессов на угольных шахтах с помощью методов теории вероятности и математической статистики / И.И. Босиков, Р.В. Ключев, В.Н. Хетагуров // Устойчивое развитие горных территорий. - 2022. - Т.14(3). - С. 461-467. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-461-467.

14. Васильева, М.А. Оборудование и технологии для проведения работ по дозакладке выработанного пространства / М.А. Васильева, А.А. Волчихина, М.Д. Морозов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - №6. - С.133-144. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_133.

15. Волков, Е.П. Разработка технологии закладки выработанного пространства твердеющими смесями с использованием хвостов обогащения: дис. ... канд. техн. наук. - Красноярск, 2021. - 214 с.

16. Вотяков, М.В. Повышение полноты извлечения запасов калийных руд на основе закладки выработанного пространства галитовыми отходами: дис. ... канд. техн. наук. - Москва, 2009. - 104 с.

17. Гилев, М.В. Закладка выработанного пространства при разработке сильвинитовых пластов как конструктивный элемент системы разработки / М.В. Гилев, С.А. Константинова, В.Е. Мураков, С.А. Чернопазов // Маркшейдерский вестник. - 2007. - № 1. - С. 33-40.

18. Голик, В.И. Использование вяжущих на основе металлургических шлаков в составе закладочных смесей / В.И. Голик, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Ю.С. Тюляева, А.М. Хайрутдинов // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. - 2020. - № 4. - С. 389-400.

19. Голик, В. И. Использование хвостов обогащения руд в твердеющих смесях / В. И. Голик, Ю. В. Дмитрак, Р. Н. Максимов, Ю. М. Ляшенко // Горный информационно- аналитический бюллетень. - 2018. - №. S25. - С. 18-27. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-25-18-27

20. Головатый, И.И. Оценка возможности выемки оставленных запасов Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения, отработанных камерной системой / И.И. Головатый, А.Б. Петровский, В.Я. Прушак // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. - 2019. - Т. 64(4). - С. 497--510. DOI: 10.29235/1561-8358-2019-64-4-497-510.

21. ГОСТ 12248.4-2020. Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия. - Москва: Стандартинформ, 2020. - 15 с.

22. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. - Москва: Издательство стандартов, 1984. - 8 с.

23. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. - Москва: Издательство стандартов, 1991. - 11 с.

24. Губанов, В.А. Исследование проявлений горного давления в подготовительных и очистных выработках при выемке подработанных и оставленных запасов в IV сильвинитовом слое и междустолбовом целике опытной лавой № 11-3 горизонта - 620 м рудника 3 РУ ОАО «Беларуськалий» / В.А.

Губанов, Д.А. Пузанов, М.С. Мозговенко, К.А. Ерохин, И.А. Подлесный // Горная механика и машиностроение. - 2017. - № 2. - С. 5-18.

25. Деревяшкин, И.В. Аналитический обзор статистических данных о причинах, вызывающих осадку поверхности калийных рудников и эффективности применяемых мероприятий по защите рудников от затопления / И.В. Деревяшкин, А.В. Кузина, В.П. Спиридонов // Маркшейдерия и недропользование. - 2017. - Т.6. - № 92. - С. 37-40.

26. Евсеев, А.В. Определение допустимого срока отставания закладочных работ на калийных рудниках / А.В. Евсеев, Е.Л. Васильева, Л.О. Тенисон, А.Р. Имайкина // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2025. - №4. С. 440-447

27. Заявка на регистрацию патента № 2025136780 Российская Федерация, МПК. E21C 41/20 (2006.01), E21F 15/00 (2006.01). Способ разработки калийных пластов на больших глубинах: заявл. 18.12.2025 / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Ю.Г. Сиренко, Г.Н. Карпов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

28. Заявка на регистрацию патента № 2025136783 Российская Федерация, МПК E21C 41/20 (2006.01), E21F 15/00 (2006.01). Способ разработки калийных пластов на больших глубинах: заявл. 18.12.2025 / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Ю.Г. Сиренко, Г.Н. Карпов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

29. Земсков, А.Н. Основные направления развития калийной промышленности в мире в настоящее время / А.Н. Земсков, Н.А. Липницкий, М.Ю. Лискова // Известия ТулГУ. Науки о Земле. - 2024. - Вып.3. - С 535-543.

30. Земсков, А.Н. Современные тенденции в развитии калийной промышленности в мире / А.Н. Земсков, Н.Г. Максимович, О.Ю. Мещерякова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2022. - Вып. 3. - С.369-381.

31. Зотеев, О.В. Влияние сухой закладки на несущую способность целиков / О. В. Зотеев, Р. В. Криницын // Проблемы недропользования. - 2019. - № 4. - С. 144-155.

32. Зубов, В.П. Повышение безопасности рудников при отработке Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / В.П. Зубов, Е.Р. Ковальский, С.В. Антонов, В.В. Пачгин // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2019. - № 5. - С. 22--33. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33.

33. Зубов, В.П. Применяемые технологии и актуальные проблемы ресурсосбережения при подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых // Горный Журнал. - 2018. -№6. - С.77-83. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.16.

34. Зубов, В.П. Снижение рисков затопления калийных рудников при прорывах в горные выработки подземных вод / В.П. Зубов, А.Д. Смычник // Записки Горного института. - 2015. - № 215. - С. 29-37.

35. Зубов, В.П. Технологии интенсивной разработки калийных пластов длинными очистными забоями на больших глубинах: актуальные проблемы, направления совершенствования / В.П. Зубов, Д.Г. Сокол // Записки Горного института. - 2023. - №. 264. - С. 874-885.

36. Ильинов, М.Д. Комплексные экспериментальные исследования механических свойств горных пород: проблемы и пути их решения / М.Д. Ильинов, В.А. Коршунов, Г.Б. Поспехов, А.Н. Шоков // Горный журнал. - 2023. - № 5. - С. 11-18. DOI: 10.17580/ gzh.2023.05.02

37. Иофис, М.А. Геомеханические критерии безопасной отработки Гремячинского месторождения калийных солей / М.А. Иофис, Е.Н. Есина, В.Е. Мариков, А.Н. Чистяков // Маркшейдерский вестник. - 2011. - № 4. - С. 44–52.

38. Иофис, М.А. Пути снижения потерь полезных ископаемых при камерных системах разработки / М.А. Иофис, А.В. Гришин, Е.Н. Есина // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - №S1. - С. 44-52.

39. Казанин, О.И., Евсюкова А.А. Обоснование технологии проведения спаренных выработок с отработкой межштрековых целиков короткими забоями //

Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2025. — № 11-1. — С. 23—37. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_111_0_23.

40. Калмыков, В.Н. Изыскание состава и технологии приготовления бесцементных закладочных смесей на основе известково-шлакового вяжущего / В.Н. Калмыков, И.С. Белобородов, В.В. Григорьев, А.В. Сараскин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2005. - № 7. - С. 242-245.

41. Карасев, М.А. Лабораторные исследования и анализ математических моделей деформирования раздробленных соляных пород / М. А. Карасев, А. А. Селихов, А. К. Бычин // Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – № 4(72). – С. 94- 105. – DOI: 10.21440/2307-2091-2023-4-94-105.

42. Квиткин, С.Ю. Повышение извлечения полезного ископаемого из недр - программа действий ОАО "Уралкалий" в ближайшем десятилетии // Рациональное недропользование. - 2013. -№ 3-4. - С. 82-85.

43. Ковальский, Е.Р. Извлечение запасов из опорных целиков при разработке калийных пластов на больших глубинах / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн** // Горные науки и технологии. – 2026. - №11(1). – С. 5-15. DOI: 10.17073/2500-0632-2026-02-1107.

44. Ковальский, Е.Р. Моделирование процесса деформирования междукамерных целиков в условиях закладки очистных камер / Е.Р. Ковальский, К.В. Громцев, Д.Н. Петров // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - №9. - С. 87-101. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-87-101.

45. Ковальский, Е.Р. Моделирование реологических процессов деформирования несущих элементов камерной системы разработки для условий Верхнекамского месторождения калийных солей / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Ю.Г. Сиренко, Н.А. Миронов // Устойчивое развитие горных территорий. - 2024. - Т. 16. - №3. - С. 1017-1030. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-3-1017-1030.

46. Ковальский, Е.Р. Особенности многостадийной выемки руды при разработке калийных месторождений (материалы научной конференции) / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн** // Проблемы освоения недр в XXI веке

глазами молодых: материалы 16 международной научной школы молодых ученых и специалистов: материалы научной конференции с международным участием, Москва, 23–27 октября 2023 года / ИПКОН РАН. – Москва: ИПКОН РАН, 2023. – С. 195-198.

47. Ковальский, Е.Р. Оценка возможных способов заложения капитальных выработок на глубоких горизонтах проектируемого калийного рудника Западно-Петриковского месторождения / Е.Р. Ковальский, Н.А. Миронов, Д.В. Уразов, Н.А. Мусинский // Устойчивое развитие горных территорий. - 2025. - Т. 17(2). - С. 1033--1045. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-2-1033-1045.

48. Ковальский, Е.Р. Проблемы и перспективы внедрения многостадийной выемки руды при отработке запасов калийных месторождений / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Д.Н. Петров // Устойчивое развитие горных территорий. - 2023. - Т.15. - №2. С. 349--364. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-349-364.

49. Ковальский, Е.Р. Повышение извлечения полезного ископаемого при разработке калийных пластов на больших глубинах (материалы научной конференции) / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн** // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы 17 международной научной школы молодых ученых и специалистов: материалы научной конференции с международным участием, Москва, 27–31 октября 2025 года / ИПКОН РАН. – Москва: ИПКОН РАН, 2025. – С. 189-190.

50. Ковальский, Е.Р. Разработка технологии закладки выработанного пространства при выемке / Е.Р. Ковальский, К.В. Громцев // Записки Горного института. - 2022. - Т. 254. - С. 202-209. DOI: 10.31897/PMI.2022.36.

51. Ковальский, Е.Р. Снижение потерь полезного ископаемого при разработке калийных пластов на больших глубинах / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн** // Устойчивое развитие горных территорий. - 2025. - Т. 17, № 4. - С. 1852-1862. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-4-1852-1862.

52. Конгар-Сюрюн, Ч.Б. Исследование влияния активационной обработки на галитовые отходы обогащения при приготовлении закладочной смеси / Ч.Б. Конгар-Сюрюн, В.В. Фараджов, Ю.С. Тюляева, А.М. Хайрутдинов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 1. - С. 43--57. - DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-43-57.

53. Конгар-Сюрюн, Ч.Б. Твердеющие закладочные смеси на калийных рудниках: перспективные материалы, регулирующие напряжённо-деформированное состояние массива / **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Е.Р. Ковальский // Геология и геофизика Юга России. - 2023. - № 13(4). - С.177-187. DOI: 10.46698/VNC.2023.34.99.014.

54. Константинова, С.А. Некоторые задачи механики деформирования и разрушения соляных пород / С.А. Константинова, В.Н. Аптуков. - Новосибирск: Наука, 2013. - 191 с.

55. Кратч, Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений. / Г. Кратч. - Москва: Недра, 1978. - 494 с.

56. Куликова, А.А. К вопросу снижения геоэкологических рисков на горнодобывающих предприятиях / А.А. Куликова, Т.И. Овчинникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 2-1. - С. 251-262. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

57. Лаптев, Б.В. Аварийные ситуации на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей // Безопасность труда в промышленности. -2009. - №8. - С.28-31.

58. Лискова, М.Ю. Геоэкология при современном строительстве предприятий по добыче и обогащению калийно-магниевых солей // Известия ТулГУ. Науки о Земле. - 2016. - № 4. - С. 39-49.

59. Лобанов, С.Ю. О влиянии свойств закладки на несущую способность междукамерных целиков / С.Ю. Лобанов, А.Ю. Шумихина // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - №4. - С.24--27.

60. Марысюк, В.П. Применение данных микросейсмического мониторинга для прогноза величины зоны влияния очистных работ на руднике

«Октябрьский» / В. П. Марысюк, А. В. Трофимов, А. А. Андреев, А. В. Колганов // Горный журнал. - 2024. - Т. 3. - С. 5. - DOI: 10.17580/gzh.2024.03.05.

61. Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей. - Апатиты: Академия наук СССР. Кольский научный центр. Горный институт. Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья, 1990. - Режим доступа: <https://clck.ru/3SebTp>

62. Михеева, А.Б. Выбор способа и средств закладки выработанных пространств при извлечении целиков различного функционального назначения / А.Б. Михеева, А.В. Тихонов, В.В. Агафонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 12. - С. 25-29.

63. Морозов, И.А. Изучение устойчивости горных выработок в соляных породах / И.А. Морозов, И.Л. Паньков., В.Н. Токсаров // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 9. - С. 36-47. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_9_0_36.

64. Морозов И.А. Оценка устойчивости горных выработок в соляных породах Гремячинского месторождения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Пермь, 2022. - 24 с.

65. Носиков, А.В. Исследование ползучести каменных солей и применение в инженерных расчетах конструкции скважин / А.В. Носиков, С.А. Коротков, Е.Ю. Трясин, К.В. Торопецкий, Б.О. Михайлов, Г.А. Борисов // Экспозиция нефть газ ноябрь. - 2018. -Т.7. - № 67. - С. 29-36.

66. Паньков, И.Л. Исследование механических свойств соляных пород при растяжении / И.Л. Паньков, Ю.И. Гараева // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 10. - С. 87-90.

67. Паньков, И.Л. Практика использования испытательного оборудования при изучении деформирования и разрушения квазипластичных горных пород в лабораторных условиях / И.Л. Паньков, В.А. Асанов, А.А. Ударцев, В.С. Кузьминых // Вестник КРСУ. - 2016. - Том 16. - № 1. - С. 163-167.

68. Патент № 2828366 Российская Федерация, МПК E21C 41/20 (2006.01); СПК E21C 41/20 (2024.01). Способ подготовки и разработки выемочного блока

или панели диагональными камерами. Заявка № 2023130056: заявл. 20.11.2023: опубл. 09.10.2024 / А.В. Гришин, Е.А. Ермолович, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, В.Е. Марakov, А.Н. Чистяков, А.А. Чудинов, М.М. Хайрутдинов; заявитель/патентообладатель общество с ограниченной ответственностью Научно-внедренческая компания "Горная геомеханика" (ООО НВК "Горгеомех"). – 10 с.

69. Патент № 2834564 Российская Федерация, МПК E21F 15/00 (2006.01); СПК E21F 15/005 (2024.08); B09B 3/00 (2024.08). Состав закладочной смеси. Заявка № 2024114126: заявл. 24.05.2024: опубл. 11.02.2025 / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Д.Н. Петров; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». - 7 с.

70. Пелипенко, М.В. К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках / М.В. Пелипенко, С.В. Баловцев, И.И. Айнбиндер // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. - №11. - С. 180-192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

71. Пермяков Р.С., Ковалев О.В., Пинский В.Л., Романов В.С., Нестеров М.П., Проскураков Н.М. Справочник по разработке соляных месторождений. - М.: Недра, 1986. - 212 с.

72. Петров, Д.Н. Исследование возможности применения методов неразрушающего контроля для оценки прочностных свойств горных пород в условиях подземного рудника Гремячинского месторождения / Д. Н. Петров, В. И. Абашин, М. А. Карасев, А. А. Селихов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – No 12-1. – С. 227-244. – DOI: 10.25018/0236_1493_2024_121_0_227.

73. Петровский, А.Б. Технология выемки оставленных и подработанных запасов по IV сильвинитовому слою на руднике третьего рудоуправления ОАО «Беларуськалий» / А.Б. Петровский, И.И. Головатый, В.А. Губанов, А.Л. Поляков // Горный журнал. - 2018. - №8. - С.64-69. DOI: 10.17580/gzh.2018.08.09.

74. Петровский, А.Б. Устойчивость подготовительных выработок Старобинского месторождения на глубинах свыше 650 метров на участках, вмещающих подработанный камерной системой 4-й сильвинитовый слой // Горная механика и машиностроение. - 2022. - №1. - С. 5-13.

75. Пешкова, М.Х. Современные методы оценки инвестиционной привлекательности компаний минерально-сырьевого комплекса / М.Х. Пешкова, О.В. Шульгина // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - № S1. - С. 193-208.

76. Программный комплекс: сайт. -URL: <https://itascasoftware.com/products/flac3d/> (дата обращения: 01.03.2026). - Режим доступа: для всех пользователей. -- Текст: электронный.

77. Программный комплекс: сайт. - URL: <https://www.rocscience.com> (дата обращения: 01.03.2026). - Режим доступа: для всех пользователей. - Текст: электронный.

78. Протосеня, А.Г. Совершенствование методики прогноза зон трещинообразования в породах водозащитной толщи для условий глубоких месторождения калийных солей / А.Г. Протосеня, А.В. Андреева // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2025. - № 5. - С.117-127.

79. Решетников, И.А. Совершенствование параметров системы разработки БКПРУ-4 // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. - 2016. - № 1. - С. 271-274.

80. Русаков, М.И. изучение свойств отходов рудников Верхнекамского калийного месторождения и разработка новых способов закладки выработанных пространств: дис. ... канд. техн. наук. - Тула, 2019. - 172 с.

81. Рыбак, Я. Прогнозирование геомеханического состояния массива при отработке соляных месторождений с закладкой / Я. Рыбак, М.М. Хайрутдинов, Д.А. Кузиев, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Н.В. Бабырь // Записки Горного института. - 2022.- Т. 253. - С. 61-70. DOI: 10.31897/PMI.2022.2

82. Рыжов, П.А. Математическая статистика в горном деле: учебное пособие для вузов по спец. «Маркшейдерское дело» / П.А. Рыжов. - Москва: Высшая школа, 1973. - 287 с.

83. Рыльникова, М.В. Формирование и сооружение изолирующих перемычек в горных выработках подземных рудников под заполняемым хвостовой пульпой карьером / М.В. Рыльникова, В.В. Олизаренко, А.П. Михальчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - № S1-1. - С. 124-137.

84. Рыльникова, М.В. Закономерности геодинамических явлений при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений калийно-магниевых солей / М.В. Рыльникова, Е.Н. Есина, Е.М. Сахаров, Р.В. Бергер // Горная промышленность. – 2023. - №1. – С. 89-94. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-1-89-94.

85. Савич, И.Н. Технология очистной выемки Верхнекамского калийного месторождения / И.Н. Савич, М.В. Вотяков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2006. - №9. - С. 268-271.

86. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661684 Российская Федерация. Программа для расчета условий безопасной подработки водозащитной толщи. Заявка № 2024618573: заявл. 19.04.2024; опубл. 21.05.2024 / Е.Р. Ковальский, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Н.А. Миронов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». - 1 с.: ил. – Текст: непосредственный.

87. Сиренко, Ю.Г. Совершенствование селективной выемки калийных пластов короткими очистными забоями с частичной закладкой выработанных камер / Ю.Г. Сиренко, Е.Р. Ковальский // Горный журнал. - 2016. №1. - С.24-26. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.05.

88. Сметанников, Ан.Ф. Способ получения и возможности применения новых комплексных удобрений из флотационных шламов - отходов переработки калийно-магниевых руд / Ан.Ф. Сметанников, К.Н. Корляков, Д.В. Оносов, Л.Г.

Цема, Е.Ф. Оносова, Д.Г. Шишков, М.Т. Васбиева, Ал.Ф. Сметанников // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. - 2024. - Вып. 120. - С. 295-324. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-120-295-324.

89. Соболев, В.В. О вопросах особенности проектирования технологических объектов подземных горных работ в целях повышения уровня безопасности производственных объектов // Материалы доклада. Главгосэкспертиза. - Красноярск. - 2019.

90. Соннов, М.А. Геотехническое обоснование отработки залежей, ограниченных тектоническими нарушениями на основе применения конечно-элементного моделирования / М.А. Соннов, А.Е. Румянцев, А.В. Трофимов, В.Б. Вильчинский // Горная Промышленность. - 2018. - Т. 5(141). - С. 107-110. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-107-110.

91. Соннов, М.А. Численное моделирование изменения напряженно-деформированного в процессе отработки месторождения в программном комплексе САЕ Fidesys с использованием функции пошагового расчета / А.Е. Румянцев, А.В. Трофимов, В.Б. Вильчинский // Горная промышленность. - 2020. - №2. - С. 110-114. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-2-110-114.

92. Сравнительная геомеханическая оценка применения различных вариантов систем разработки в условиях Гремячинского месторождения калийных солей: отчет о НИР - М: ФГБУ ИПКОН РАН, 2015.

93. Стадник, Д.А. Совершенствование методических основ автоматизированного календарного планирования развития горных работ при проектировании подземной отработки рудных месторождений / Д.А. Стадник, О.З. Габараев, Н.М. Стадник, А.М. Тедеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - № 11-1. - С. 189-201. - DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-189-201.

94. Токсаров, В.Н. Исследование деформирования подземных горных выработок в условиях Гремячинского месторождения калийных солей / В.Н. Токсаров, И.А. Морозов, Н.Л. Бельтюков, А.А. Ударцев // Горный

информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - №7. - С.113-124. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-113-124.

95. Токсаров, В.Н. Определение механических свойств соляных пород отработанной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 / В.Н. Токсаров, А.В. Евсеев, В.С. Кузьминых // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. - 2019. -№1. - С. 182-188.

96. Токсаров, В.Н. Определение механических свойств соляных пород отработанной части шахтного поля рудника БКПРУ-2 / В.Н. Токсаров, А.В. Евсеев, В.С. Кузьмин // Научные исследования и инновации. - 2011. - Т. 5. - № 2. - С. 154-156.

97. Фомин, С.И. Обоснование оптимальных технико-экономических параметров карьера при этапной разработке рудных крутопадающих месторождений / С.И. Фомин, М.П. Овсянников // Записки Горного института. - 2026. - Т. 277. - С. 157-166. - DOI: 10.31897/PMI.2022.73.

98. Хайрутдинов, А.М. Управление напряженно-деформационным состоянием массива горных пород путем формирования разнопрочностной закладки / А.М. Хайрутдинов, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Т. Ковалик, Ю.С. Тюляева // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - №10. С. 42-55. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-42-55.

99. Хайрутдинов, М.М. Бесцементные закладочные смеси на основе водорастворимых техногенных отходов / М.М. Хайрутдинов, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, Ю.С. Тюляева, А. Хайрутдинов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2020. - № 331(11). - С. 30-36. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2883.

100. Хайрутдинов, М.М. Возможность применения систем с твердеющей закладкой при отработки калийных месторождений / М.М. Хайрутдинов, М.В. Вотяков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - №9. - С. 265-268.

101. Хайрутдинов, М.М. Повышение безопасности при извлечении водорастворимых руд путем оптимизации параметров закладочного массива / М.М. Хайрутдинов, **Ч.Б. Конгар-Сюрюн**, А.М Хайрутдинов., Ю.С. Тюляева // Безопасность труда в промышленности. - 2021. - № 1. - С. 53-59. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-1-53-59.

102. Шваб, Р.Г. Управление состоянием подрабатываемого массива горных пород частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос из разрушенного галита при извлечении запасов калийных руд столбовой системой разработки / Р.Г. Шваб, В.Н. Дешковский // Вестник пермского государственного технического университета. - 2009. - № 8(4). С.20-27.

103. Шиман, М.И. Предотвращение затопления калийных рудников / М.И. Шиман. - Москва: Недра, 1992. - 176 с.

104. Шпаков, П.С. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива в окрестности очистного пространства в программе «Phase 2» / П.С. Шпаков, В.Н. Долгоносков, А.А. Нагибин, Е.В. Кайгородова // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2015. - № 9. - С. 59-66.

105. Шувалов, Ю.В. К вопросу снижения инвестиционных рисков при разработке калийных месторождений / Ю.В. Шувалов, О.В. Ковалев, С.П. Мозер, И.Ю. Тхориков, Г.А. Трощиненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. - №11. - С. 366-372.

106. Bailey, N. Measurement of factor strength: Theory and practice / N. Bailey, G. Kapetanios, M. H. Pesaran // Journal of Applied Econometrics. - 2021. - P. 1-27. DOI: 10.1002/jae.2830.

107. Berger, R.V. Backfill technologies and designs for deep-level sylvinitic mining / M.V. Rylnikova, R.V. Berger, I.V. Yakovlev, V.I. Tatarnikov, P.O. Zubkov // Journal of Mining Science. – 2024. – Т. 60. – No 2. – С. 332-340.

108. Chen, S. A Joint Experiment and Discussion for Strength Characteristics of Cemented Paste Backfill Considering Curing Conditions / S. Chen, W. Wang, R. Yan,

A. Wu, Y. Wang, E. Yilmaz // Minerals. -- 2022. - Vol. 12. - 211. - DOI: 10.3390/min12020211.

109. Costa, A.M., Geomechanics Applied to the Well Design Through Salt Layers in Brazil: A History of Success / A.M. Costa, Jr. E. Poiate, C.S. Amaral, C.J.C. Goncalves, J.L. Falcao, A. Pereira // American Rock Mechanics Association, 2010.

110. Dmitrieva, D. Strategic management of the potash industry in Russia / D. Dmitrieva, A. Ilinova, A. Kraslawski // Resources Policy. - 2017. - Vol. 52. - P. 81-89. - DOI: 10.1016/j.resourpol.2016.11.004.

111. Drielsma, J.A. Mineral resources in life cycle impact assessment-defining the path forward / J.A. Drielsma, A.J. Russell-Vaccari, T. Drnek, P. Weihed, M. Mistry, L.P. Simbor // International Journal of Life Cycle Assessment. - 2016. - Vol. 21(1). - P. 85-105. DOI: 10.1007/s11367-015-0991-7.

112. Firme Pedro, A.L.P. An assessment of the creep behaviour of Brazilian salt rocks using the multi- mechanism deformation model / A.L.P. Firme Pedro, D. Roehl, C. Romanel // Acta Geotechnica. – 2016. Vol. 6. - P. 1445–1463. DOI: 10.1007/s11440-016-0451-y.

113. Gnutzmann, H. Market structure and resilience: evidence from potash mine disasters / H. Gnutzmann, O. Kowalewski, P. Spiewanowski // American Journal of Agricultural Economics. - 2019. - Vol. 102(3). - P. 911-933. - DOI: 10.1093/ajae/aaz041.

114. Kovalskiy, E. Backfill for Advanced Potash Ore Mining Technologies / E. Kovalskiy, **C. Kongar-Syuryun**, A. Morgoeva, R. Klyuev, M. Khayrutdinov // Technologies. - 2025. - Vol. 13(2). - 60. - DOI: 10.3390/technologies13020060.

115. Kowalewski, O. Stock market response to potash mine disasters / O. Kowalewski, P. Spiewanowski // Journal of commodity markets. - 2020. - № 20. - 100124. DOI: 10.1016/j.jcomm.2020.100124.

116. Minkley, W. Dimensioning Principles in Potash and Salt: Stability and Integrity / W. Minkley, J. Mühlbauer, C. Lüdeling // Rock Mechanics and Rock

Engineering. - 2016. - Vol. 49(11). - P. 4537-4555. - DOI: 10.1007/s00603-016-1086-x.

117. Porter, M. Challenges with use of risk matrices for geohazard risk management for resource development projects / M. Porter, M. Lato, P. Quinn // Mining Geomechanical Risk. Australian Centre for Geomechanics. - 2019. - P. 71-84. DOI: 10.36487/ACG_rep/1905_01_Porter

118. Qi, C. Stability evaluation of layered backfill considering filling interval, backfill strength and creep behavior / C. Qi, L. Guo, Y. Wu, Q. Zhang, Q. Chen // Minerals. - 2022. - V. 12. - 271. DOI: 10.3390/min12020271.

119. Qu, H. Deformation characteristics and mechanism of salt structure: Research and discussion based on seismic analysis and tectonic simulation and implications for rock salt migration and mineralization in complex tectonic regions. Dizhi Xuebao / H. Qu, H. Yin, C. Li, W. Wang // Acta Geologica Sinica. - 2024. - №98(10). - P.2916 - 2930. DOI: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2024300.

120. Sedghizadeh, M. Statistical and clustering analysis of microseismicity from a Saskatchewan potash mine / M. Sedghizadeh, M. van den Berghe, R. Shcherbakov // Front. Appl. Math. Stat. - 2023. - Vol.9. - 1126952. DOI: 10.3389/fams.2023.1126952.

121. Sidki-Rius, N. Subsidence Management and Prediction System: A Case Study in Potash Mining / N. Sidki-Rius, L. Sanmiquel, M. Bascompta, D. Parcerisa // Minerals. - 2022. - Vol. 12(9) - 1155. - DOI: 10.3390/min12091155.

122. Tesarik, D.R. Long-term stability of a backfilled room-and-pillar test section at the Buick Mine, Missouri, USA / D.R. Tesarik, J.B. Seymour, T. R. Yanske // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2009. - № 46(7). - P. 1182-1196. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2008.11.010.

123. Wang, R. Time-dependent stability analyses of side-exposed backfill considering creep of surrounding rock mass / R. Wang, L. Li // Rock Mechanics and Rock Engineering. - 2022. - Vol. 55. - P. 2255--2279. - DOI: 10.1007/s00603-022-02776-0.

124. Wang, X. Mechanical Performance of Basalt Fiber-Reinforced Fully Recycled Concrete Using Triple-Modified Recycled Aggregates / X. Wang, B. Zhou,

W. Cheng, Y. Sun, E. Xiao, Z. He // *Materials*. - 2026. - Vol.19. - 1190. DOI: 10.3390/ma19061190.

125. Xavier, B.C. Construction of Structural Geological Model using Monte Carlo Simulation / B.C. Xavier, M. Egydio-Silva, R. Sadowski, B. Silva, V. Takara // *Geotechnical and geological engineering*. - V.1. DOI: 10.21203/rs.3.rs-212576/v1.

126. Yang, Z. Stability analysis of large-scale stope using stage subsequent filling mining method in Sijiaying iron mine / Z. Yang, S. Zhai, Q. Gao, M. Li // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. - 2015. - №7(1). - P. 87-94. DOI: 10.1016/j.jrmge.2014.11.003.

127. Zhang, Y. The Stability and Failure of Deep Underground Structures at Potash Mining Deposits / Y. Zhang, S. Lapatsin, M. Zhuravkov, G. Yu, I. Karpovich // *Applied Sciences*. - 2024. - Vol. 14(20). - 9434. - DOI: 10.3390/app14209434.

128. Zhao, X. Study on Characteristics of Compression Deformation and Post-Peak Stress Rebound for Solid Waste Cemented Body / X. Zhao, K. Yang, X. He, Z. Wei, J. Zhang, X. Yu // *Minerals*. - 2023. - Vol. 13. - 108. DOI: 10.3390/min13010108.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патент на состав закладочной смеси

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2834564

СОСТАВ ЗАКЛАДОЧНОЙ СМЕСИ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Ковальский Евгений Ростиславович (RU), Конгар-Сюрюн Чейнеш Буяновна (RU), Петров Дмитрий Николаевич (RU)*

Заявка № 2024114126

Приоритет изобретения 24 мая 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 11 февраля 2025 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 24 мая 2044 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ по
расчёту условий безопасной подработки водозащитной толщи

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024661684

Программа для расчета условий безопасной подработки
водозащитной толщи

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

Авторы: *Ковальский Евгений Ростиславович (RU), Конгар-Сюрюн Чейнеш Буяновна (RU), Миронов Никита Артурович (RU)*




Заявка № 2024618573

Дата поступления 19 апреля 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 21 мая 2024 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Заявка на способ разработки калийных пластов на больших глубинах

Форма № 94 ИЗ,ПМ,ПО-2016

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., д. 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП - 3, 125993

Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПРИЕМЕ И РЕГИСТРАЦИИ ЗАЯВКИ

18.12.2025	W25083921	2025136780
<i>Дата поступления (дата регистрации)</i>	<i>Входящий №</i>	<i>Регистрационный №</i>

ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ (дата регистрации) оригиналов документов заявки	(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ №	ВХОДЯЩИЙ №
(85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу		
<input type="checkbox"/> (86) Информационный журнал/журнальный листок и/или журнал/журнальный листок, опубликованные в печатном издании/печатном издании, опубликованные в печатном издании/печатном издании	АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ почтовый адрес, факсимильный адрес или электронный адрес(ы) 199106, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д. 2, Патентно-лицензионный отдел	
<input type="checkbox"/> (87) Изобретение и/или изобретательский коллектив на международный заявку	Телефон: 3288484 Факс: Адрес электронной почты: patent@fips.ru	
<input type="checkbox"/> (96) Платформа/платформы заявки в форме CD/DVD	АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ (используется при передаче заявки на рассмотрение изобретения)	
<input type="checkbox"/> (97) Изобретение и/или изобретательский коллектив		
ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента на изобретение		
В Федеральную службу по интеллектуальной собственности Бережковская наб., д. 30, корп. 1, г. Москва, Г-59, ГСП-3, 125993, Российская Федерация		
(54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ СПОСОБ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ		
(71) ЗАЯВИТЕЛЬ (фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) физического лица или наименование юридического лица (согласно учредительному документу), место жительства или место нахождения, почтовый адрес и/или электронный адрес)	ИДЕНТИФИКАТОРЫ ЗАЯВИТЕЛЯ	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Елизаветы II» (Federalnoe gosudarstvennoe budzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie suvshno obrazovaniya «Sankt-Peterburgskiy gornyy universitet Imperatritsy Elizavety II») 199106, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д. 2 (199106, Russia, 199106, g. Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, d. 2)	ОГРН 1 02 78 00 50759 1 КПП ИНН СВНЭС ДОКУМЕНТ (вид, серия, номер) КОД СТРАНЫ (если он установлен) RU	
<input checked="" type="checkbox"/> изобретение создано за счет средств федерального бюджета Заявитель является: <input type="checkbox"/> государственным заказником <input type="checkbox"/> муниципальным заказником исполнитель работ (указать наименование)		
<input checked="" type="checkbox"/> исполнителем работ по: <input checked="" type="checkbox"/> государственному контракту <input type="checkbox"/> муниципальному контракту <input type="checkbox"/> соглашению о предоставлении субсидии <input type="checkbox"/> гранту <input checked="" type="checkbox"/> государственному заданию <input type="checkbox"/> инновационному заданию закрытие работ (указать наименование) Министерство науки высшего образования РФ		

Общее количество документов в листах	33	Лицо, зарегистрировавшее документы
Из них: - количество листов комплекта изображений изделия (для промышленного образца)		Автоматизированная система
Количество платежных документов	1	
Сведения о состоянии делопроизводства по заявкам размещаются в Открытых реестрах на сайте ФИПС по адресу: www.fips.ru/registers-web		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Заявка на способ разработки калийных пластов на больших глубинах

Форма № 94 ИЗ,ПМ,ПО-2016

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., д. 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП - 3, 125993

Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПРИЕМЕ И РЕГИСТРАЦИИ ЗАЯВКИ

18.12.2025	W25083924	2025136783
<i>Дата поступления (дата регистрации)</i>	<i>Входящий №</i>	<i>Регистрационный №</i>

ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ (дата регистрации) <small>оригиналы документов заявки</small>	(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ №	ВХОДЯЩИЙ №
(85) ДАТА ПЕРЕВОДА <small>международной заявки из иностранного языка</small>		
<input type="checkbox"/> (86) <small>(дата приоритетной заявки (зарегистрированной заявки в плане международного договора, заключенного между государствами-участниками)</small>	АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ <small>полный адрес, включая и название или наименование адресата</small> 199106, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д. 2, Патентно-лицензионный отдел (199106, Rossiya, 199106, g. Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, d. 2)	
<input type="checkbox"/> (87) <small>(номер и дата международной публикации на международном уровне)</small>	Телефон: 3288484 Факс: Адрес электронной почты: rpfips@fips.ru	
<input type="checkbox"/> (96) <small>(номер уведомления заявки и дата ее подачи)</small>	АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ <small>(связываться при подаче заявки на открытие изобретения)</small>	
<input type="checkbox"/> (97) <small>(номер и дата публикации европейской заявки)</small>		
ЗАЯВЛЕНИЕ <small>о выдаче патента на изобретение</small>	В Федеральную службу по интеллектуальной собственности Бережковская наб., д. 30, корп. 1, г. Москва, Г-59, ГСП-3, 125993, Российская Федерация	
(54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ СПОСОБ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ		
(71) ЗАЯВИТЕЛЬ <small>(фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) физического лица или наименование юридического лица (согласно учредительному документу), место жительства или место нахождения, указать страну и почтовый индекс)</small> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (federalnoe gosudarstvennoe budzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sankt-Peterburgskii gornyi universitet imperatritsy Ekateriny II») (199106, Rossiya, 199106, g. Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, d. 2)	ИДЕНТИФИКАТОРЫ ЗАЯВИТЕЛЯ ОГРН 1 02 78 00 50759 1 КПП ИНН СНИЛС ДОКУМЕНТ (вид, серия, номер) КОД СТРАНЫ (если он установлен) RU	
<input checked="" type="checkbox"/> изобретение создано за счет средств федерального бюджета Заявитель является: <input type="checkbox"/> государственным заказчиком <input type="checkbox"/> муниципальным заказчиком исполнитель работ (указать наименование)		
<input checked="" type="checkbox"/> исполнителем работ по: <input checked="" type="checkbox"/> государственному контракту <input type="checkbox"/> муниципальному контракту <input type="checkbox"/> соглашению о предоставлении субсидии <input type="checkbox"/> гранту <input checked="" type="checkbox"/> государственному заданию <input type="checkbox"/> инновационному заданию заказчик работ (указать наименование) Министерство науки высшего образования РФ		

Общее количество документов в листах	35	Лицо, зарегистрировавшее документы
Из них: - количество листов комплекта изображений изделия (для промышленного образца)		Автоматизированная система
Количество платежных документов	1	
Сведения о состоянии делопроизводства по заявкам размещаются в Открытых реестрах на сайте ФИПС по адресу: www.fips.ru/registers-web		

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Акт о промышленном внедрении результатов диссертации

Утверждаю

Директор филиала «Санкт-Петербург»
ООО «ПроТех Инжиниринг»

Кабышев В.А.

Дата «17» марта 2025 г.

Печать организации



АКТ

о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертации
Конгар-Сюрюн Чейнеш Буяновны
по научной специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины»

Специальная комиссия в составе:

Председатель Уразов Д.В.:

Члены комиссии: Юхневич Е.А., Королев Р.И.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Обоснование технологии разработки пологозалегающих калийных пластов на больших глубинах, обеспечивающей снижение потерь полезного ископаемого», представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы в деятельности ООО «ПроТех Инжиниринг» при реализации работ в рамках проектов по разработке и совершенствованию технологии выемки пологозалегающих калийных пластов с применением камерной системы разработки в виде:

- рекомендаций по выбору параметров технологии отработки калийного пласта с повышенным коэффициентом извлечения руды;
- рекомендаций по рецептуре закладочной смеси на основе солеотходов, обеспечивающей повышение прочностных и деформационных свойств закладочного массива.

Результаты и методические подходы использовались при выполнении предпроектной документации по теме «Горно-обогатительный комбинат по добыче и обогащению калийных солей мощностью 2,3 млн. т/год 95% KCl Гремячинского месторождения Котельниковского района Волгоградской области. Рудник Гремячинского ГОКа. Технико-экономическое сравнение сухой, гидравлической и твердеющей закладки» (2023-2025 г.г.).

Использование указанных результатов позволяет:

- снизить эксплуатационные потери полезного ископаемого;
- повысить срок службы калийного рудника;
- сохранить безопасные условия подработки водозащитной толщи.

Председатель комиссии

Начальник управления, кандидат технических наук по специальности
25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Управление горного проектирования

ООО «ПроТех Инжиниринг»

Уразов Д.В.

Члены комиссии:

Руководитель сектора

Управление горного проектирования (Горно-технологический сектор)

ООО «ПроТех Инжиниринг»

Юхневич Е.А.

Главный специалист, кандидат технических наук по специальности
05.05.06 – Горные машины

Управление горного проектирования (Горно-механический сектор)

ООО «ПроТех Инжиниринг»

Королев Р.И.