

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»



На правах рукописи

Ярошенко Валерий Валерьевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ
ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ
В ПОДРАБОТАННЫХ ЗОНАХ**

Специальность 25.00.22 – Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
доцент О.И. Казанин

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	10
1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий разработки пологих газоносных угольных пластов Воркутского месторождения.....	10
1.2 Анализ мирового опыта отработки свит угольных пластов в условиях взаимного влияния горных работ по пластам	18
1.2 Анализ способов управления состоянием массива в подработанных зонах и зонах ПГД при отработке свит пластов	22
1.4 Обзор научно-технической и нормативной литературы по выбору параметров технологических схем отработки свит пологих газоносных угольных пластов в условиях их взаимного влияния.....	36
1.5 Выводы по первой главе.....	38
ГЛАВА 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НА ГАЗО- И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ В ПОДРАБОТАННЫХ ЗОНАХ.....	41
2.1 Выбор методики проведения исследований.....	41
2.2 Исследование влияния глубины разработки на параметры защищенных зон и зон ПГД при отработке сближенных пластов Воркутского месторождения длинными столбами	41
2.3 Исследование влияния подработки на шаг обрушения основной кровли при отработке пласта «Тройной» Воркутского месторождения длинными столбами.....	45
2.4 Исследование влияния обрушений основной кровли на аэрогазодинамические процессы на выемочных участках пласта «Тройной» при использовании систем разработки длинными столбами	53
2.5 Выводы по второй главе.....	64
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ВОРКУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОСЛЕ ЗАЩИТНОЙ ПОДРАБОТКИ	66
3.1 Выбор методики проведения исследований.....	66
3.2 Оценка возможности увеличения коэффициента доизвлечения краевых частей выемочных столбов с использованием поворота очистных механизированных комплексов	66

3.3 Оценка возможности увеличения коэффициента доизвлечения краевых частей выемочных столбов с использованием короткозбойного оборудования.....	77
3.4 Выводы по третьей главе.....	82
ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОТРАБОТКИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ВОРКУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОСЛЕ ЗАЩИТНОЙ ПОДРАБОТКИ	83
4.1. Обоснование параметров технологических схем доизвлечения краевых частей выемочных столбов с использованием поворота очистных механизированных комплексов.....	83
4.1.1 Обоснование параметров скважинной разгрузки.....	87
4.1.2 Обоснование схемы работы механизированного комплекса	91
в зоне поворота.....	91
4.2 Экономическая оценка разработанных рекомендаций	97
4.3 Выводы по четвертой главе	102
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ.....	103
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	105

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день разработка Воркутского месторождения ведется в донной части, что сопровождается сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями, высокой метанообильностью пластов, проблемами с поддержанием горных выработок и средней глубиной разработки 900 м. Проблема больших потерь в целиках (до 22%) и ограниченные размеры выемочных столбов (в среднем 1000 м.) значительно влияют на себестоимость добычи сырья, что свою очередь сказывается на конкурентоспособности предприятия. Шахты «Северная», «Воркутинская», «Комсомольская» и «Заполярная» отнесены к сверхкатегорным по относительной метанообильности. Все пласты склонны к горным ударам и внезапным выбросам. По состоянию на 2018 год компания АО «Воркутауголь» произвела ряд объединений своих предприятий. Шахтные поля шахт «Воркутинская» и «Заполярная» объединены общей вентиляционной и транспортной сетью, что привело к образованию единой шахты «Заполярная-2». Шахта Северная находится на консервации после аварии в феврале 2016 года. Южный блок шахты «Северная» планируется доработать шахтной «Комсомольской». По предварительной оценке компании АО «Воркутауголь» оставшихся запасов месторождения хватит на 15 лет работы при существующих темпах добычи и подготовки новых выемочных столбов.

Актуальность проблемы: При отработке свит пластов Воркутского месторождения в качестве регионального способа предотвращения горных ударов на продуктивных пластах «Мощный» и «Тройной» применяется защитная подработка по пластам «Пятый» и «Четвертый», которая также способствует повышению эффективности управления газовыделением на выемочных участках. Необходимость сосредоточения горных работ в пределах подработанных зон привела к тому, что, несмотря на применение бесцеликовых схем подготовки выемочных участков и схем с охраной выемочных штреков податливыми целиками, коэффициент извлечения запасов в донной части мульды не превышает 0,75. Кроме того, несмотря на общепризнанную эффективность защитной подработки, в период 2011-2018 г. На шахтах АО «Воркутауголь» произошли 3 аварии с массовой гибе-

люлю людей на выемочных участках подрабатываемых пластов «Мощный» (шахта «Северная» в 2011 и 2016 г.) и «Тройной» (шахта «Воркутинская» в 2013 г.), что подтверждает актуальность исследований влияния первоочередной выемки защитных пластов на безопасность и эффективность горных работ на выемочных участках пластов в подработанных зонах и зонах ПГД.

Несмотря на то, что в качестве регионального метода предотвращения горных ударов и внезапных выбросов на шахтах АО «Воркутауголь» принята защитная подработка пласта «Тройной» пластом «Четвертый», отработать полностью все шахтное поле без оставления целиков и формирования зон повышенного горного давления (ПГД) на подрабатываемом пласте практически невозможно. Применяемые технологические схемы способствуют оставлению огромного количества целиков со стороны монтажной и демонтажной камер на выемочных участках, которые в свою очередь создают протяженные зоны ПГД. Донная часть Воркутского месторождения характеризуется ограниченными размерами выемочных столбов, поэтому вопрос максимального увеличения полноты извлечения является актуальным. Увеличить полноту извлечения по пластам «Тройной» и «Четвертый» возможно лишь при применении новых технологических схем, предусматривающих расширение подработанного пространства. На рисунке 1 представлена раскройка северо-западного блока шахты «Заполярная-2». Красным цветом показаны целики на границах выемочных участков.

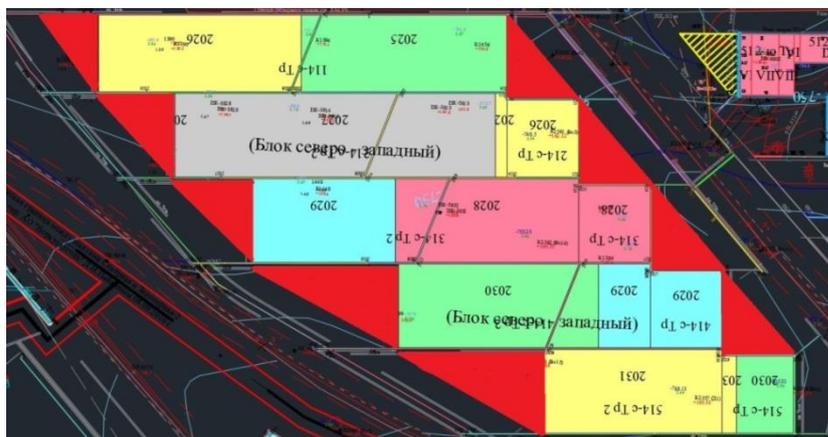


Рисунок 1 – Северо-западный блок шахты «Воркутинская» пласт «Тройной»

Применяемые в настоящее время рекомендации по построению защитных зон и зон повышенного горного давления (ПГД), рекомендации по расчету шагов

обрушения основной и непосредственной кровли показывают значительную погрешность расчетных и фактических данных. Действующие инструкции были разработаны 20-30 лет назад, когда состояние горной промышленности СССР имело иной характер: более благоприятные горно-геологические условия, низкие нагрузки на очистные забои, низкая скорость подвигания очистного забоя. На верхних горизонтах (глубина 500-600 м.) первоочередная отработка защитных пластов «Четвертый» и «Пятый» способствовала благоприятной газовой и геодинамической обстановке при отработке продуктивных пластов. При подходе к донной части месторождения эффективность защитной подработки значительно снизилась. Об этом говорят данные системы аэрогазового контроля, увеличенная относительная метанообильность пластов и ограничение нагрузки на очистной забой по газовому фактору (очистные механизированные комплексы работают на 50 % от общего потенциала). Расчетные зоны разгрузки массива и зоны ПГД не соответствуют фактическим, об этом говорят аварии на шахтах АО «Воркутауголь». С увеличением глубины разработки дифференциация данных зон претерпевает значительные изменения. Шаги обрушения основной и непосредственной кровли отличаются от расчетных в 1,5-2 раза. Всё вышеуказанное говорит об острой необходимости корректировок действующих нормативов и инструкций, адаптации их под современные глубины ведения горных работ и интенсивность производства.

Эффективность и безопасность ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях, в условиях высокой газообильности выемочных участков, в условиях высокой интенсивности отработки лав могут быть обеспечены за счет использования новых технологий, адаптируемых под современные технико-экономические показатели шахты. Определяющим в этом отношении является выбор технологических схем, обеспечивающих безопасность, максимальную полноту извлечения и эффективность отработки сближенных пластов Воркутского месторождения.

Решению проблем безопасной отработки сближенных угольных пластов посвящены работы А.Т. Айруни, Я.А. Бич, В.П. Зубова, О.И. Казанина, О.В. Ковалева, Г.И. Коршунова, К.С. Коликова, А.К. Логинова, В.В. Мельника, И.М. Петухова, Л.А. Пучкова, А.А. Ренева, В.В. Смирнякова, С.В. Сластунова, А.Н. Шабарова, Ю.В. Шувалова и многих других ученых.

Вместе с тем, имеющиеся на сегодняшний день результаты исследований, отраслевые нормативные документы, регламентирующие решение вопросов управления газовыделением и управления состоянием массива, а также проектирования технологических схем интенсивной отработки выемочных участков сближенных пластов в сложных по газовому и геодинамическому факторам, не позволяют в ряде случаев обеспечить эффективность горных работ и высокий коэффициент извлечения запасов в условиях Воркутского месторождения.

Цель работы: Повышение эффективности отработки сближенных пластов Воркутского месторождения с увеличением полноты извлечения запасов.

Идея работы: Повышение эффективности отработки сближенных пластов Воркутского месторождения с увеличением полноты извлечения запасов достигается при реализации комплекса технических решений по расширению подработанных зон, а также обосновании параметров технологических схем отработки пологих газоносных угольных пластов на основе моделирования газодинамических процессов на выемочном участке в подработанных зонах и зонах ПГД с использованием современного программного обеспечения.

Задачи исследований:

1. Анализ зарубежного опыта отработки сближенных пластов.
2. Натурные исследования влияния параметров технологических схем на геомеханические и газодинамические процессы на выемочных участках в зонах взаимного влияния пластов.
3. Экспериментально-аналитические исследования влияния параметров технологических схем на геомеханические и газодинамические процессы на выемочных участках в зонах взаимного влияния пластов.

4. Разработка комплекса рекомендаций по расширению подработанной зоны и повышению эффективности отработки сближенных пластов Воркутского месторождения.

5. Экономическая оценка разработанных рекомендаций.

Методы исследований: Для решения поставленных задач использован комплексный метод, включающий обобщение и анализ теории и практики отработки сближенных газоносных угольных пластов; натурные исследования процессов ведения горных работ по сближенным пластам; экспериментально-аналитические исследования геомеханических и газодинамических процессов на выемочных участках; компьютерная обработка данных.

Научная новизна:

- Установлена зависимость коэффициента извлечения угля от параметров технологических схем отработки краевых целиков на границах выемочных столбов.

- Установлена зависимость затрат на доработку целиков у границ выемочных участков от длины лавы и угла между направлением подвигания лавы и границей выемочного столба.

Основные защищаемые положения:

- При отработке продуктивных пластов Воркутского месторождения в подработанных зонах длинными очистными забоями выдавливание метановоздушной смеси с концентрацией метана, превышающей предельно допустимую в периоды обрушения основной кровли, возможно лишь при первом обрушении.

- Увеличение коэффициента извлечения запасов донной части Воркутской мульды с 0,75 до 0,9 достигается при доработке выемочных участков пласта «Четвертый» у границ выемочных столбов с применением технологий, обеспечивающих расширение защитной зоны по пласту «Тройной».

- Наибольший экономический эффект от увеличения коэффициента извлечения запасов донной части Воркутского месторождения обеспечивается при совместном применении для доработки запасов у границ выемочных участков

технологий с поворотом очистных механизированных комплексов по защитному и продуктивному пластам.

Практическая значимость работы:

- Разработан комплекс технических решений по отработке запасов пластов «Тройной» и «Четвертый» у границ выемочных участков, способствующий повышению полноты извлечения запасов донной части Воркутского месторождения.

- Разработаны рекомендации по выбору технологических схем доработки краевых целиков выемочных столбов в зависимости от горно-геологических условий.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на: международной конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2016 г.); на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка 2017» (Москва, 2017 г.); на «Международном форум-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2017 г.); на ежегодной научно-практической конференции молодых ученых (Германия, Фрайберг, 2017 г.); на научных семинарах кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Санкт-Петербургского горного университета (2015-2019 гг.).

Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, профессору О.И. Казанину, сотрудникам кафедры РМПИ профессору В.П. Зубову, профессору Д.В. Сидорову, доценту А.А. Сидоренко, рецензенту доценту А.В. Монтикову и руководству АО «Воркутауголь» за ценные советы и рекомендации.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий разработки пологих газоносных угольных пластов Воркутского месторождения

Печорский угольный бассейн площадью 90 тыс кв. км расположен на территории северной части Республики Коми и Ненецкого автономного округа. Бассейн насчитывает около 30 месторождений, представляющих всю гамму углей. Основная часть запасов угля сосредоточена на Интинском, Воркутском, Воргашорском и Юньягинском месторождениях [87]. Данный угольный бассейн является вторым в Российской Федерации по запасам угля после Кузнецкого угольного бассейна и на сегодняшний день крупнейшим бассейном на территории Северо-Западного автономного округа, чьи угли являются сырьевой базой для развития металлургии и энергетики. На рисунке 1.1 представлено административное положение г. Воркуты.



Рисунок 1.1 – Административное и географическое положение г. Воркуты

По состоянию на 2018 год общие геологические запасы составляют 344 млрд. тонн, балансовые запасы категорий А, Б, С на действующих угледобывающих предприятиях достигают 800 млн. тонн, преобладают запасы жирных (51 %) и длиннопламенных (35,4 %) углей [87].

Большинство шахт было закрыто или объединено во времена реструктуризации в 1990 годах.

В таблице 1.1 отражены характеристики свиты угольных пластов, разрабатываемых компанией АО «Воркутауголь».

Таблица 1.1 – Характеристики угольных пластов, разрабатываемых шахтами АО «Воркутауголь»

Пласт	Средняя мощность пласта, м	Качественные параметры				
		Зольность, %		Влага аналитическая, %	Выход летучих веществ, %	Общая сера, %
		угольных пачек	общепластовая			
Шахта «Воркутинская»						
Тройной	2,87	13,0	21,0	2,7	32,0	0,5
Четвертый	1,51	12,0	12,0	3,1	31,0	0,6
Шахта «Комсомольская»						
Тройной	2,05	13,2	16,0	4,5	31,8	0,61
Четвертый	1,4	14,0	14,0	3,8	31,7	0,66
Шахта «Заполярная»						
Тройной	2,77	16,6	20,6	0,9	33,1	0,59
Четвертый	1,38	13,6	13,6	1,0	32,7	0,7

Пласты «Мощный» и «Пятый» в настоящее время не отрабатываются ни в одном шахтном поле. Пласты «Тройной» и «Четвертый» являются сближенными пластами по всем шахтным полям внутри Воркутского месторождения.

В таблице 1.2 отображены основные прочностные характеристики вмещающих пород почвы и кровли по рабочим пластам.

Таблица 1.2 – Прочностные характеристики пород кровли

Породы	Коэффициент крепости по Протодяконову	Пределы прочности, кгс/см ²		
		Сжатие в естественном состоянии	Разрыв параллельно слоистости	Разрыв перпендикулярно слоистости
Аргиллиты	3,2-6,0	150-300	40-90	20-60
Алевролиты	3,0-12,1	300-1300	40-110	40-90
Песчаники	7,0-18,3	500-1700	50-180	40-130
Угли	0,6-0,8	110-140	7-9	6-8

В таблице 1.3 отражены характеристики непосредственной и основной кровли по устойчивости и обрушаемости.

Таблица 1.3 – Характеристика кровель угольных пластов по устойчивости и обрушаемости

Угольный пласт	Непосредственная кровля		Основная кровля	
	устойчивость	обрушаемость	устойчивость	обрушаемость
Мощный (П ₁₄₊₁₃₊₁₂₊₁₁)	Устойчивая	Средне-обрушаемая	Устойчивая	Средне- и трудно обрушаемая
Тройной (П ₁₄₊₁₃₊₁₂)	Ниже средней устойчивости	Легко- и средне обрушаемая	Устойчивая	Средне-обрушаемая
Четвертый (П ₁₁)	Среднеустойчивая	Средне-обрушаемая	Устойчивая	Трудно-обрушаемая
Пятый (П ₇)	Неустойчивая	Легко- и средне обрушаемая	Устойчивая	Средне-обрушаемая

При бесцеликовой подготовке по пласту «Тройной» в 80-85 % случаев удастся сохранить нижнюю выработку для повторного использования, в ином случае новую выработку проходят вприсечку. Сложность поддержания подготовительной выработки для повторного условия обуславливает глубина разработки. Негативное влияние, оказываемое горным давлением на рамную крепь, в ряде случаев не позволяет перекрепить выработку для сохранения паспортного сечения. Длина лав составляет от 175 до 315 м при длине выемочных столбов от 770 до 2500 м.

В таблице 1.4 отображены горнотехнические показатели действующих шахт по пластам. По состоянию на 1 кв. 2019 г ш. «Комсомольская» является передовиком производства компании АО «Воркутауголь».

Таблица 1.4 – Горнотехнические показатели действующих шахт по состоянию на 2018 г.

Шахта	Пласт					2018 г.				
	Наименование	Мощность, м	Категория опасности		Способ подготовки	Очищенная добыча, тыс. тонн	Характеристика очистных забоев			
			По горным ударам	По внезапным выбросам			Тип Комплекса	Количество лав	Длины лав, м	Длина столбов, м
Воркутинская	Тройной	2.7	Опасный	Опасный	Одночными выработками	873	Ostroj 14/32, анжера-34, SL-300	1	130-207	300-600
	Четвертый	1.5	Опасный	Неопасный	Спаренная подготовка	817	2М-138, СЗК 228/732, МВ-12-2V-2P	1	250	995-1025
Заполярная	Тройной	2.6	Опасный	Опасный	Одночными выработками	920	Fazos 17/37, Ostroj DN834K, SL300	1	160-300	300-1100
	Четвертый	1.4	Угрожаемый	Неопасный	Спаренная подготовка	860	2М-138, Rybnik 750, KSW-460-NE	1	270	2000
Комсомольская	Тройной	2.5	Опасный	Опасный	Одночными выработками	1.300	Ostroj 14/32, анжера-34, SL-300	1	300	100-900
	Четвертый	1.4	Опасный	Неопасный	Спаренная подготовка	640	2М-138TFB, СЗК 228/732, МВ-12	1	250-260	700-900

В таблице 1.5 показан шахтный фонд с основными показателями добычи и промышленных запасов АО «Воркутауголь» по состоянию на 2019 г.

Таблица 1.5 - Характеристика шахтного фонда АО «Воркутауголь»

№	Шахта	Год сдачи в эксплуатацию	Категория по газу	Число отработываемых пластов	Очистные забои	Глубина ведения работ, м	Объем добычи в 2018г., тыс.т	Промышленные запасы, тыс. т
21	Северная(законсервирована по состоянию на 2019 г.)	1969	Сверхкатегорная	0	0	-820	0	80010
32	Воркутинская	1973	Сверхкатегорная	2	2	-800	1700	42101
43	Комсомольская	1976	Сверхкатегорная	2	2	-1050	1780	63138
54	Заполярная	1972	Сверхкатегорная	2	2	-850	1940	55111
В целом по Воркутскому месторождению АО «Воркутауголь»				2	6		5420	

В таблице 1.6 показаны применяемые схемы проветривания выемочных участков согласно действующей классификации, а также применяемое горно-добычное оборудование по пластам.

Таблица 1.6 - Параметры применяемых схем проветривания (проектные) и оборудование выемочных участков

Шахта	Участок	Пласт	Длина лавы, м	Схема проветривания	Мощность пласта, м	Параметры						Оборудование				
						$S_1, \text{м}^2$	$S_2, \text{м}^2$	$S_3, \text{м}^2$	$Q_1, \text{м}^3/\text{мин}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{мин}$	$Q_3, \text{м}^3/\text{мин}$	Крепь	Комбайн	Скребок-конвейер	Перегружатель	Крепь сопряжения
Воркутинская	Лава 1022-ю	Тройной	315	3-В-Н-Нисх-пт	2,7	14,4	12,8	6-12,8	550	1028	1578	Ostroj 14/32 (6 м ²)	SL-300	Анжера-34	GROT-850	-
Воркутинская	Лава 612-ю	Четвертый	200	3-В-Н-Нисх-пт	1,5	14,4	12,8	6-12,8	822	550	1372	2М-138 (4,5 м ²)	МВ-12-2 V2P	CZK 228/732	PZF 05/P2	-
Заполярная	Лава 414-с	Тройной	195	3-В-Н-Нисх-пт	2,6	14,4	12,8	6-12,8	1017	550	1567	Fazos 17/37 (8 м ²)	SL-300	Nowomag PSZ850	Nowomag PPZ850	ОКСА-И.2
Заполярная	Лава 714-с	Четвертый	297	3-В-Н-Нисх-пт	1,4	14,4	12,8	6-12,8	1023	1726	2749	2М-138 (3,4 м ²)	МВ-12	Rybnik-750	PZF-10	Глюка-уф
Комсомольская	Лава 412-ю	Тройной	300	3-В-Н-Нисх-пт	2,23	14,4	14,4	6-14,4	654	586	1240	Ostroj 14/32 (4 м ²)	SL-300	Анжера-34	Grot-750	Глюка-уф
Комсомольская	Лава 712-ю	Четвертый	270	3-В-Н-Нисх-пт	1,5	14,4	12,8	6-12,8	1141	2177	3318	2М-138 (4,5 м ²)	МВ-12	CZK 228/732	PZF-10	Fazos 18/38

Применяемые схемы проветривания показаны на рисунках 1.3 – 1.6.

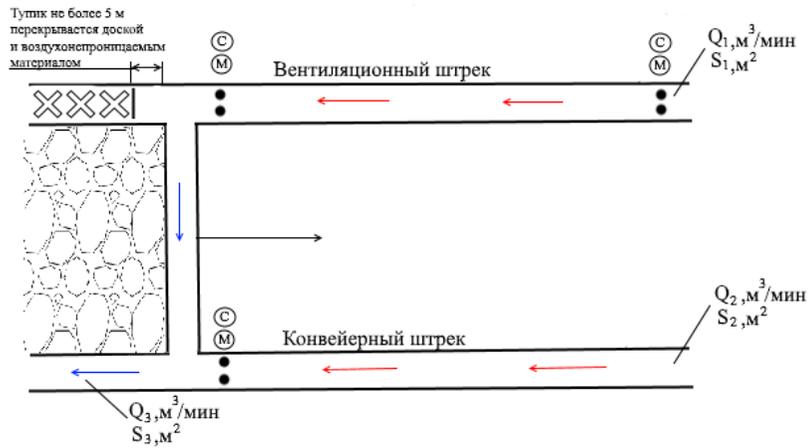


Рисунок 1.3 – Схема вентиляции 3-В-Н-н-пт

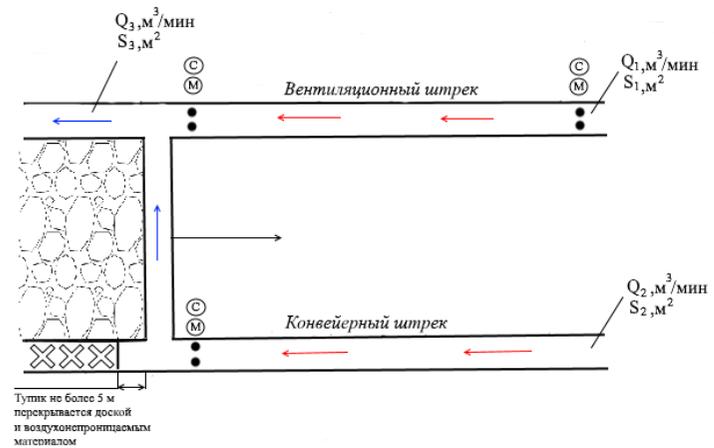


Рисунок 1.4 – Схема вентиляции -3-В-Н-в-пт

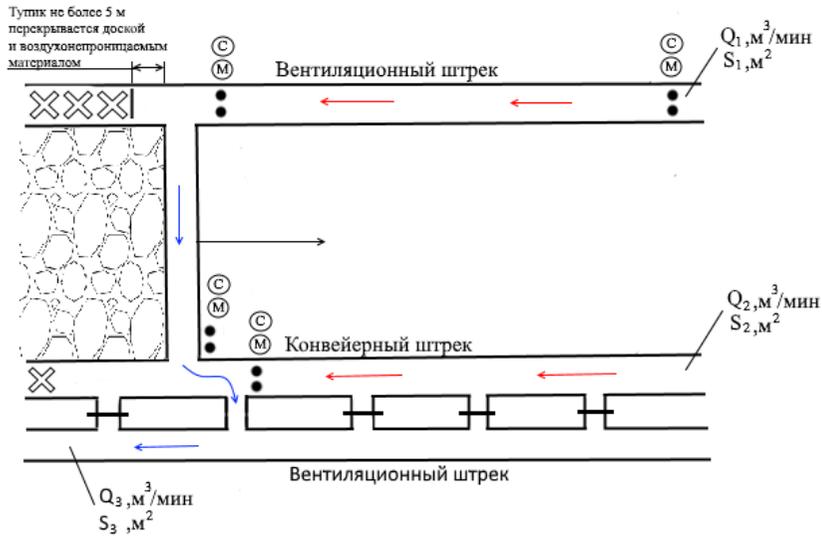


Рисунок 1.5 – Схема вентиляции 3-М-Н-н-вт

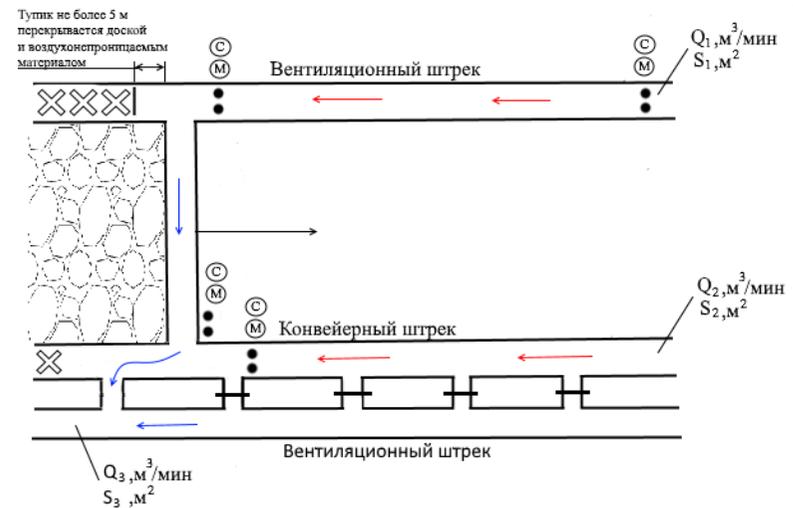


Рисунок 1.6 – Схема вентиляции 3-В-Н-н-пт

1.2 Анализ мирового опыта отработки свит угольных пластов в условиях взаимного влияния горных работ по пластам

Анализ мирового опыта отработки свит угольных пластов в условиях взаимного влияния горных работ по пластам показывает, что наиболее востребованной системой разработки является система разработки длинными столбами с бесцеликовой подготовкой выемочных участков или спаренными выработками. При отработке свит угольных пластов зоны ПГД негативно влияют на ведение горных работ по верхним и по нижним пластам в свите. Проблема разработки таких месторождений является весьма актуальной как в России, так и за рубежом, о чем говорит значительное количество зарубежных статей по данной тематике [89,90,96]. Распространение зон ПГД по сближенным пластам приводит к оставлению больших запасов полезного ископаемого в целиках, что в свою очередь влияет на ресурсосберегающую стратегию развития угольной отрасли Российской Федерации.

Существует большое количество факторов, осложняющих ведение горных работ по сближенным пластам в зонах ПГД. Так как межстолбовые целики или целики на границах выемочных участков являются концентраторами напряжений, значительно превышающих геостатическое горное давление, горные работы в зонах ПГД могут послужить причиной горных ударов, проблемами с поддержанием подготовительных горных выработок, вывалообразованием в очистном забое. Каждое из этих негативных явлений может происходить либо отдельно друг от друга, либо комплексно в зависимости от горно-геологических условий, наличия от подработки или надработки, а так же активных способов управления состоянием массива.

Не смотря на большое количество нормативных документов комплексного подхода к решению проблем при интенсивной отработке свит пологих газоносных угольных пластов не имеется. Инструкция по построению защитных зон и зон ПГД дает лишь геометрические параметры зон загрузки и зон ПГД в кровлю и почву от выработанного пространства или целика. Данная инструкция позволяет рассчитать подзоны: ЗПО, ОЗ, ПЗ. Тем не менее, получить детальную дифферен-

циацию данных подзон, используя действующие методики не представляется возможным. На рисунке 1.7 представлен пример построения зон повышенного горного давления от краевых частей целиков.

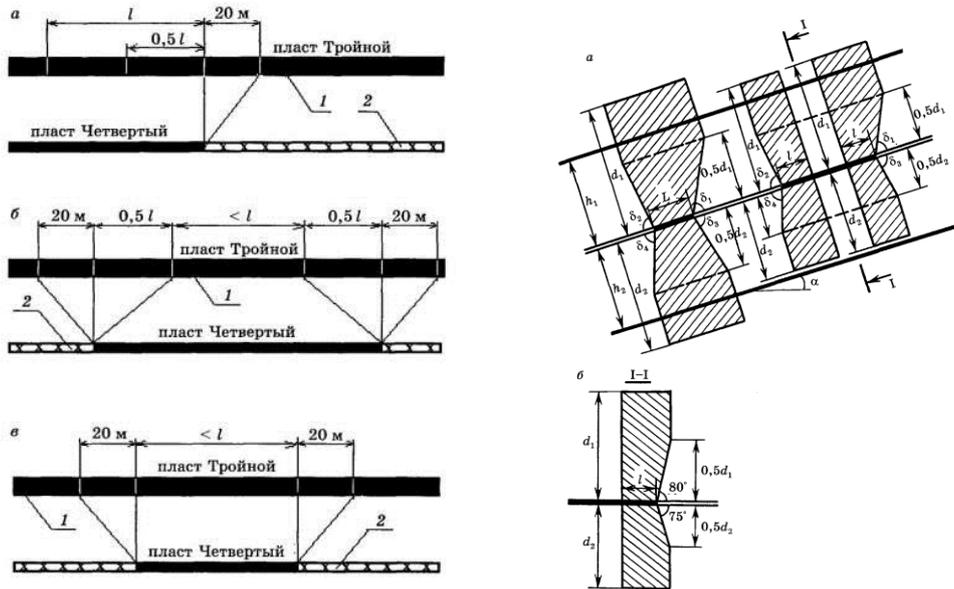


Рисунок 1.7 - Пример построения зон ПГД для условий Воркутского месторождения

За последние 20 лет цифровые технологии претерпели колоссальные изменения. Активно используются программные комплексы, которые на основе метода конечных элементов способны оценить состояние напряженно-деформированного состояния (НДС) массива и оценить степень влияния целиков на горные работы по сближенным пластам. Данные рекомендации полезны при проектировании отработки сближенных угольных пластов. Численное моделирование - это современный подход к изучению НДС массива, так как натурно оценить его весьма сложно и трудоемко. Современная тенденция к научному сопровождению имеет восходящий тренд. Численное моделирование является актуальным методом прогноза НДС массива.

Анализ мирового и российского опыта так же показал, что при проектировании выемочных столбов по сближенным пластам необходимо учитывать: порядок отработки пластов в свите (восходящий, нисходящий), геометрические размеры выемочных участков (длина лавы, длина столба) и межстолбовых целиков, мощность междупластий.

Зарубежный ученый Tati B.B. в своей работе Multi-seam coal mining (горные работы по сближенным пластам) описывает систему оценки влияния зон ПГД на горные работы по сближенным пластам [100]. В зарубежных нормативных документах по безопасному ведению горных работ основными параметрами характеризующими степень опасности является глубина разработки H и мощность междупластия h . Например при соотношении H/h показатель меньше 7 – влияние незначительное, но если показатель превышает 16 – обстановка критическая и требует проведения дополнительных мероприятий. Применяв данное соотношение к донной части Воркутского месторождения, где глубина разработки пласта «Четвертый» достигает 1200 м, а междупластие пластов «Тройной» - «Четвертый» порядка 20-25 м, можно сделать вывод о том, что показатель H/h составляет 40-48 и это является критическим значением с точки зрения влияния зон ПГД по сближенным пластам.

Большой интерес в области изучения отработки сближенных пластов показывает американская организация (National institute for occupational safety & health - NIOSH) - Национальный институт охраны труда и здоровья, который на протяжении нескольких лет обрабатывал и регистрировал случаи влияния работы по сближенным пластам на многих шахтах зарубежья [94].

Всего в данную программу вошли 44 шахты, где путем натуральных наблюдений, обработки шахтной документации и общения с руководством была составлена рейтинговая шкала (рисунок 1.8) обработки данных:

- Взаимодействие не установлено.
- Минимальное взаимодействие.
- Умеренные взаимодействия.
- Значительные взаимодействия

Горнотехнические ситуации подразделялись на:

- Success – успешные.
- Failure – аварийные.
- Overmining – подработка.

- Undermining – надработка.

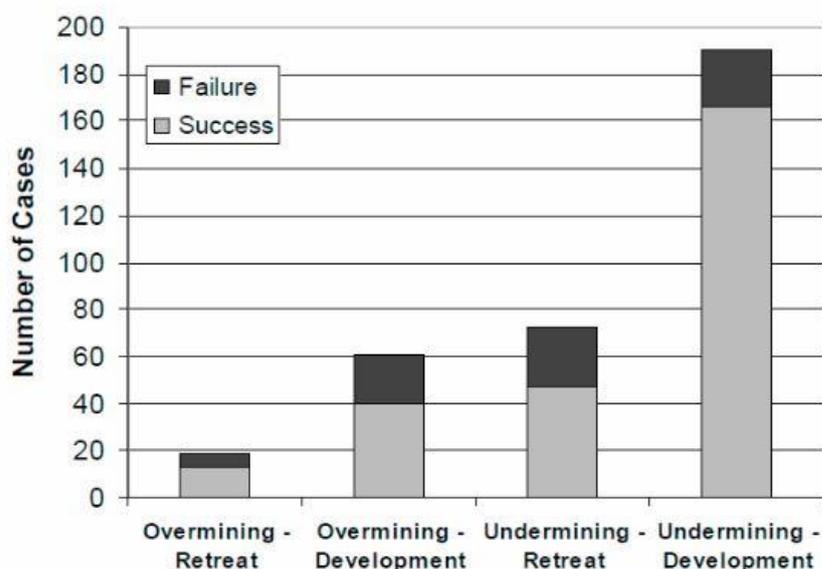


Рисунок 1.8 - Гистограмма вариантов отработки сближенных пластов в зависимости от порядка отработки в свите и способе отработки

Гистограмма показывает, что наилучшие условия отработки сближенных пластов показали себя при надработке с применением сплошной системы разработки. Количество успешных случаев отработки возрастает в несколько раз. Также количество несчастных случаев увеличивается при работе в подработанной зоне в 2 раза.

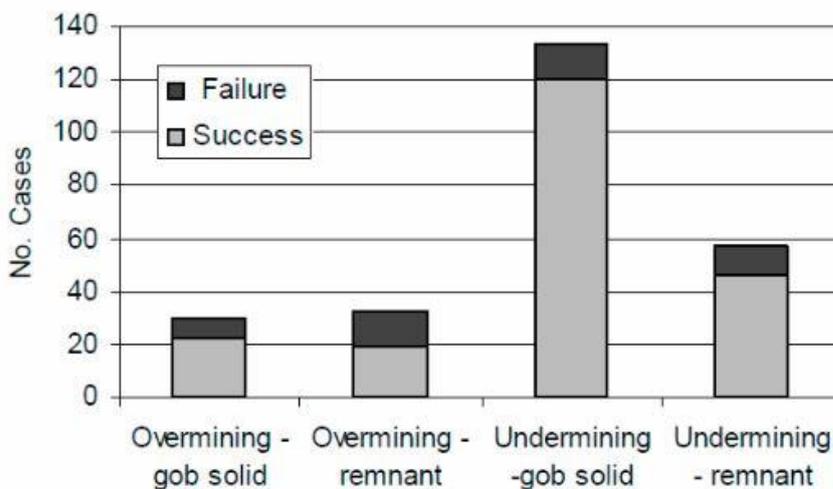


Рисунок 1.9 - Гистограмма способов отработки

Рисунок 1.9 показывает, что наилучшие условия отработки сближенных пластов показали себя при работе в надработанной зоне с применением сплошной системой разработки при влиянии целика со стороны краевой части массива. При

таким подходе ведения горных работ количество успешных случаев выросло по сравнению с подработкой с 22 до 120.

1.2 Анализ способов управления состоянием массива в подработанных зонах и зонах ПГД при отработке свит пластов

По степени опасности работы по сближенным пластам выделяют три зоны: зона повышенной опасности, опасная зона, прогнозная зона [76]. Основным критерием опасности зон ПГД является характер проявления горного давления в очистных забоях. Зона повышенной опасности характеризуется повышенными проявлениями горного давления. Обычным проявлением влияния зоны повышенной опасности является резкое снижение устойчивости непосредственной кровли. При работе очистного забоя в опасной зоне происходит снижение устойчивости непосредственной кровли за счет повышения трещиноватости и расслоения пород. Наиболее частыми проявлениями горного давления в опасной зоне является увеличение интенсивности процесса вывалообразования. При работе очистного забоя в прогнозном зоне целики и краевые части могут не оказывать заметного влияния на характер проявлений горного давления, но высокой остается вероятность снижения устойчивости непосредственной кровли.

Границы зон ПГД строят с помощью графиков, представленных на рисунках 1.10 и 1.11. На графиках под цифрами 1-3 представлены дальности влияния зон повышенной опасности, опасной зоны и прогнозном зоны соответственно. Для целиков вычисляют величину отношения a/l , a – ширина целика, м. (для краевых частей $a / l = const=2$). Дальность влияния зоны ПГД определяют по формуле:

$$N_i = x_i \cdot l \quad (1.1)$$

Сплошные линии – при проходе перпендикулярных целиков и краевых частей; пунктирные – параллельных целиков и краевых частей.

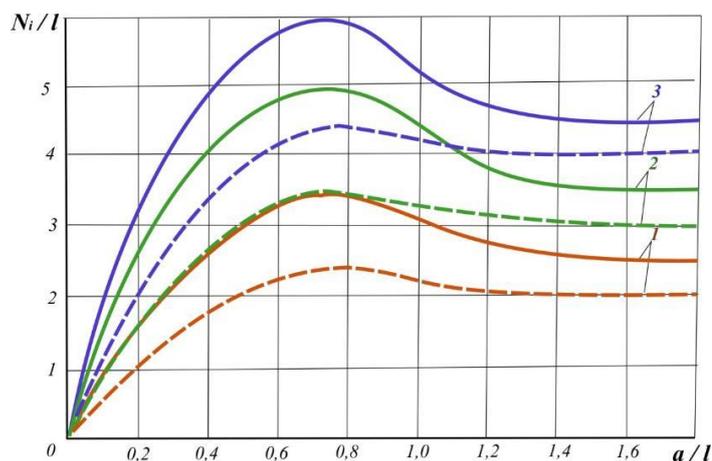


Рисунок 1.10 – График определения дальности распространения зоны ПГД над краевыми частями

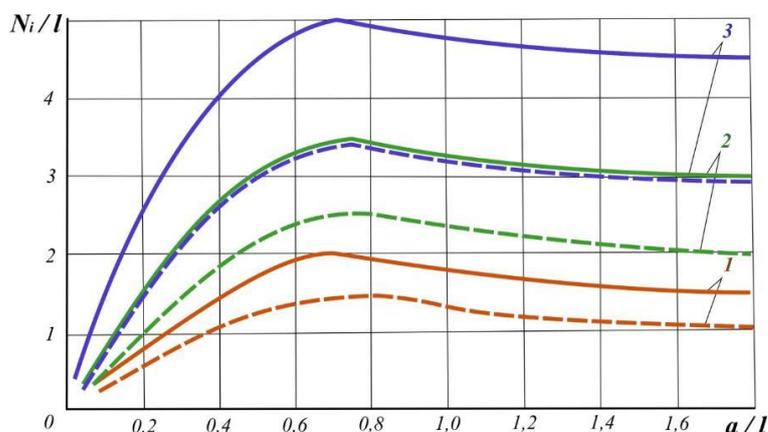


Рисунок 1.11 – График определения дальности распространения зоны ПГД под краевыми частями

При отработке сближенных удароопасных пластов в условиях шахт АО «Воркутауголь» целесообразно рассматривать влияние краевых частей массива, формируемых по защитному пласту «Четвертый». В соответствии с номограммами (рисунки 1.10-1.11). Для пласта Четвертый 86 м в почву пласта и 148 м кровлю пласта.

Ширина охранных целиков, оставляемых по удароопасным пластам, должна составлять не менее l . В связи с чем возможный диапазон ширины целика составляет от l до $2l$. Для пласта «Четвертый» - 192 м в кровлю пласта и 105 м в почву пласта.

При наличии в кровле угольных пластов устойчивых, труднообрушаемых пород, преимущественно мощных слоев песчаника, известняка или конгломерата, в выработанном пространстве позади действующего очистного забоя возникают зависания большой протяженности. Обрушения крупных зависающих блоков ос-

новой кровли сопровождаются динамическими воздействиями на секции механизированной крепи и моментальным вытеснением больших объемов воздуха из выработанного пространства в выработки шахты, что представляет большую опасность для горнорабочих и влечет за собой существенные простои добычи [23].

Тяжесть осадок основной кровли во многом определяется возможностью свободного перемещения консоли слоя труднообрушаемых пород в выработанное пространство:

$$\lambda_k = \frac{h_{н.к.о.}}{m_{пл}} \quad (1.2)$$

где $h_{н.к.о.}$ – мощность обрушающихся слоев непосредственной кровли, м; m – вынимаемая мощность угольного пласта, м.

Величина заполнения полости размером $h_{н.к.о.} + m_{пл}$ не является абсолютной, а составляет величину $k_{з.п.}$ называемую коэффициентом заполнения:

$$k_{з.п.} = \frac{k_{р.к.} \cdot h_{н.к.о.}}{h_{н.к.о.} + m_{пл}} = \frac{k_{р.к.} \cdot \lambda_k}{(1 + \lambda_k)} \quad (1.3)$$

где $k_{р.к.}$ – коэффициент разрыхления пород непосредственной кровли при обрушении.

Для улучшения управления основной кровлей величина $k_{з.п.}$ должна быть максимально приближена к 1.

К типу тяжелых кровель отнесены:

$$3 \div 4 > \frac{h_{н.к.о.}}{m_B} > 0 \quad (1.4)$$

Выделение указанного диапазона соотношений обусловлено недостаточным подбучиванием пород основной кровли. Нижнее значение выделенного диапазона соответствует ситуации с отсутствием непосредственной кровли, а верхнее – недостаточному подбучиванию основной кровли при низком коэффициенте разрыхления обрушенных пород непосредственной кровли.

Анализ опыта применения активных способов управления кровлей показал, что труднообрушаемые породы кровли могут быть приведены в состояние управляемых путем разупрочнения подработкой, увлажнением, гидромикроторпедиро-

ванием, передовым торпедированием, принудительным обрушением - взрыванием скважинных и шпуровых зарядов, гидродинамической стратификацией и взрыво-гидродинамической обработкой [22]. Представляет значительный интерес опыт применения различных способов управления труднообрушаемой кровлей, накопленный за рубежом.

Большая часть зарубежного опыта в области решения проблем управления труднообрушаемой кровлей на угольных шахтах представлена трудами ученых и специалистов США, Австралии, Китая, Индии, Японии и выполнена в период с 1980-х годов по настоящее время [88,89,96].

Методы снижения негативного влияния труднообрушаемой кровли могут быть разделены на два направления: управление несущей способностью крепи очистного забоя и воздействие непосредственно на породы кровли (рисунок 1.13, 1.14).



Рисунок 1.13 – Блок-схема способов воздействия на породы труднообрушаемой кровли

Следует отметить, что из перечисленных выше способов, наиболее успешно применяются гидрорасчленение пород кровли и взрывание. Ниже рассмотрены случаи применения данной технологии, описанные в зарубежной литературе.

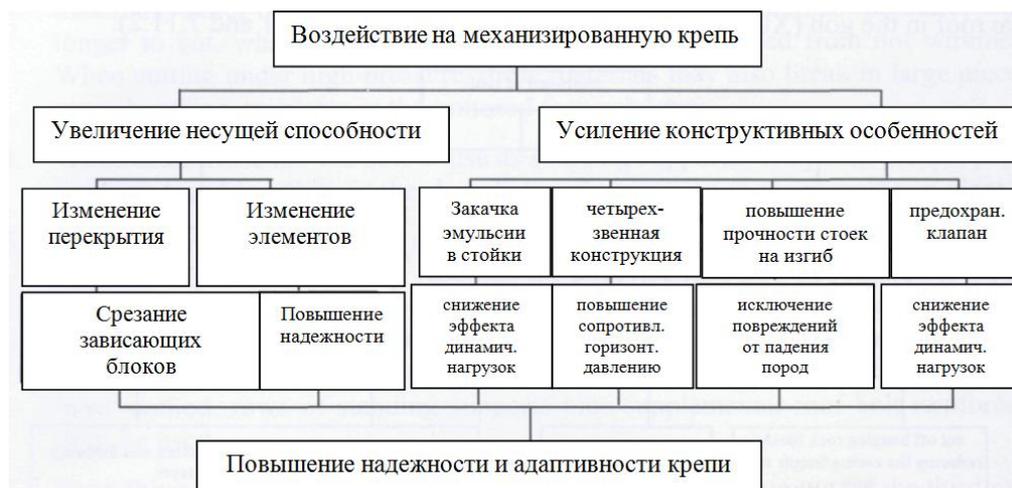


Рисунок 1.14 – Блок схема способов управления труднообрушаемой кровлей посредством изменения параметров призабойной крепи

Геология поля шахты Миike представлена дотретичными, третичными и четвертичными отложениями, содержащими 11 угольных пластов, три из которых представляют промышленный интерес для отработки: «Второй Верхний», «Верхний» и «Главный» пласты. Угол падения свиты изменяется от 2° до 5° . Шахтное поле имеет большое количество геологических нарушений. Мощность междупластия составляет 50 и 140 метров между пластами «Главный» и «Верхний», и пластами «Верхний» и «Второй Верхний» соответственно [89]. Вертикальный разрез поля шахты схематично представлен на рисунке 1.15.

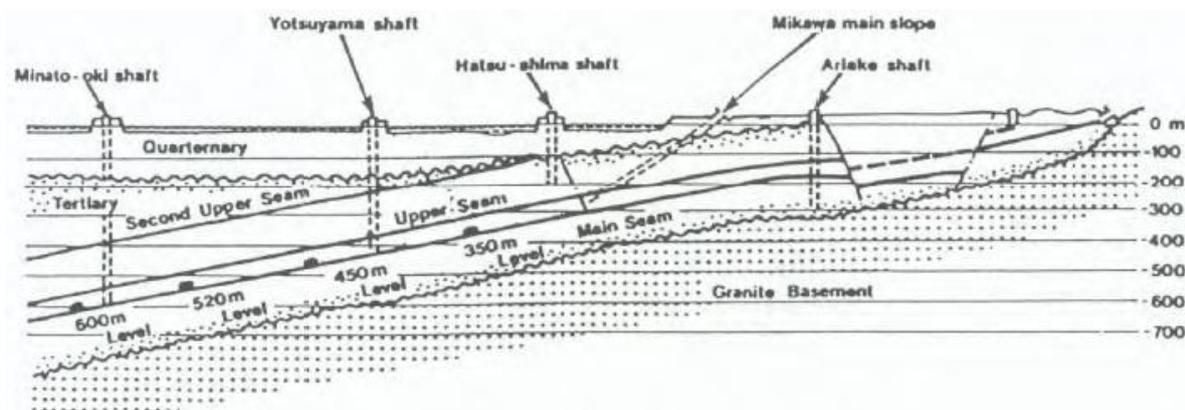


Рисунок 1.15 – Вертикальный разрез поля шахты Миike

Литологическая колонка, представленная на рисунке 1.16, отображает строение кровли пласта «Второй Верхний», и получена в результате разведочного бурения девяти скважин на участке Западный-80.

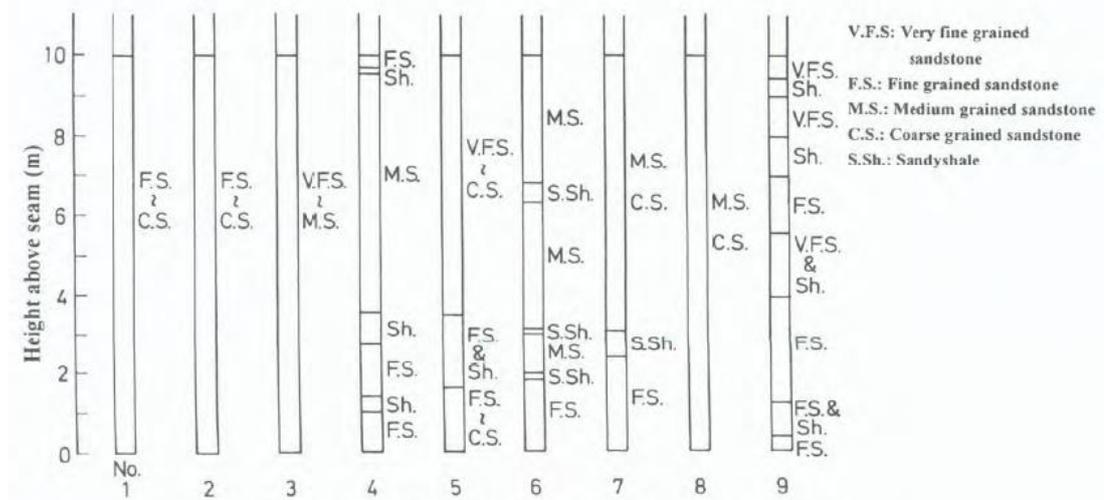


Рисунок 1.16 – Литология кровли пласта «Второй Верхний» на участке Западный-80

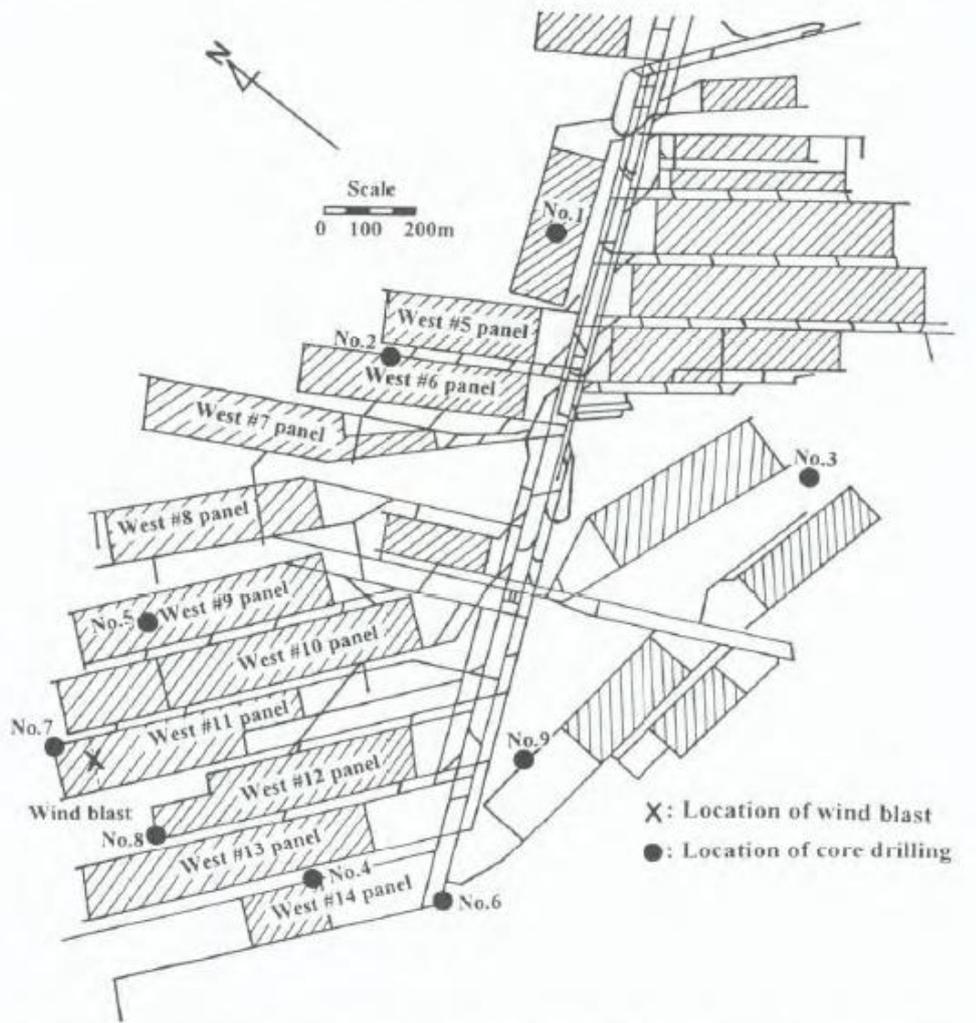


Рисунок 1.17 – Участок шахтного поля шахты Мiike Западный-80

Из рисунка 1.16 видно, что в кровле пласта Второй Верхний залегает слой песчаника мощностью более 10 м.

На рисунке 1.17 отображено расположение выемочного участка «Западный-80». В 1995 году в результате интенсивной отработки этого выемочного столба имела место масштабная осадка тяжелой кровли. В пределах данного выемочного участка запасы разрабатываемого пласта Второй Верхний располагались на глубине 504 м. Мощность пласта изменялась от 4,0 до 4,3 м. Кровля и почва пласта в пределах выемочного столба была представлена песчаником. Местами в почве также залегал сланец. Технология отработки на данном участке предусматривала длину лавы 150 м и вынимаемую мощность пласта равную 2,8 м. В почве пласта оставлялась пачка угля мощностью 1,2-1,5 м.

После отхода лавы на расстояние 90 м от монтажной камеры произошла периодическая осадка кровли. В результате из выработанного пространства мгновенно был вытеснен большой объем метановоздушной смеси (МВС), из-за чего двое горнорабочих получили серьезные травмы. Очистные работы на шахте были прекращены на месяц.

Мероприятия по предотвращению зависаний пород в выработанном пространстве, применяемые на шахте Мiike проводились регулярно.

До начала очистных работ на выемочном участке с применением БВР производилось искусственное разупрочнение нижних слоёв труднообрушаемой кровли.

Вблизи завального борта монтажной камеры в кровле пробуривались два ряда шпуров диаметром 25 мм и длиной 1,8 м. Дальний от забоя ряд бурился вертикально, а ближний – под углом 60-70° к горизонту в направлении от забоя. Расстояние между шпурами в ряду – 1,5 м. Количество ВВ в шпуре составляло 4 патрона по 250 г.

После отхода лавы от места монтажа производилось взрывание зарядов в шпурах. В последствии все обрушения кровли тщательно регистрировались. При отсутствии периодических обрушений производилось принудительное их инициирование путем взрывания зарядов ВВ во вновь пробуренных шпурах.

Схема расположения шпуров для повторного инициирования изображена на рисунке 1.18.

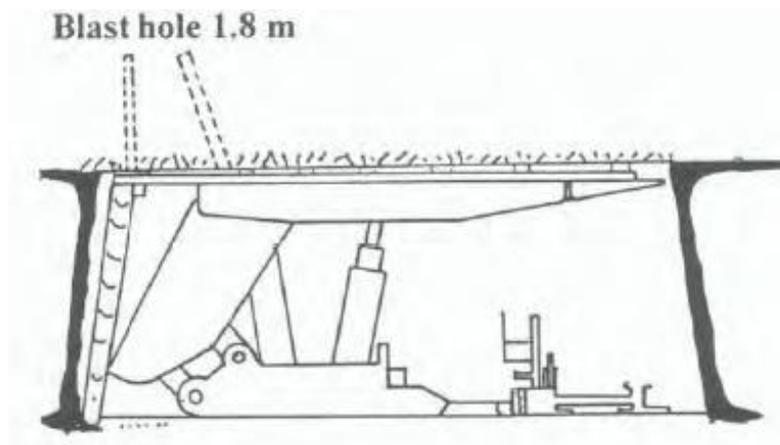


Рисунок 1.18 – Схема расположения шпуров для инициирования обрушения тяжелой кровли при отходе лавы от монтажной камеры на шахте Miike

На рисунке 1.19 показана принципиальная схема бурения шпуров по ходу движения очистного забоя. Диаметр и длина шпуров составляли 25 мм и 2,4-2,7 м соответственно. Угол наклона к горизонту 60° - 70° , направление бурения – противоположно подвиганию забоя. Расстояние между шпурами – 0,5 м. Количество ВВ в шпуре составляло 5 или 6 зарядов по 250 г.

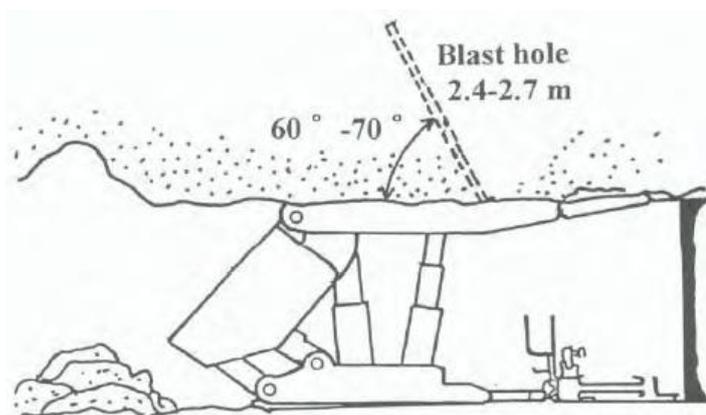


Рисунок 1.19 – Схема расположения шпуров для повторного инициирования обрушения тяжелой кровли при ведении очистных работ на шахте Miike

К числу недостатков данного метода относятся:

- Неравномерная степень разупрочнения кровли из-за повышенной трещиноватости вблизи шпуров.
- Эффективный радиус воздействия взрыва составлял 5-25 радиусов заряда.

- Высокая трудоёмкость и опасность операций по бурению шпуров.

Шахта Моонее располагается в Новом Южном Уэльсе, в 30 км южнее города Ньюкасл и ведет отработку пласта Большой Северный вынимаемой мощностью 3,0-3,5 м. Система разработки – длинными столбами по простиранию. Длины лав составляют 100 м. Выемочные столбы отделяются друг от друга целиками угля шириной 35 м, оставляемыми для управления оседаниями земной поверхности. Глубина разработки меняется от 90 м в северной части шахтного поля, до 170 м в южной [89].

Непосредственная кровля отрабатываемого пласта мощностью 1,5-1,8 м слагается углистым аргиллитом. Также в кровле пласта залегает слой конгломерата мощностью 30-35 м способный зависать в выработанном пространстве шириной 100 м на длину от 50 до 300 м, обрушаясь при этом единовременно по всей площади. На рисунке 1.16 представлена схема расположения выработок шахты Моонее.

Первоначально, по причине отсутствия эффективных методов по управлению шагом обрушения, на шахте Моонее производился микросейсмический мониторинг, позволяющий с высокой вероятностью предсказать масштабное обрушение, и позволяющий вовремя эвакуировать рабочих в безопасное место. Однако основной задачей руководства шахты было обеспечение возможности инициирования обрушений «по расписанию». С этим намерением было начато внедрение технологий гидроразрыва.

Суть метода также заключалась в нагнетании воды под давлением через скважины, пробуренные в труднообрушаемой кровле. Величина давления воды, превосходящая величину сил, удерживающих породы вместе, обеспечивает формирование трещин на внутренних стенках скважины. Направление распространения трещин перпендикулярно линии действия наименьших главных напряжений. Требуемые расход и давление воды, как показывает опыт шахты Моонее, обеспечиваются современными насосными станциями с небольшим запасом. Величина давления – функция от наименьшего главного напряжения в массиве. Величина расхода – функция от проницаемости массива, необходимая для обеспечения раз-

вития трещин. Следует отметить, что большие напряжения требуют большего давления воды, а большая проницаемость пород требует большего расхода.

Опыт гидрорасчленения шахты Moonee (рисунок 1.20) опирался на отрицательный опыт предшественников на шахте Newstan, когда мероприятия проводились впереди очистного забоя в напряженном породном массиве. Некоторый положительный опыт был получен на руднике Northparkers, однако инициируемые обрушения происходили только спустя значительный промежуток времени.

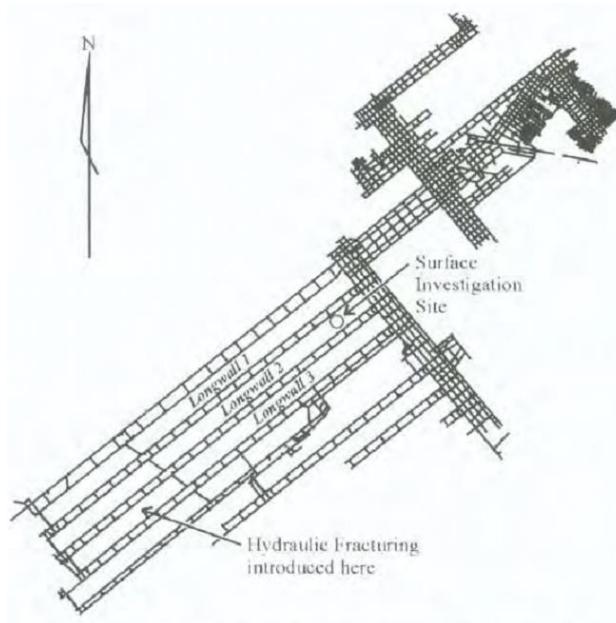


Рисунок 1.20 – Схема горных выработок шахты Моонее

Радиально распространяющаяся трещина оказывает эффект снижения сопротивления разрыву на значительной площади (обычно более 25-30 м). После достижения критической величины давления, распространению трещин также способствуют гравитационные силы. Главной причиной ограничения распространения трещин является потеря напора воды. Причиной этого может служить утечка ее в любую полость, выработанное пространство, крупную трещину и т.д. Реализации метода на шахте Моонее предшествовали обязательные геотехнические исследования с целью предсказать поведение горного массива при гидроразрыве и разработке наиболее эффективной стратегии.

Наблюдения и геологическая съемка параметров свода обрушения, формирующегося в выработанном пространстве, послужили надежным источником исходных данных для последующих аналитических исследований.

На рисунке 1.21 приведен пример геометрической формы свода обрушений в выработанном пространстве лавы 1. Свод имел форму арки высотой 12-15 м разделенную от обрушенных пород свободным пространством. В последствии, многочисленные наблюдения форм выработанных пространств как традиционно происхождения, так и полученных в результате гидроразрыва, имели высокую степень схожести. В том числе и относительно высоты свода. После обрушения породы свода сохраняли устойчивое состояние.

Кроме того, наблюдения проводились в отношении размеров и частоты естественных обрушений кровли в выработанном пространстве.

При отработке выемочного столба лавы 1 было зафиксировано около 40 обрушений. При отработке последующих выемочных столбов, до применения гидроразрыва, количество обрушений сократилось вдвое, а объем зависающих пород соответственно вдвое увеличился. Данное наблюдение подтверждается тем фактом, что существенную роль в процессе обрушения играют боковой распор (горизонтальное напряжение) и поровое давление. В лаве 1 оба этих показателя имели величину выше, чем в последующих, поэтому и частота обрушений была выше. Наличие выработанного пространства смежного столба для последующих лав послужило причиной снижения величин горизонтальных напряжений и порового давления из-за дренирования воды.

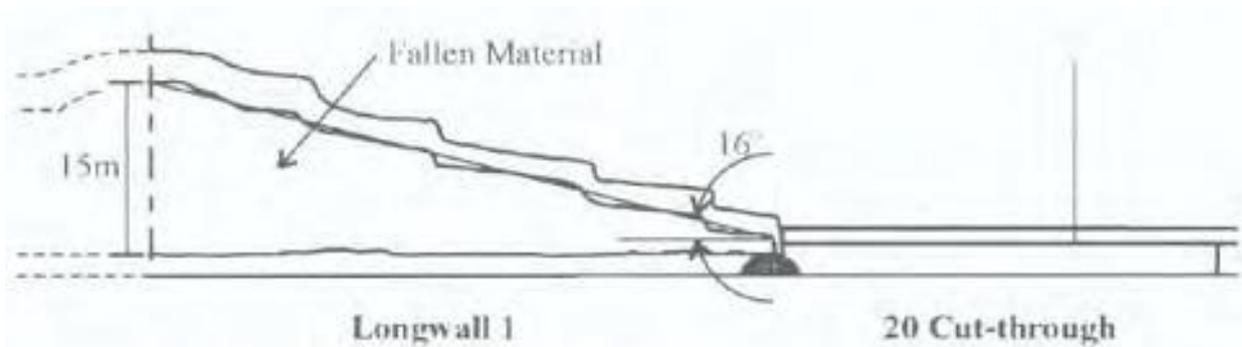


Рисунок 1.21 – Результаты натурных наблюдений в выработанном пространстве лавы 1 шахты Moonee

Измерения напряжений, действующих в массиве горных пород, показали довольно низкий уровень горизонтальных напряжений. Максимальное горизонтальное напряжение составляло 8 МПа, действующее в направлении около 30° от

севера на восток, что почти совпадает с направлением участковых выработок. Минимальное горизонтальное напряжение, действующее в перпендикулярном направлении, составляло 4 МПа. В свою очередь вертикальная компонента напряжений составляла 4 МПа при глубине 160 м.

Полученные данные представляли особую значимость при объяснении механизма обрушений слоя конгломерата и направлении развития трещин в массиве при его гидрорасчленении.

Модуль Юнга (модуль упругости) конгломерата – 20 ± 5 ГПа, прочность на одноосное сжатие – 50 ± 10 МПа, прочность на разрыв – около 4 МПа. Модуль упругости песчаника – от 19 до 39 ГПа, прочность на одноосное сжатие – в среднем 80 МПа. Несмотря на то, что свойства материалов существенно отличались у различных пород, существенной изменчивости в пределах шахтного поля не было.

С целью определения параметров гидроразрыва (проницаемость массива и темп развития трещин), а также с целью подтверждения возможности получения горизонтальных трещин в схожем поле напряжений были проведены экспериментальные исследования.

Опытный участок располагался на продольной средней линии выемочного столба, в 30 м от места остановки лавы 2 (рисунок 1.20). Местоположение участка позволяло провести эксперимент в аналогичных горно-геологических условиях. С земной поверхности были пробурены четыре скважины: центральная – для нагнетания воды; три наблюдательные, радиально расположенные относительно центральной на расстоянии 5, 10 и 13 м. Глубина скважин составляла около 110 м.

Результаты испытания показали возможность получения горизонтальной трещины на расстоянии 5 м от свободной поверхности. Развитие трещины началось при давлении жидкости 5 МПа, и поддерживалось при давлении 1,4 МПа, что оказалось ниже ожидаемой величины, но было схоже с результатами моделирования.

Распространение трещины на расстояние 13 м заняло 7 мин при расходе воды 200 литров в мин. Максимальное расстояние распространения трещины составило 25 м.

В результате эксперимента было определено, что время проведения гидроразрыва в подземных условиях может составить от 50 мин до 2 ч при использовании воды в качестве рабочей жидкости. При использовании органических гелей эффективность гидроразрыва может быть увеличена.

Первое применение метода гидроразрыва труднообрушаемой кровли на шахте Моорее производилось при длине зависания, равной 55 м. Тогда в течение 2 ч нагнетания воды в слой конгломерата было принудительно обрушено около 70 000 тонн пород. Первое испытание, в целом, прошло успешно и подтвердило пригодность метода для решения поставленной задачи.

Общее количество воды, закаченной в породы под давлением 1,8 МПа, составило около 40,5 тыс. литров. Точное определение параметров гидроразрыва было затруднено горнотехнической ситуацией, однако приблизительные расчеты показали, что радиус распространения трещины составил около 30 м после 15-20 мин работы насосов. С этого момента темп распространения трещины снизился, предположительно из-за встречи с крупной естественной трещиноватостью.

Спустя 38 мин над местом первого обрушения произошло повторное. Оба явления были зарегистрированы системами микросейсмического мониторинга. Объемы закачиваемой воды не превысили расчетных значений, хотя близко к ним приблизились. Таким образом, опыт реализации метода может считаться положительным.

Второй раз метод был опробован на шахте спустя 15 дней после описанного. В отличие от предыдущего опыта, в данном случае удалось довольно подробно определить параметры изменения напряжений и смещений массива. На рисунке 1.22 представлен итоговый график изменения давления и конвергенции.

Инъекционная скважина была пробурена вертикально в центре лавы на 12 м вверх и подключена к высоконапорной магистрали при отходе лавы на 35 м от места предыдущего обрушения. В результате около 100 000 тонн пород было об-

рушено (зависание длиной 77 м) после нагнетания в массив 15 000 л воды в течение 51 мин. На 15 м ниже по лаве была пробурена вторая скважина, снабженная аппаратурой мониторинга НДС МГП и продублированной напорной магистралью. Диаметр магистралей в обеих скважинах составлял 25 мм. Также в выработанном пространстве была установлена аппаратура контроля вертикальных смещений. Образование трещины началось в момент превышения давлением воды суммы боковых напряжений и предела прочности пород на разрыв (10,5 МПа) (рисунок 1.22). Все вышеперечисленное оборудование было оставлено в выработанном пространстве при обрушении. Подача давления в скважину осуществлялась после отхода лавы на 30-35 м от пробуренных скважин.

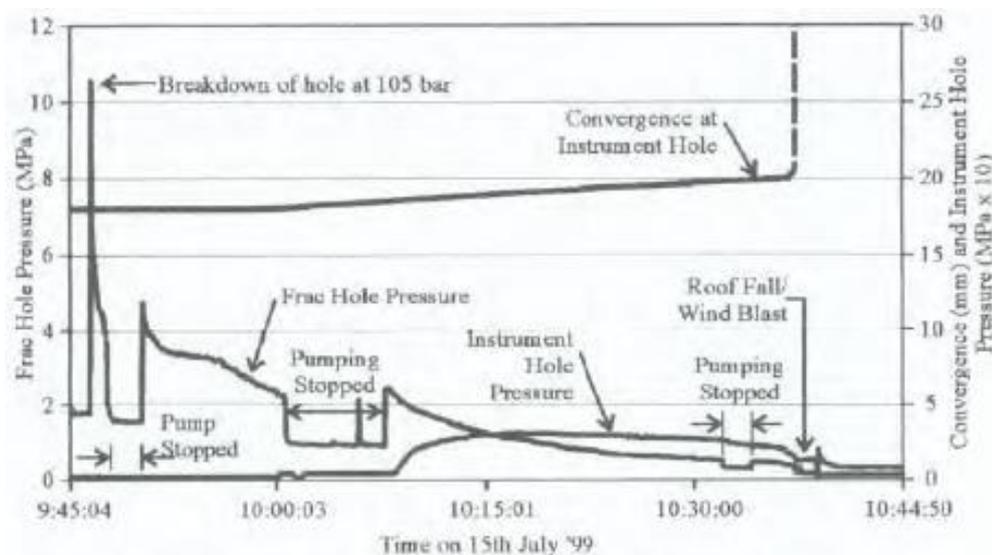


Рисунок 1.22 – Параметры давления, расхода воды и смещений массива, зафиксированные при второй попытке гидроразрыва труднообрушаемой кровли на шахте Моонее

После второй успешной попытки реализации метода, его применение на шахте Моонее приняло регулярный характер (каждые 10 дней). Применение гидроразрыва при управлении труднообрушаемой кровлей позволило исключить риск мощных динамических осадков и вытеснения из выработанного пространства больших объемов МВС и, как следствие, повышение безопасности труда. Предварительные геотехнические исследования, проведенные на шахте, способствовали успешному определению параметров технологии, и ее эффективной реализации.

Описанный опыт показал, что направление развития создаваемых трещин в массиве горных пород зависит от напряженного состояния массива. В случае если

исходное поле напряжений не обеспечивает условия для формирования трещин требуемых параметров, оно может быть скорректировано горными работами. В целом, данный опыт отражает тот факт, что ключом к успешной реализации технологий гидрорасчленения труднообрушаемой кровли является достаточное понимание природы НДС массива и механики слагающих его слоев.

1.4 Обзор научно-технической и нормативной литературы по выбору параметров технологических схем отработки свит пологих газоносных угольных пластов в условиях их взаимного влияния

Проведен обзор научно-технической литературы и нормативных документов. Наибольший интерес при написании данной диссертационной работы представляют следующие документы: [51,65,55,76,77].

Наличие такого количества нормативных документов обуславливается сложными процессами, протекающими при отработке свит угольных пластов на больших глубинах. Большая глубина в условиях Воркутского месторождения определяется склонностью угольных пластов с определенных глубин к газодинамическим и динамическим явлениям, высокой относительной и абсолютной метанообильностью, проблемами с поддержанием горных выработок и влиянием зон ПГД на надрабатываемый и подрабатываемый массивы. Не смотря на то, что весь ряд данных отраслевых документов был разработан 20-30 лет, по сегодняшний день компании обязаны руководствоваться и использовать данные отраслевые инструкции и документы.

Увеличение глубины и интенсивности отработки сближенных угольных пластов приводит к различию фактических и расчетных данных, полученных при использовании данных инструкций. Так на примере шахт АО «Воркутауголь» на основании перспективных геомеханических схем предусмотрена первоочередная отработка защитного пласта «Четвертый», которая обеспечивает разгрузку массива и снимает фактор удароопасности и повышенного газовыделения [51]. Не смотря на это, при ведении горных работ в донной части месторождения в подработанных зонах наблюдаются динамические явления и повышенное газовыделе-

ние, что подтверждает актуальность исследования влияния первоочередной отработки защитного пласта на эффективность работы по сближенных пластам.

В инструкциях АО «Воркутауголь» [65] используются формулы, которые не учитывают интенсивность ведения горных работ и основные горнотехнические параметры выемочных участков (длина лавы), а также используются усредненные физико-механические свойства вмещающих горных пород. Отсюда в 50 % случаев расчетный и фактический шаги обрушения отличаются как в большую, так и в меньшую сторону [85]. Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что существующие методические подходы к расчету шагов обрушения кровли не отражают закономерностей протекания геомеханических процессов и могут применяться только для узкого диапазона горнотехнических условий, которые не являются характерными для современных высокопроизводительных шахт.

Острого внимания требуют к себе инструкции по построению защитных зон и зон ПГД. Действующие нормативные документы предусматривают использование готовых расчетных схем и формул для определения геометрических размеров влияния зоны разгрузки, как в почву, так и в кровлю, а так же влияния зон ПГД от краевых частей массива или целиков в почву и кровлю. Основными исходными данным для построения данных зон являются: глубина ведения горных работ H , мощность рабочего пласта m , мощность междупластия M , угол падения пластов α .

Вся зона ПГД подразделяется по дальности влияния на зону повышенной опасности ЗПО, опасную зону ОЗ, прогностическую зону ПЗ. Несмотря на деление зон ПГД на 3 подзоны согласно номмограммам, указанным в инструкциях дифференциация данных подзон ПГД является важным фактором [21]. Оценить степень влияния данных подзон можно лишь используя численное моделирование НДС массива. Пример построения зон ПГД представлен на рисунке 1.23.

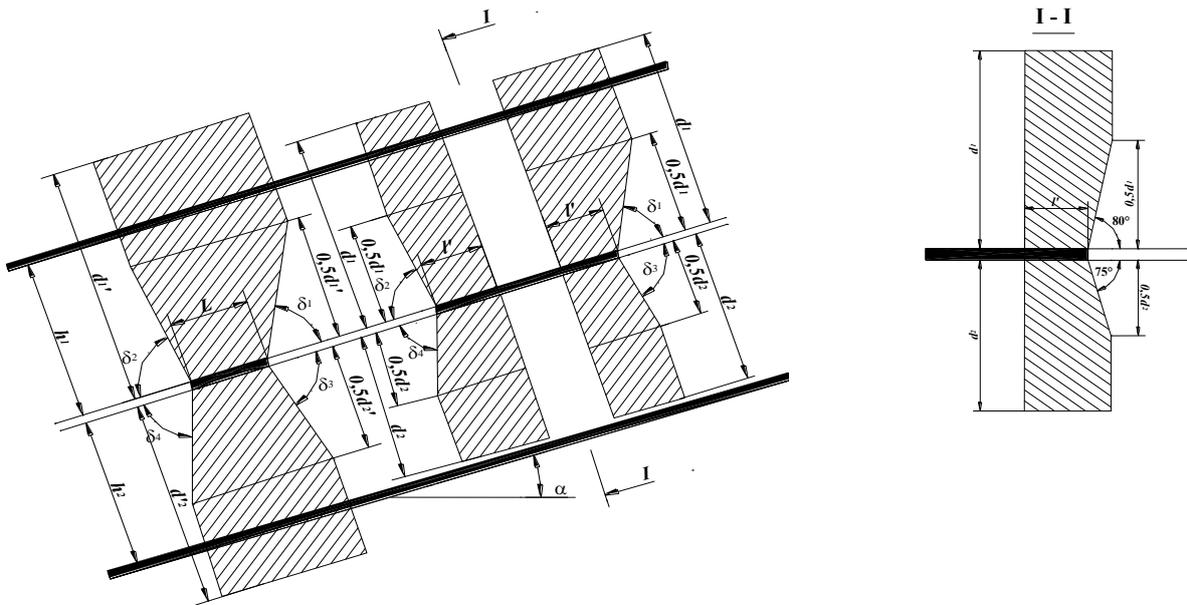


Рисунок 1.23 - Пример построения зон ПГД

1.5 Выводы по первой главе

Таким образом, проанализированы горно-геологические и горнотехнические условия отработки сближенных пластов донной части Воркутского месторождения. Анализ показал рост неблагоприятных факторов, влияющих на эффективность и безопасность ведения горных работ, таких как: высокая природная метанообильность пластов, снижение положительного эффекта от опережающей отработки защитного пласта, рост влияния зон ПГД на сближенные пласты, ограниченные размеры выемочных столбов, высокие потери в целиках на границах выемочных столбов, низкие нагрузки на очистные забои и ряд других факторов. По верхнему пласту «Тройной» используется система разработки длинными столбами по простиранию и падению с подготовкой одиночными выработками. Поддержание выработок весьма затруднительно, не смотря на подработанный массив. Паспортное сечение не выдерживается, что способствует проблемам с проветриванием. По пласту «Четвертый» используется подготовка спаренными выработками, что способствует образованию дополнительных целиков и зон ПГД.

Одной из предполагаемых причин аварий на шахтах «Воркутинская» и «Северная» в 2013 и 2016 г. является гипотеза о выталкивании большого объема метановоздушной смеси из выработанного пространства в очистную и примыкающие выработки, вследствие обрушения основной кровли по мере подвигания очистного

забоя. Не смотря на то, что пласты «Тройной» и «Мощный», на которых произошли аварии отрабатываются после защитной подработки нижних пластов «Четвертый» и «Пятый», эффект поршневого выталкивания присутствует. Большие объёмы метановоздушной смеси провоцируют длительную загазованность очистных забоев и повышают риск возникновения аварий.

Также актуальной проблемой для донной части Воркутского месторождения является неправильная раскройка шахтного поля в донной части. Формирование протяженных зон ПГД из-за оставления больших целиков на границах выемочных участков. Данные зоны является повышенным риском для безопасной отработки месторождения на нижних горизонтах. Прямолинейность хода очистного забоя не позволяет доработать данные целики традиционными технологическими схемами, применяемыми в настоящее время. Целики, оставленные по нижнему пласту «Четвертый» формируют зону ПГД и вынуждают оставлять целики по пласту «Тройной» еще больших размеров, так как зона ПГД от краевой части проецируется под углом φ [76].

Анализ мирового опыта отработки сближенных пластов показал, что не только в России, но и за рубежом проблема отработки свит угольных пластов является весьма актуальной. На примере США, где была создана отдельная государственная структура, ведущая наблюдения за разработкой сближенных пластов, была разработана рейтинговая шкала оценки эффективности работы по сближенным пластам различными системами разработки и в зависимости от того, что является источником зон ПГД: целик или краевая часть. Данная шкала оценки помогла отсекаать наиболее неблагоприятные способы разработки и свести к минимуму аварии.

Проведен обзор способов управления состоянием массива в подработанных зонах и зонах ПГД. Анализ показал, что зарубежные и российские компании используют схожие мероприятия по управлению состоянием массива (скважинное торпедирование, гидро-микро торпедирование, пластовое увлажнение и др.), но горно-геологические условия разработки угольных месторождений имеют значительные отличия по глубине ведения горных работ, по относительной метанобильности и ряду других факторов.

Обзор нормативной литературы показал, что отраслевые документы, которые угольные компании обязаны использовать на сегодняшний день, не отвечают уровню роста суточного подвигания, нагрузок на очистные забои и ухудшению горно-геологических условий. Документы разрабатывались 20-30 лет назад, когда горно-геологические условия были наиболее благоприятные, а горнотехнические условия имели иной уровень. Сегодня же фактические и расчетные данные имеют погрешности, что может сказаться на безопасности ведения горных работ. Нормативная база требует корректировки под современные темпы добычи и глубины разработки.

Таким образом, опираясь на вышеописанное, целью настоящей работы является повышение эффективности отработки сближенных пластов Воркутского месторождения с увеличением полноты извлечения запасов.

Сформированные задачи исследования:

1. Анализ зарубежного опыта отработки сближенных пластов;
2. Натурные исследования влияния параметров технологических схем на геомеханические и газодинамические процессы на выемочных участках в зонах взаимного влияния пластов.
3. Экспериментально-аналитические исследования влияния параметров технологических схем на геомеханические и газодинамические процессы на выемочных участках в зонах взаимного влияния пластов.
4. Разработка комплекса рекомендаций по расширению подработанной зоны и повышению эффективности отработки сближенных пластов Воркутского месторождения.
5. Экономическая оценка разработанных рекомендаций.

ГЛАВА 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НА ГАЗО- И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ В ПОДРАБОТАННЫХ ЗОНАХ

2.1 Выбор методики проведения исследований

Для исследований влияния деформации основной кровли в период первичной посадки и в режиме установившегося шага обрушения были использованы следующие методики:

- Натурные исследования на базе шахты «Воркутинская».
- Экспериментально-аналитические исследования с помощью математического моделирования в программном пакете ANSYS Static Structural.

Натурные исследования включали в себя ежедневный осмотр выемочного участка по пласту «Тройной» шахты Воркутинская с целью наблюдения параметров газовыделения и состояния массива. Регистрация всплесков метановыделения по мере движения очистного забоя, регистрация всплесков метановыделения по мере посадки основной кровли, осмотр журналов участкового геолога по учету шага обрушения основной кровли.

Экспериментально-аналитические исследования заключались в численном моделировании НДС массива и определения параметров разгрузки при подработке пласта «Тройной» пластом «Четвертый». Также была построена газодинамическая модель для определения влияния деформации основной кровли на аэрогазодинамические процессы на выемочном участке.

2.2 Исследование влияния глубины разработки на параметры защищенных зон и зон ПГД при отработке сближенных пластов Воркутского месторождения длинными столбами

На сегодняшний день пласты «Тройной» и «Четвертый» отрабатываются на шахтах «Комсомольская» и «Заполярная-2». Основными проблемами на месторождении являются: опасность пластов по горным ударам и внезапным выбросам, глубина разработки до 1250 м, высокая природная метаноносность пластов спутников (до 33 м³/т) и абсолютная метанообильность выемочных участков (до 130 м³/мин). Несмотря на то, что в качестве регионального метода предотвращения

горных ударов и внезапных выбросов на шахтах АО «Воркутауголь» принята защитная подработка пласта «Тройной» пластом «Четвертый», отработать полностью все шахтное поле без оставления целиков и формирования зон повышенного горного давления (ПГД) на подрабатываемом пласте практически невозможно [21].

Согласно инструкции по построению защитных зон и зон ПГД с увеличением глубины разработки эффективность защитной подработки значительно снижается и увеличивается величина распространения зоны ПГД в кровлю пласта для условий Воркутского месторождения. Данный факт говорит об актуальности исследования влияния глубины разработки на параметры защищенных зон и зон ПГД при отработке сближенных пластов Воркутского месторождения. Данная инструкция была разработана в 80-е года прошлого столетия, когда горно-геологические условия были значительно благоприятнее, а горное оборудование было не способно достигать современных нагрузок на очистные забои. Не смотря на это, данная инструкция является актуальным нормативным документом, которым обязаны пользоваться все действующие шахты Российской Федерации. Схемы, полученные в результате расчетов по данной инструкции, показывают лишь конкретные геометрические параметры зон разгрузок и зон повышенного горного давления (ПГД). Полученной информации недостаточно для выбора оптимальной технологической схемы, схемы управления состоянием массива или управления газовыделением. Результаты построения данных зон не показывают ее дифференциацию с увеличением отдаления от рабочего пласта, что является весьма важным фактором.

Проанализировав донную часть Воркутской мульды, были выявлены следующие негативные факторы:

- Увеличение глубины горных работ;
- Увеличение относительной метаноносности;
- Увеличение абсолютного метановыделения;
- Увеличение проблем с поддержанием подготовительных выработок;
- Низкие нагрузки на очистной забой;

- Раскройка шахтного поля неправильной формы;
- Оставление целиков на границах выемочных участков.

Проведя детальный анализ Воркутской мульды можно сделать вывод, что при подходе выемочных участков к самым низким горизонтам горно-геологические условия значительно ухудшаются (таблица 2.1).

В связи с увеличением глубины разработки и подходом к нижней части месторождения проблема влияния и распространения зон ПГД от целиков и краевых частей пласта «Четвертый» значительно возрастает. Основными концентраторами напряжений являются краевые части пластов на границах выемочных столбов и межстолбовые целики при спаренной подготовке. Согласно инструкции по построению защитных зон и зон ПГД зависимость зоны разгрузки и зоны распространения ПГД в кровлю от глубины разработки для условий шахты «Заполярная-2» имеет следующий вид (рисунок 2.1):



Рисунок 2.1 - Зависимость распространения зоны разгрузки зоны ПГД в кровлю от глубины разработки для условий шахты «Заполярная-2» пласта «Четвертый»

График зависимости распространения параметров зоны разгрузки в кровлю пласта «Четвертый» от глубины разработки показывает динамику снижения эффективности опережающей отработки данного пласта вследствие увеличения глубины разработки. Инструкция по построению защитных зон и зон ПГД предусматривает получение лишь конкретных геометрических параметров данных зон [85].

Таблица 2.1 - Факторное пространство действующих и законсервированных шахт на период I квартал 2017

Шахта	Пласт	Лавы действующие (I кв. 2017г)	Длина лавы, м	Метаноносность пласта, м ³ /т	Глубина, м	Лавы в донной ча- сти мульды	Длина лавы, м	Метаноносность пласта, м ³ /т	Глубина, м
Воркутинская	Тройной	35-ю	128	22	760 850	1012-ю	269	30	950 970
	Четвертый	712-ю	250	24	930 970	514-с	300	30	1050 1070
Комсомольская	Тройной	512-ю	298	29	1000 1010	712-ю	300	33	1050 1065
	Четвертый	812-ю	265	24	1070 1100	-			
Заполярная	Тройной	714-с	230	23	860 900	814-с	230	29	930 960
	Четвертый	1312-ю	300	25	970 1020	-			
Последние действующие лавы на шахте «Северная» (I кв. 2016 г.)									
Северная	Тройной	-	-	-	-	Планируется отработка шахтой «Комсомольская» Южный блок пласта «Тройной»			
	Четвертый	223-ю	253	24	900 915	Планируется отработка шахтой «Комсомольская» Южный блок пласта «Четвертый»			
	Мощный	412-с	220	23	820 860	722-с	220	30	850 880
	Пятый	512-з	300	25	880 990	412-в	280	34	910 1010

Целики на границах выемочных столбов по пласту «Четвертый» ведут к образованию протяженных зон ПГД, которые в свою очередь влияют на безопасность горных работ и на размеры выемочных столбов по пласту «Тройной» [87].

2.3 Исследование влияния подработки на шаг обрушения основной кровли при отработке пласта «Тройной» Воркутского месторождения длинными столбами

Для оценки влияния подработки на шаги первичного обрушения основной кровли выполнен анализ шахтных данных на выемочных участках, обрабатываемых в зонах разгрузки на пластах «Тройной», сформированных опережающей отработкой участков на защитных пластах «Четвертый».

Значительный интерес представляют проведенные в лаве 212-з пласта «Мощный» (шахта «Северная», 2008 г.) инструментальные наблюдения за характером обрушения кровли и НДС массива [58]. До начала очистных работ по скважинам, пробуренным для разупрочнения основной кровли способом ГМТ, было установлено расслоение песчаников в кровле пласта на высоту 12-13 м и выше. Последующие мероприятия, направленные на разупрочнение труднообрушаемой кровли в зоне первичной осадки кровли в лаве 212-з, показали невозможность реализации метода гидромикроторпедирования, вследствие наличия повышенной трещиноватости, отсутствия герметичности скважин и наличия аэродинамической связи между скважинами, что подтверждается Актами определения герметичности скважин. В дальнейшем, по мере развития очистных работ наблюдениями за обрушением кровли установлено ее обрушение на высоту более 2,5-3,5 мощностей пласта при отходе лавы на 70-80 м с последующим ростом газовыделения в дегазационные скважины. Таким образом, при отработке пласта «Мощный» на участке с труднообрушаемой кровлей, представленной мощными (до 30-40 м) слоями прочного ($\sigma > 80$ МПа) песчаника при мощности междупластья $M=31-33$ м и мощности подрабатывающего пласта «Пятый» 0,9 м (1,2 м), и при соотношении мощности междупластья к вынимаемой мощности равном 26-33 обеспечивалось расслоение мощных песчаников основной кровли

пласта «Мощный» с первичным обрушением пород основной кровли с шагом 70-80 м при расчетном шаге осадки (без учета подработки) – 110-130 м. Таким образом, в зоне подработки в рассмотренных условиях фактический первоначальный шаг обрушения был меньше расчетного в 1,4-1,9 раза.

Анализ геологических прогнозов на отработку выемочных участков (разрезов по оси лав и характеристик вмещающих пород) показал, что специфическими особенностями горно-геологических условий на разрабатываемых участках является высокая изменчивость литологического строения пород кровли разрабатываемых пластов и физико-механических свойств литологических разностей, что осложняет обобщение фактических шахтных данных и требует обособленного рассмотрения каждой горнотехнической ситуации. В ходе дальнейших исследований обобщение данных осуществляется укрупненно по подтипам труднообрушаемой кровли.

Для оценки влияния основных горнотехнических (длина лавы, наличие ранее отработанных участков) и горно-геологических (различное строение и деформационно-прочностные свойства пород) факторов на параметры зон разгрузки, формируемых в подработанном массиве горных пород при опережающей отработке пласта «Четвертый» выполнены численные исследования, в результате которых определено влияние указанных факторов для характерных условий и установлена изменчивость зон разгрузки как в пределах углепородной толщи (вертикальная плоскость), так и в пределах подрабатываемого пласта «Тройной».

Для проведения исследований была разработана трехмерная горно-геомеханическая модель массива горных пород.

Для установления влияния подработки использовалась расчетная схема (рисунок 2.2), соответствующая отработке запасов выемочных участков длинными очистными забоями, со следующими параметрами выемочных столбов: l – длина лавы; L – длина столба, z – подвигание очистного забоя (от монтажной камеры).

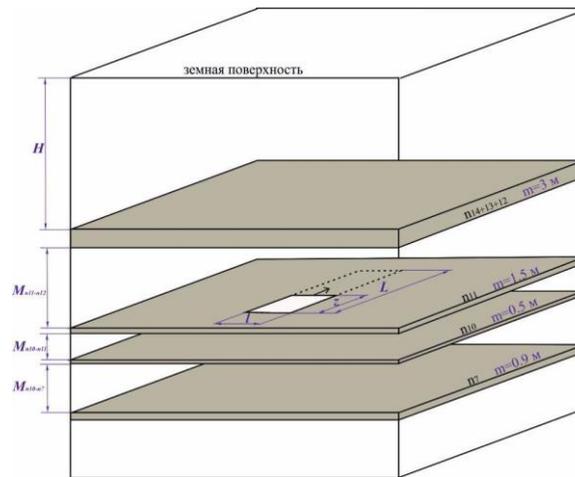


Рисунок 2.2 – Расчетная схема для оценки влияния подработки

Использование разработанной горно-геомеханической модели и расчетной схемы позволяет выполнить расчет полей напряжений и деформаций в окрестностях очистных выработок в зоне влияния очистных работ и их изменений, которые обуславливаются как развитием очистных работ в пределах выемочного столба, так и в пределах пласта по мере отработки выемочных столбов. Полученные поля напряжений позволяют оценить параметры зон разгрузки, формируемых в подработанной толще в трехмерном пространстве и по характерным сечениям (рисунки 2.3-2.5).

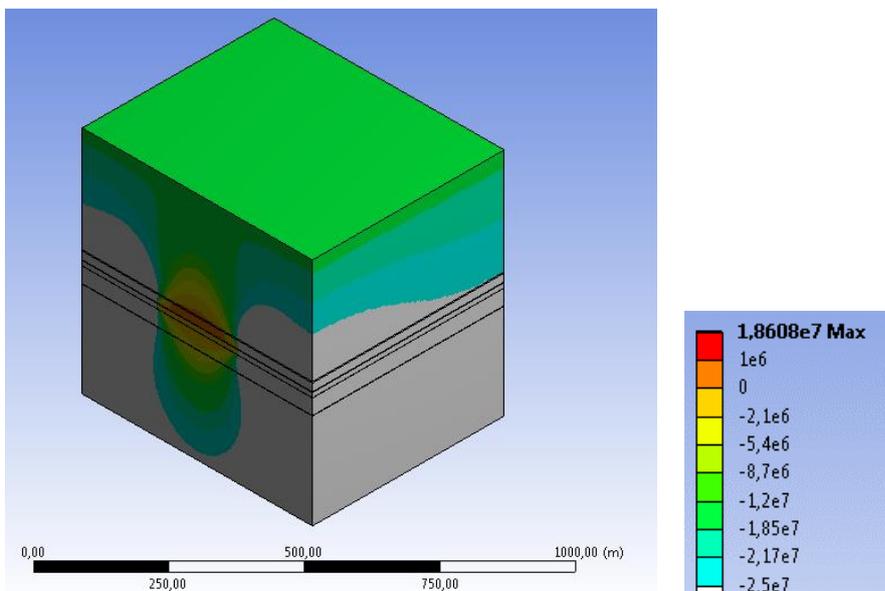


Рисунок. 2.3 – Напряженное состояние трехмерного массива горных пород (зоны разгрузки)

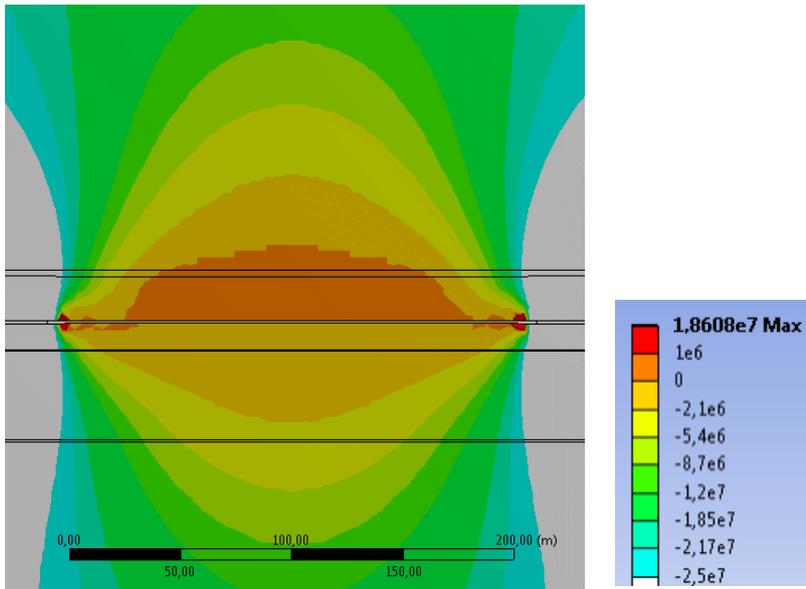


Рисунок 2.4 – Поля напряжений в характерном сечении (вертикальная плоскость, расположенная перпендикулярно направлению подвигания лавы) при длине лавы по пласту «Четвертый» 200 м

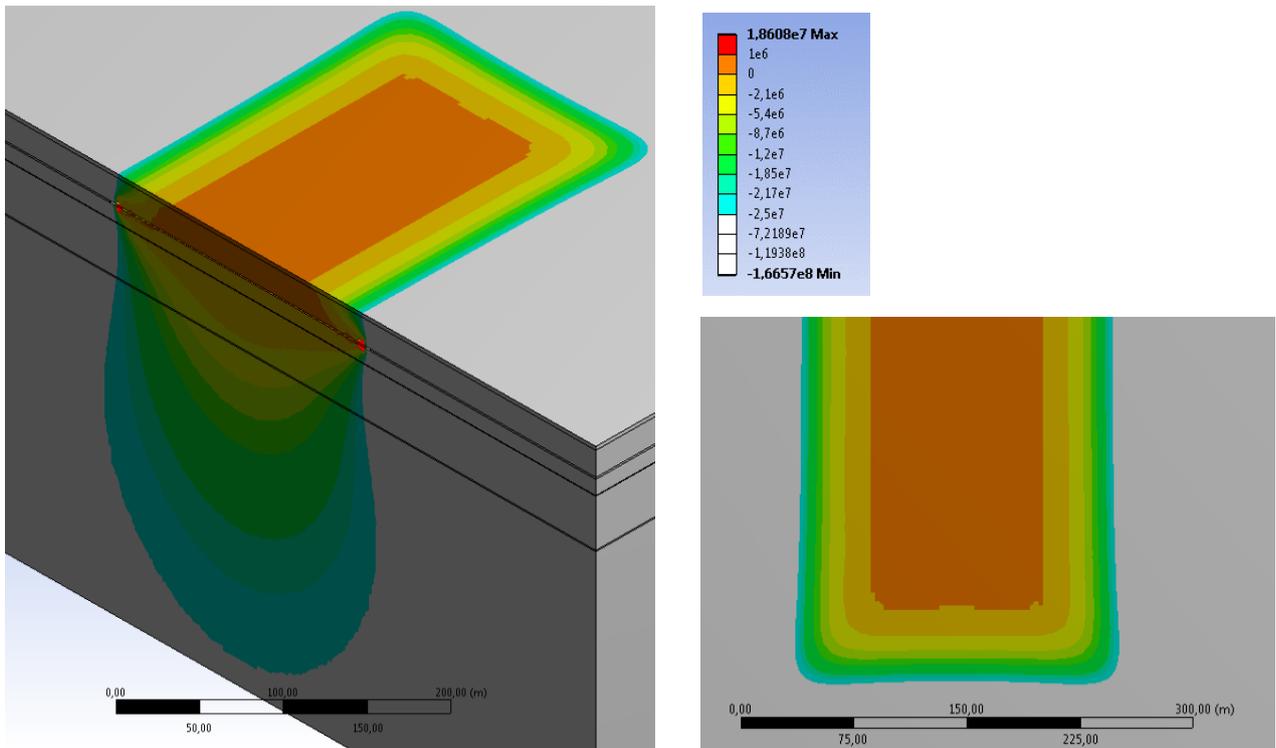
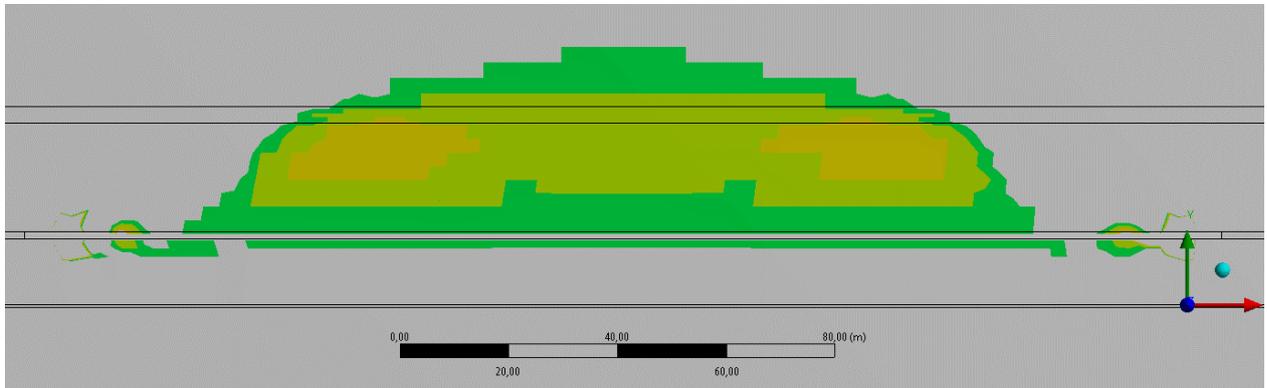


Рисунок 2.5 – Поля напряжений в зонах разгрузки по пласту «Тройной», при длине лавы по пласту «Четвертый» 250 м

На рисунке 2.6 представлены поля растягивающих напряжений, формирующихся в кровле пласта «Четвертый». Как видно из рисунка 2.6, А область растягивающих напряжений распространяется от выработанного пространства пласта «Четвертый» в кровлю пласта «Тройной». Однако, максимальное распространение – на 20 м в кровлю пласта «Тройной» -

наблюдается на ограниченном участке над центральной частью выработанного пространства.

А)



Б)

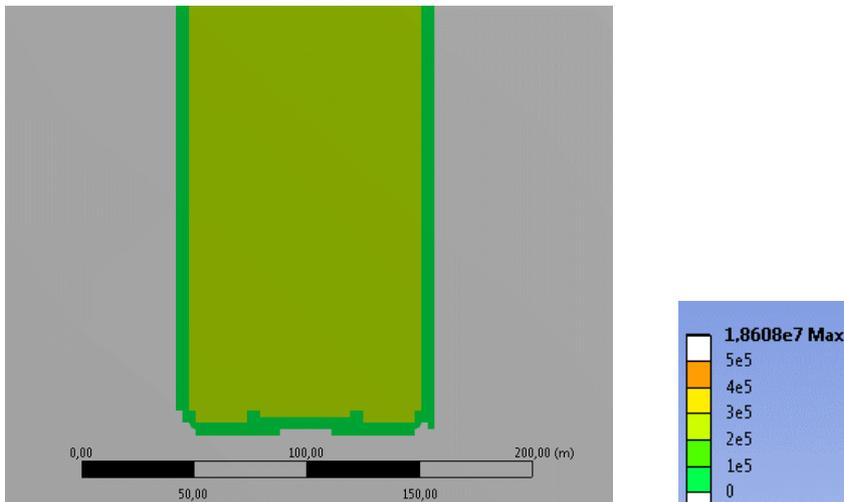


Рисунок 2.6 – Поля растягивающих напряжений, сформированные отработкой участка по пласту «Четвертый»: А) разрез вкрест простирания; Б) в непосредственной кровле пласта «Тройной»

На рисунке 2.7, В представлено распространение растягивающих напряжений на контакте пласта с непосредственной кровлей. Как видно из рисунка 2.7 В ширина области растягивающих напряжений в рассматриваемой зоне составляет порядка 120 м, при длине лавы по подрабатываемому защитному пласту 220 м. Таким образом, влиянием подработки может выражаться в расслоении пород в зонах растягивающих напряжений дальность влияния которых определяется деформационно-прочностными свойствами пород кровли и междупластья, вынимаемой мощностью подрабатываемого пласта, длиной лавы по подрабатываемому пласту. При первоочередной отработке

пласта «Четвертый» обеспечивается формирование зон растягивающих напряжений в кровле подрабатываемого пласта «Тройной», однако ширина зоны разгрузки в кровле составляет порядка 60-70% от длины лав по защитному пласту, а высота распространения зоны растягивающих напряжений определяется мощностью междупластья и свойствами пород кровли подрабатываемых пластов.

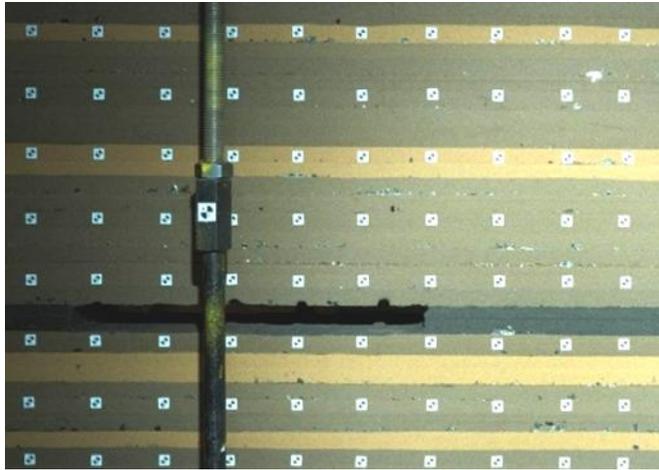
Представляют значительный интерес исследования на моделях из эквивалентных материалов, выполненные в лаборатории физического моделирования Научного центра геомеханики и проблем горного производства Санкт-Петербургского горного университета [23]. Моделировалась отработка пласта «Тройной» в зоне подработки пластом «Четвертый» и за пределами зоны подработки для горно-геологических условий шахты «Воркутинская». Фрагменты результатов исследований, отражающие характерные особенности деформирования и обрушения пород подработанного и неподработанного массива горных пород, представлены на рисунке 2.7.

В результате исследований установлено, что первоочередная отработка пласта «Четвертый» привела к существенному сокращению шага обрушения основной кровли пласта «Тройной» с 72 м (рисунок 2.7,Б) до 50 м и появлению значительного количества новых дополнительных секущих трещин и расслоению по поверхностям напластования.

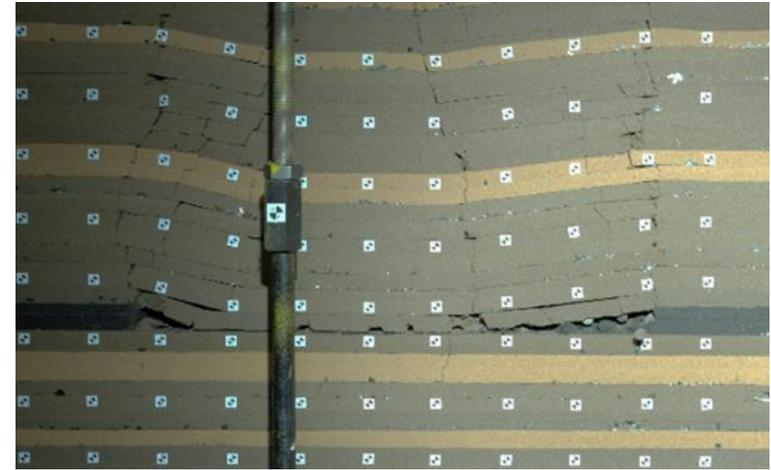
Наличие дополнительных трещин и расслоений при первоочередной отработке пласта «Четвертый» привело к исключению зависания непосредственной кровли, наблюдаемому при первоочередной отработке пласта «Тройной» (рисунок 2.7,А), и обрушению пород непосредственной кровли с шагом порядка 10 м.

Таким образом, физическое моделирование подтвердило существенное влияние первоочередной отработки защитного пласта «Четвертый» на состояние и процессы деформирования и обрушения непосредственной и основной кровли в подработанной толще.

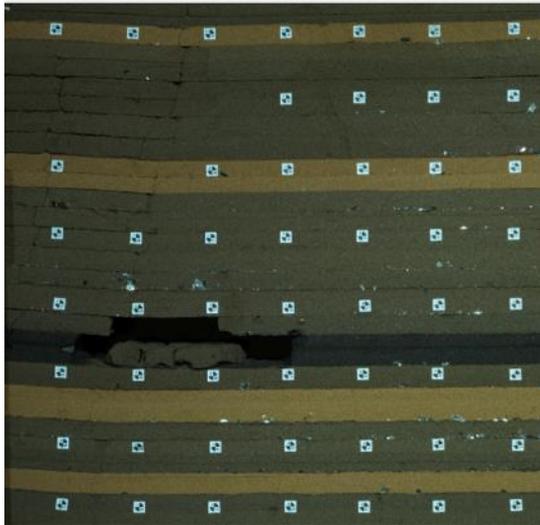
А)



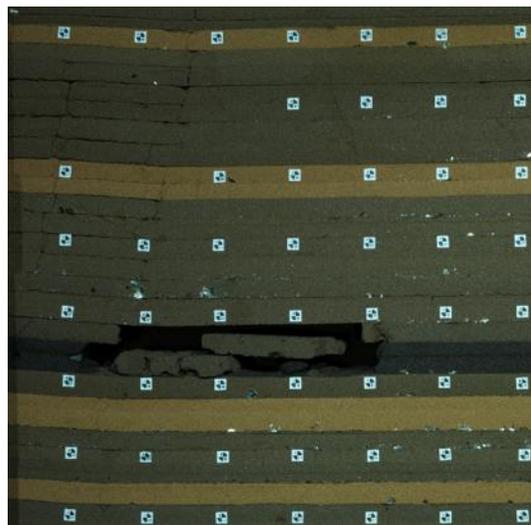
Б)



В)



Г)



Д)

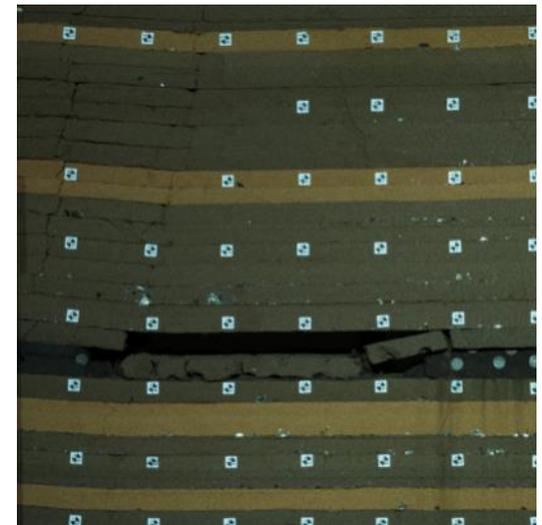


Рисунок 2.7 - Исследование процессов деформирования и обрушения пород кровли пласта «Тройной» на физических моделях:
 А) зависание пород непосредственной кровли ($L=50$ м) вне зоны подработки; Б) первоначальное обрушение пород основной кровли в зоне подработки ($L=72$ м); В-Г-Д) обрушение непосредственной кровли по мере развития очистных работ по пласту «Тройной» в зоне влияния подработки

Для горно-геологических условий отработки пластов «Четвертый» и «Тройной» на шахте «Заполярная» выполнена оценка влияния первоочередной отработки пласта «Четвертый» на состояние массива горных пород. Расчетная схема для проведения исследований представлена на рисунке 2.8.

Литология	Мощность/ сред. мощность, м (по нормали)	Описание пород	Коэффициент крепости по Протодьяконову	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Предел прочности на растяжение $\sigma_{р}$, МПа
	0 - 0,6 / 0,3	Уголь пропластка m1			
	0 - 7,0 / 3,5	Переслаивание аргиллитов слоистых и алевролитов мелкозернистых			
	10,0 - 18,0 / 14,0	Основная кровля: переслаивание песчаника слабослоистого, трещиноватого с алевролитом мелко-крупно/зернистым слоистым	6,4 - 9,2 / 7,8	59,4 - 101,1 / 80,3	4,7 - 7,17 / 6,0
	0 - 7,0 / 3,5	Непосредственная кровля: алевролит мелко-крупно/зернистый слоистый	3,5 - 7,6 / 5,55	41,7 - 75,0 / 58,4	3,34 - 5,91 / 4,6
	0 - 5,4 / 2,7	Аргиллит слоистый, трещиноватый, легкообрушаемый, ниже средней устойчивости, с растительными остатками с замещением на алевролит мелкозернистый	2,7 - 4,4 / 3,55	13,4 - 41,7 / 27,6	1,07 - 3,49 / 2,28
	0 - 0,3 / 0,15	Ложная кровля: аргиллит углистый, неустойчивый	2	17,6	1,4
	2,55 - 2,98 / 2,77	Уголь - пл. "Тройной", с углисто-глинистым прослоем (0,02-0,09м)	1,5	16,7	1,2
	3 - 8,6 / 5,8	Алевролит мелкозернистый, в прослоях песчаный, переслаивающийся с аргиллитом слоистым	4,2 - 5,9 / 5,0	30,8 - 52,0 / 41,4	2,42 - 4,16 / 3,28
	7,0 - 16,0 / 11,5	Песчаник мелко-тонкозернистый до массивного, основная кровля пласта "Четвертого"	6,5 - 7,6 / 7,05	60,3 - 76,1 / 68,2	4,28 - 5,39 / 4,8

Рисунок 2.8 – Сводная литологическая колонка по оси конвейерного штрека 614-с пласта «Тройной»

На рисунке 2.9 - 2.10 представлены расчетная схема для проведения численного моделирования по пластам «Тройной» и «Четвертый» и результат расчетов - поля напряжений в зоне влияния первоочередной отработки пласта «Четвертый».

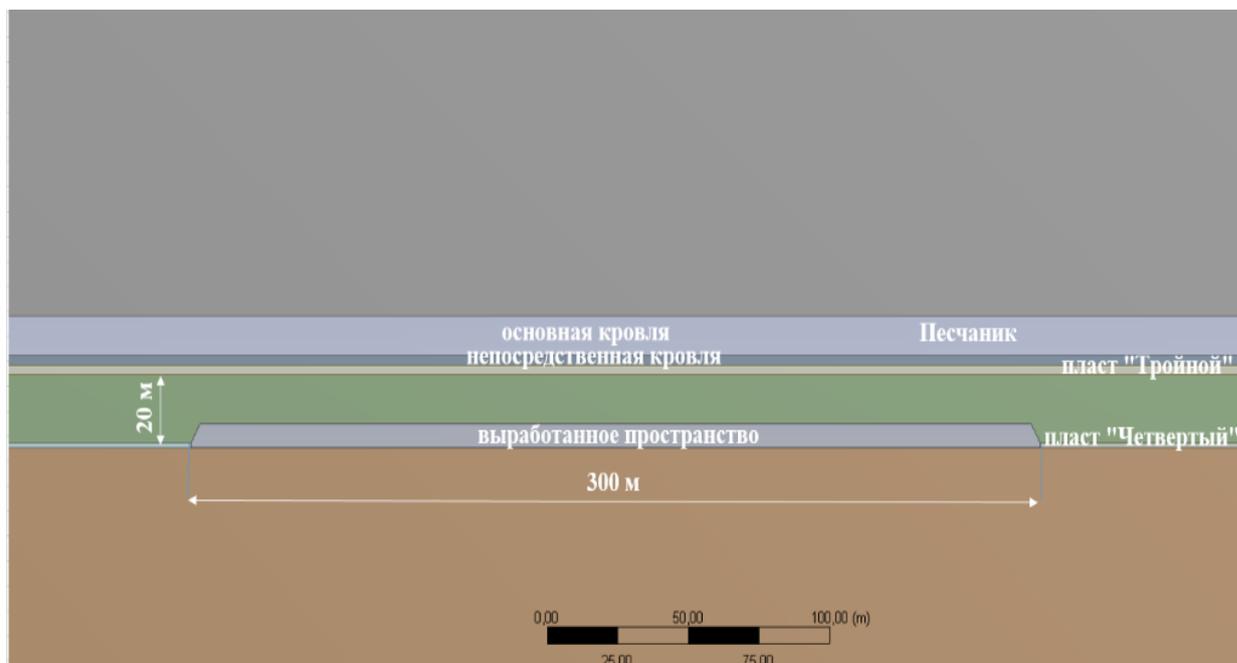


Рисунок 2.9 – Расчетная схема для проведения численного моделирования

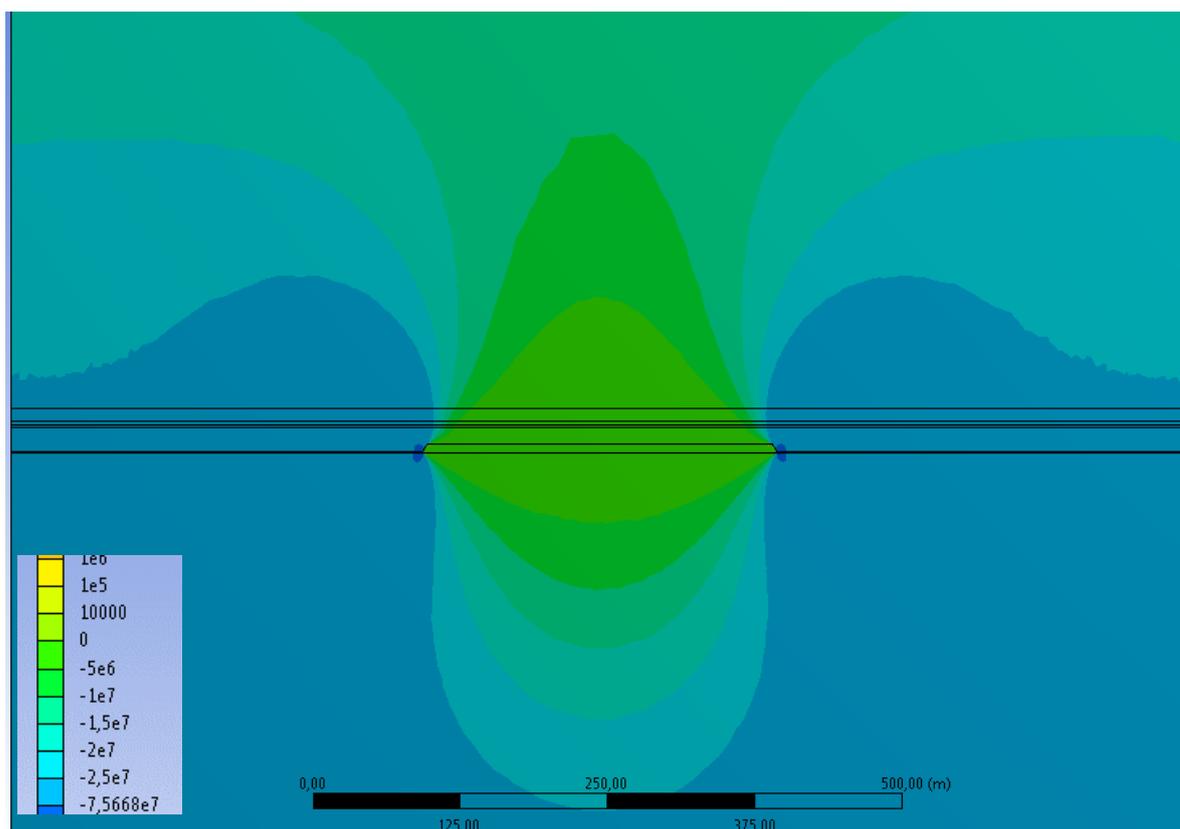


Рисунок 2.10 – Поля напряжений в зоне влияния первоочередной отработки пласта «Четвертый»

2.4 Исследование влияния обрушений основной кровли на аэрогазодинамические процессы на выемочных участках пласта «Тройной» при использовании систем разработки длинными столбами

Выполненный анализ Актов о снятии с контроля опасной зоны до первичной посадки основной кровли, Журналов мониторинга посадки основной кровли, Актов о посадке основной кровли, по шахтам «Воркутинская», «Заполярная», «Комсомольская», «Северная» за период с 2005 по 2017 годы позволил обобщить данные по шагам обрушения и выполнить сопоставительную оценку расчетного и фактического шагов обрушения основной кровли (таблица 2.3). Установлено, что почти в 50% из рассмотренных случаев фактический шаг первоначального обрушения незначительно превышает расчетный диапазон. Также выявлены случаи существенного превышения (более чем на 30%) и существенного отставания (более чем 20%) фактического шага обрушения от расчетного [85].

Выполнен анализ «Рекомендации по определению...» (ПечорНИИпроект, 2001 г.) с целью определения полноты и правильности учета влияния ос-

новых горно-геологических и горнотехнических факторов при определении шагов обрушения основной кровли в условиях значительной изменчивости литологического состава пород и их физико-механических свойств [65].

Следует отметить, что в данной рекомендации прямо указывается, что в их основу положены результаты исследований по управлению горным давлением в очистных забоях, выполненных на шахтах Печорского бассейна, а также использованы нормативные, методические и справочные документы, разработанные ВНИМИ с участием ПечорНИИпроекта и других бассейновых институтов, которые датированы 1979-1986 годами и основаны на эмпирических данных того периода и не могут, таким образом, адекватно отражать реальные условия и закономерности протекания процессов деформирования и разрушения основной кровли в современных длинных высокопроизводительных очистных забоях.

Используемая формула для определения пролета первичного обрушения имеет вид:

$$l_{\text{пр}} = (3 \div 4) \cdot C \cdot \sqrt{\sigma_p \cdot T}, \text{ м} \quad (2.1)$$

где C – коэффициент, который для легкообрушаемых кровель принимается равным 0,4; для среднеобрушаемых – 0,7 и для трудно- и весьма труднообрушаемых – 0,9; T – мощность активной кровли; σ_p – прочность пород на растяжение, кг/см².

Шаг обрушения в установившемся режиме определяется:

$$l_{\text{в}} = C \cdot \sqrt{\sigma_p \cdot T}, \text{ м} \quad (2.2)$$

Таким образом, установившийся шаг обрушения кровли составляет 0,25-0,33 от первоначального, что в целом соответствует результатам исследований других авторов, указывающих диапазон значений от 0,2 до 0,42.

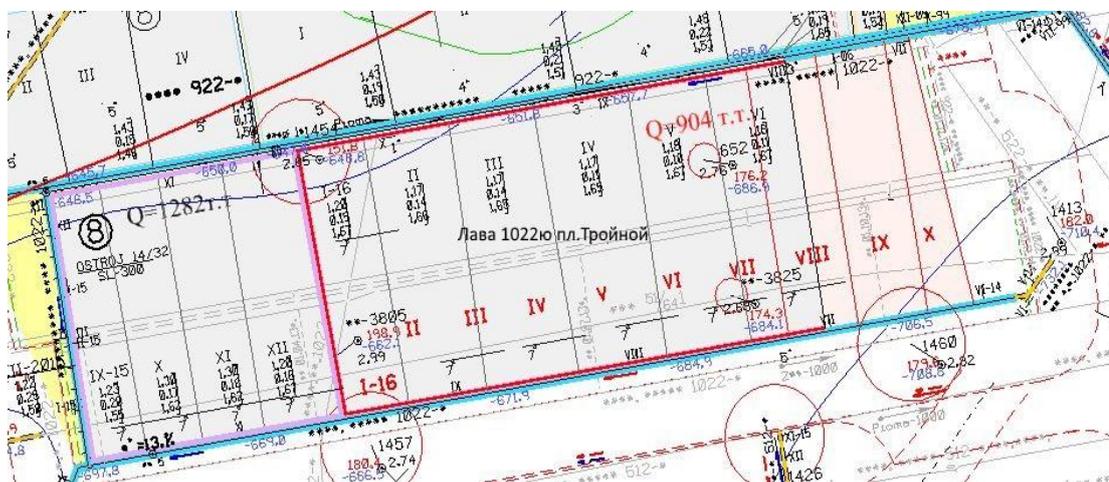
Вместе с тем в «Рекомендации...[65]» указывается, что шаги обрушения основной кровли для легкообрушаемых кровель: первичный 14-24 м, вторичный 4-6 м. При труднообрушаемой кровли шаг первичного обруше-

ния основной кровли находится в пределах 70-90 м, вторичного обрушения – 16- 20 м. Для весьма труднообрушаемых кровель шаг первичного обрушения основной кровли составляет 110-150 м, вторичный – 25-40 м. Таким образом, первоначальный шаг обрушения основной кровли превышает установившийся в 3,5-4,5 раза, тогда как в применяемой расчетной формуле в 3-4 раза.

Ранее считалось, что подработки нижележащих пластов было достаточно для эффективной и безопасной отработки верхних пластов «Тройной» и «Мощный», тем не менее, последние аварии произошли именно в подработанных зонах. Данный фактор говорит об актуальности исследования влияния подработки на параметры шага обрушения по верхним пластам в мульдовой части Воркутского месторождения.

Был проведен анализ систем аэрогазового контроля на выемочном участке, отработанном в поле шахты «Воркутинская», а так же сравнение расчетных и фактических данных о шагах обрушения основной и непосредственной кровли.

Выкопировка из плана горных работ представлена на рисунке 2.11.



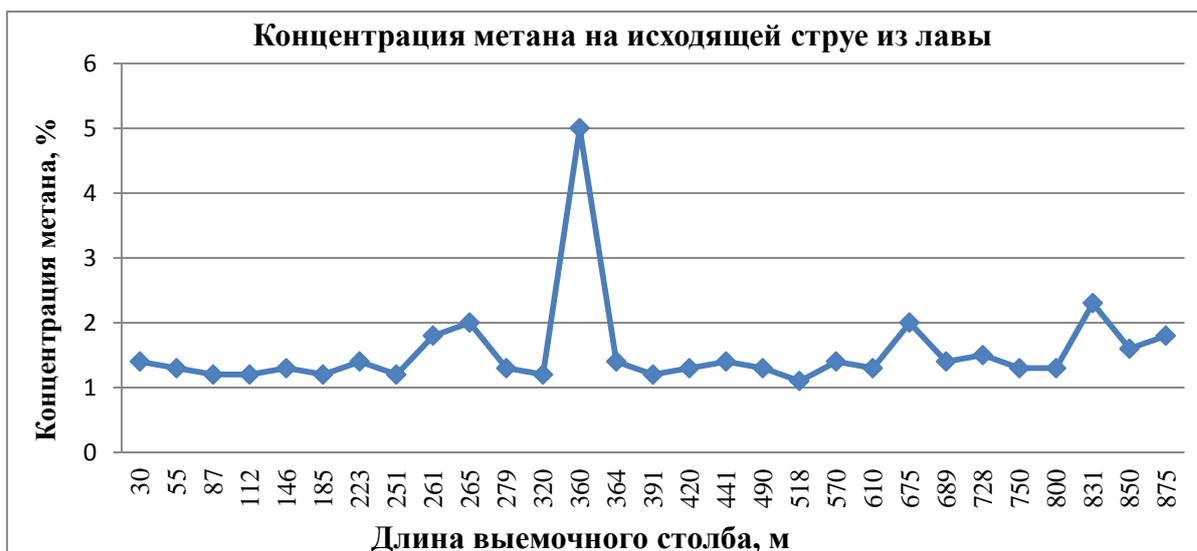


Рисунок 2.12 – Динамика изменения концентрации метана на исходящей струе из лавы по длине выемочного столба

Были выявлены следующие недостатки используемой рекомендации:

- Нет учета скорости подвигания забоя и длины лавы;
- Грубые исходные данные для расчета.

Анализ горно-геологических прогнозов по шахте «Воркутинская» показал, что расчеты первоначального и установившегося шагов обрушения производится по усредненным геологическим данным, что говорит о погрешностях в силу изменчивости литологического состава, как по выемочному столбу, так и по крыльям внутри шахтного поля [88].

Рисунки 2.13 и 2.14 показывают принципиальную схему зависания пород основной кровли и процесс образования зазора между обрушенной непосредственной и зависшей основной кровлями. Образованная полость может являться местом скопления больших объёмов метановоздушной смеси, которая в свою очередь может быть вытиснута в очистное и призабойное пространство вследствие поршневого эффекта.

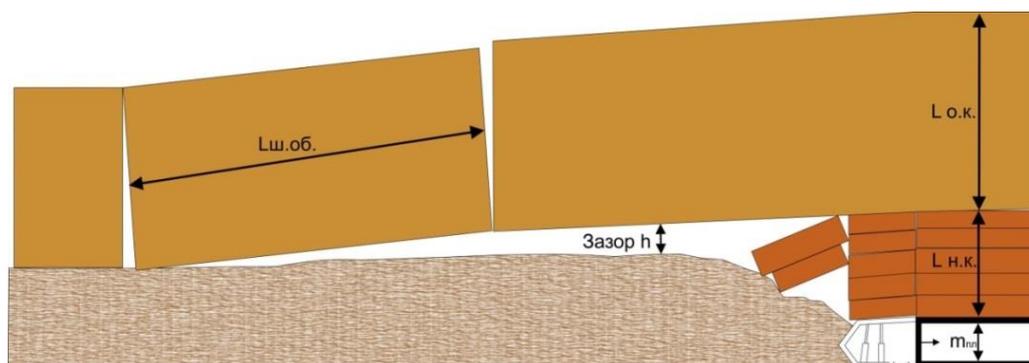


Рисунок 2.13 - Схема зависания пород основной кровли

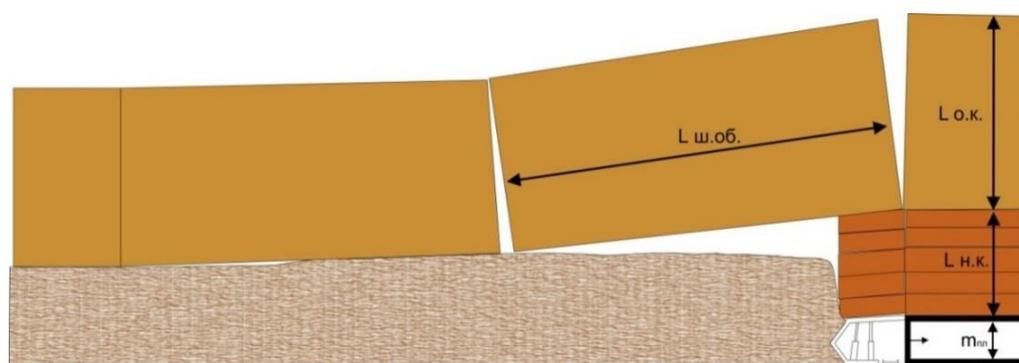


Рисунок 2.14 - Схема обрушения пород основной кровли

Для выполнения оценки влияния первого и последующих обрушений кровли на состояние охранных сооружений и изменение шахтной атмосферы в очистном забое и прилегающих выработках был выполнен анализ ранее проведенных исследований, направленных на его изучение. Рекомендуется проводить в лабораторных условиях методом физического моделирования. Однако не представляется возможным обеспечение полного кинематического и динамического подобия физических моделей реальным условиям [70].

Таким образом, в соответствии с расчетной схемой, представленной на рисунке 2.15, после обрушения основной кровли воздушная волна должна пройти через обрушенные породы призабойной зоны, прежде чем воздушная волна достигнет призабойного пространства лавы и/или участковых выработок. При рассмотрении такого варианта влияния обрушения – движение воздушной волны через обрушенные пород непосредственной кровли – возникновение динамического воздействия на призабойную зону является сомнительным. Вместе с тем даже при отсутствии динамического воздействия следует ожидать некоторого повышения концентрации метана в призабойном

пространстве лавы, степень которого будет определяться как концентрацией метана в части выработанного пространства, примыкающей к призабойному в зоне обрушения, так и объемами вытесняемой из указанной зоны метано-воздушной смеси.

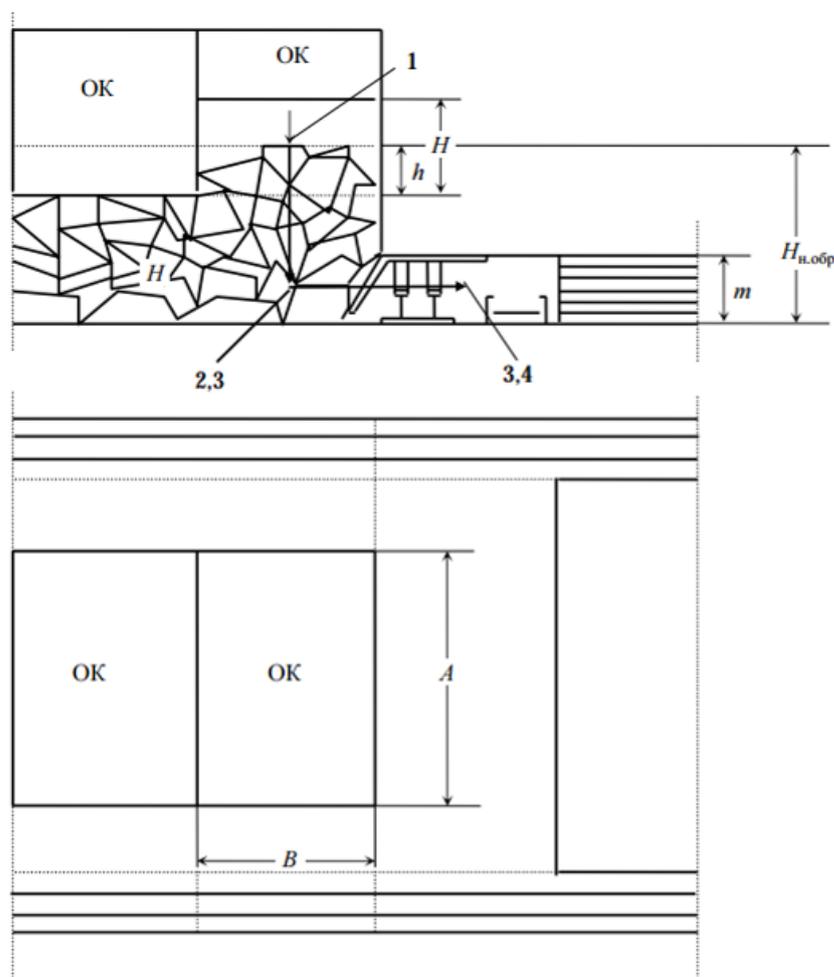


Схема обрушения пород основной кровли

ОК – основная кровля; A, B – соответственно ширина и шаг обрушения; m – мощность отрабатываемого пласта; $H_{н.обр}$ – мощность обрушенной непосредственной кровли; h – податливость непосредственной кровли; H – высота обрушения основной кровли; 1-4 – стадии формирования воздушного потока

Рисунок 2.15 – Расчетная схема обрушения пород основной кровли

Следует рассматривать ситуации, вызываемые обрушениями основной кровли, при которых возможно распространение воздушной волны, формируемой обрушением, напрямую в призабойное пространство лавы и/или участковые выработки, над ранее обрушенными породами непосредственной кровли.

Таблица 2.3 - Сравнение расчетных и фактических шагов обрушения в период первичной деформации и в режиме установившегося шага обрушения

Шахта	Лава	Длина лавы, м	Пласт	Средняя скорость подвигания лавы, м/сут	Первоначальный шаг обрушения основной кровли, м				Период (год)
					Расчетный		Фактический		
					L _{пер}	L _{вт}	L _{пер}	L _{вт}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Заполярная	624-ю	222	Тройной	-	50-67	16-17	85	20	-
Заполярная	314-с	201	Тройной	-	56-75	13-19	75	20	-
Заполярная	113-ю	250	Четвертый	-	25-33	8	45	8	-
Заполярная	724-ю	190	Тройной	-	51-68	16-18	74	20	-
Заполярная	614-с	255	Тройной	6	55-73	18	н/д	н/д	05.14-09.15
Заполярная	714-с	150	Тройной	5,7	72-95	20-23	н/д	н/д	11.15-(н/д)
Заполярная	414-с	195	Тройной	4,8	51-68	20	78	20	-
Заполярная	514-с	222	Тройной	4,8	48-64	16	60	15	-
Заполярная	614-с	285	Четвертый	4,7	57-76	19	100	20	02.11-06.12
Заполярная	714-с	296	Четвертый	4,4	64-85	21	116	н/д	03.14-05.15

Продолжение таблицы 2.3

Комсомольская	412-ю	300	Тройной	4,9	-	-	95	-	-
Комсомольская	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Комсомольская	912-с	260	Тройной	5,6	-	-	40-90	-	-
Комсомольская	812-с	250	Тройной	8,3	-	-	40-45	-	-
Комсомольская	712-с	250	Тройной	8,5	-	-	79	-	-
Комсомольская	612-с	250	Тройной	3,8	-	-	75	-	-
Комсомольская	1012-с	250	Четвертый	3,3	-	-	44	-	-
Комсомольская	912-с	215	Четвертый	3,2	-	-	59	-	-
Комсомольская	712-ю	250	Четвертый	7	-	-	65	-	-
Комсомольская	412-ю	177	Четвертый	4,2	-	-	45-50	-	-
Воркутинская	512-с	н/д	Тройной	-	-	-	116	-	-
Воркутинская	322-ю	250	Тройной	3,5	-	-	50	-	06.14-05.15
Воркутинская	1022-ю	315	Тройной	3	60-65	-	30	-	09.15-09.16
Воркутинская	512-ю	217	Четвертый	4,5	-	-	51-60	-	01.14-10.15
Воркутинская	612-ю	200	Четвертый	4,3	-	-	80	-	02.15-11.15

Формирование таких ситуаций возможно только в горно-геологических условиях, когда вынимаемая мощность пласта превышает мощность непосредственной кровли не менее чем на 10-30%, то есть с учетом разрыхления обрушенных пород после обрушения непосредственной кровли сохраняется прямая связь выработанного пространства с призабойными, что обеспечивает условия для вытеснения в последнее значительных объемов метановоздушной смеси с высокой концентрацией метана.

Кроме того, следует отметить, что существенное влияние на скорость воздушного потока будут оказывать: высота (относительно конечной точки падения) с которой обрушается основная кровля; площадь блока, определяемая в первую очередь шагом обрушения кровли.

Следует отметить, что существенное влияние на формирование и развитие воздушной волны оказывает схема взаимодействия основной и непосредственной кровли. В соответствии с общепризнанными представлениями о характере такого взаимодействия выделяются (профессор Борисов А.А.) три основных случая (рисунок 2.16).

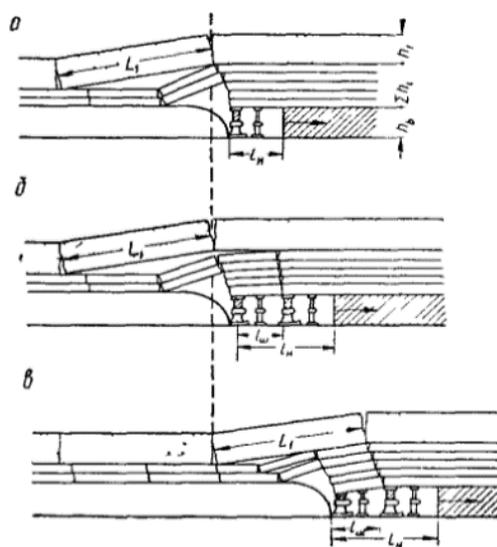


Рисунок 2.16 – Схема взаимодействия пород кровли по мере движения очистного забоя

Таким образом, рекомендуемая нами принципиальная расчетная схема, которая в отличие от предлагаемых другими авторами (рисунок 2.16) учитывает

характер взаимодействия непосредственной и основной кровли, принимает вид, представленный на рисунке 2.17.

Как видно из рисунка 2.17 последний блок ограничен с двух сторон и после обрушения вытеснение воздуха возможно лишь в тупиковую часть погашаемой участковой выработки, на сопряжение и в призабойное пространство на конечном участке лавы.

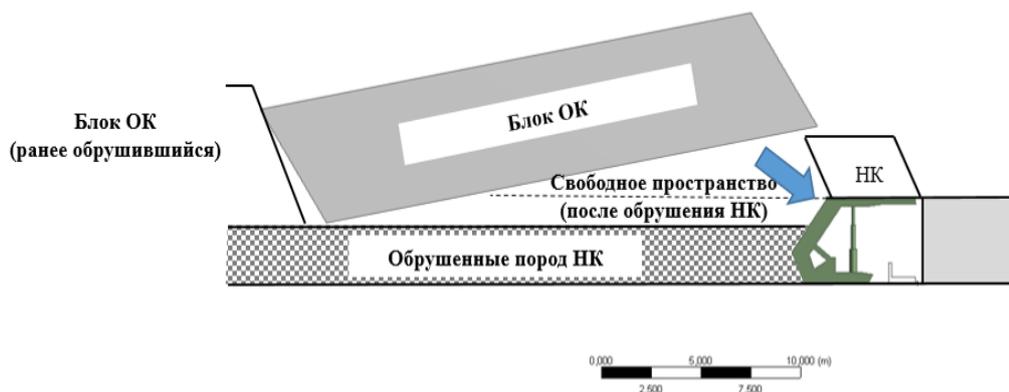


Рисунок 2.17 – Предлагаемая принципиальная расчетная схема

С учетом вышесказанного для условий отработки пласта «Тройной» рассмотрены следующие диапазоны (и характерные параметры) начальных условий:

- высота падения блока - от 0,5 до 3 м (0,5 м, 2 м, 3м);
- размер блока от 25 м до 50 м.

Для всех сочетаний указанных параметров производится расчет скорости, давления и дальности воздействия воздушной волны, после чего устанавливаются границы предельных значений шагов обрушения кровли.

В качестве примера полученных результатов на рисунке 2.19 представлены поля скоростей, формируемые при обрушении основной кровли, в плоскости, параллельной напластованию пласта, проходящей через призабойное пространство на высоте 2 м от почвы пласта.

Расчетная модель для моделирования газодинамических процессов представлена на рисунке 2.18.

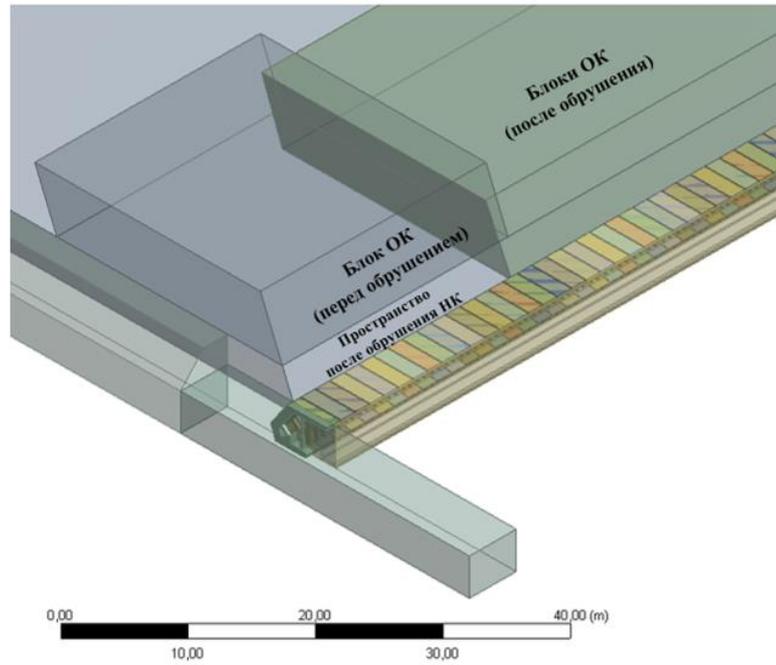
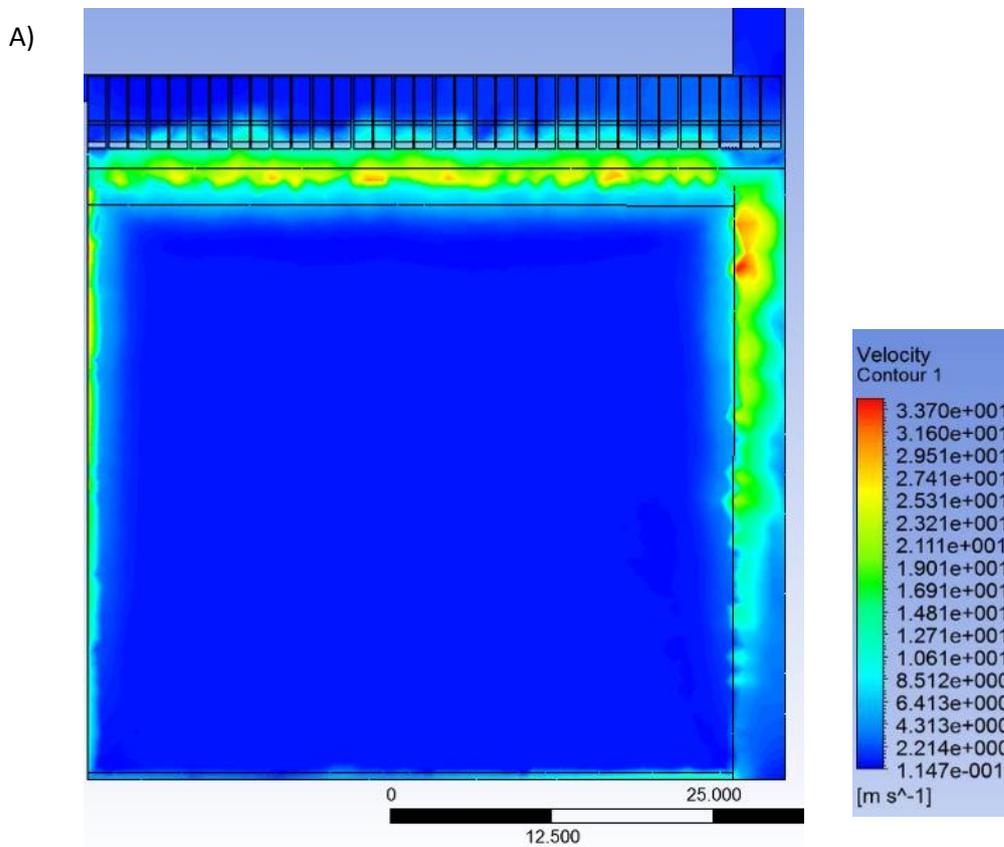


Рисунок 2.18 – Расчетная схема для исследования аэродинамических параметров обрушения блока основной кровли

Как видно из рисунка 2.19 скорости в формируемой обрушением кровли воздушной волне могут достигать 33 м/с.



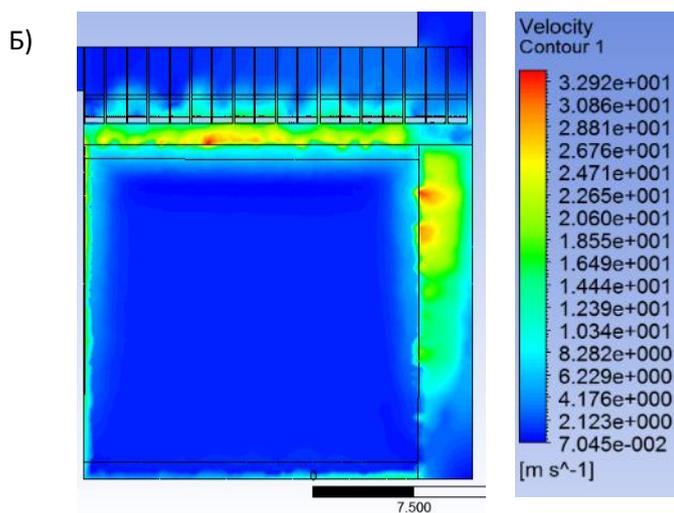


Рисунок 2.19 – Поля скоростей воздушной волны, формируемой обрушением блоков основной кровли с шагом: А) 50 м; В) 25 м

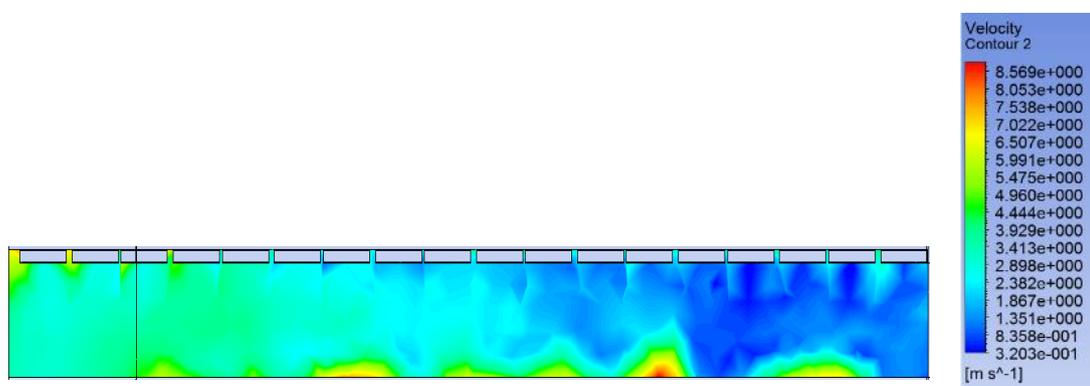


Рисунок 2.20 – Распределение скоростей воздуха в пределах сечения очистного забоя вертикальной плоскостью, проходящей параллельно забою на расстоянии 1,5 м от его груди (шаг обрушения 25 м)

2.5 Выводы по второй главе

Численное моделирование подтвердило эффективность влияния опережающей отработки защитного пласта на параметры шага обрушения основной и непосредственной кровли по верхнему пласту. Модели были построены для условий шахты «Воркутинская» пластов «Тройной» и «Четвертый». По результатам анализа НДС массива получены данные по зонам разгрузки и растягивающим напряжениям, которые подтверждают образование дополнительных расслоений и трещин, что положительно сказывается при отработке пласта «Тройной». Физическое моделирование не исключает возможность образования зависания основной кровли до первоначальной деформации.

Также была построена аэрогазодинамическая модель для определения наличия поршневого эффекта выталкивания метановодушной смеси из вырабо-

танного пространства в очистную и примыкающие выработки. Полученные результаты подтвердили наличие поршневого эффекта только при первоначальном шаге обрушения основной кровли. Моделировался участок массива нижней части лавы на границе с нетронутым массивом. Данные условия наиболее способствуют зависанию основной кровли из-за меньшего количества расслоений, чем со стороны выработанного пространства предыдущего выемочного столба. Объёмы и скорость выталкивания метановоздушной смеси из выработанного пространства являются повышенным источником опасности, так как резкий всплеск концентрации метана и ударная волна при первоначальном шаге обрушения могут спровоцировать аварийную ситуацию. При проектировании паспорта отработки выемочного участка необходимо учитывать этот факт и заблаговременно применять активные способы управления кровлей. На сегодняшний день по пласту «Тройной» не ведется активных способов управления состоянием массива. Загазованность очистных забоев по пласту «Тройной» в период первоначального шага обрушения достигает 3 часов, что оказывает влияние на технико-экономические показатели.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ВОРКУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОСЛЕ ЗАЩИТНОЙ ПОДРАБОТКИ

3.1 Выбор методики проведения исследований

Для оценки возможности снижения эксплуатационных потерь при отработке продуктивных пластов Воркутского месторождения после защитной подработки был проведен мировой опыт возможностей доработки угольных целиков, разработаны и обоснованы технологические схемы доработки целиков на границах выемочных участков с целью повышения полноты извлечения и снижения протяженности зон ПГД по пласту «Тройной».

Методика проведения исследований основана на теоретическом обосновании параметров предлагаемых технологических схем для доработки краевых целиков выемочных столбов, обосновании применения технологических схем для разных горно-геологических условий в зависимости от геометрических размеров целиков.

3.2 Оценка возможности увеличения коэффициента доизвлечения краевых частей выемочных столбов с использованием поворота очистных механизированных комплексов

На сегодняшний день пласты «Тройной» и «Четвертый» отрабатываются на шахтах «Комсомольская» и «Заполярная-2». Несмотря на то, что в качестве регионального метода предотвращения горных ударов и внезапных выбросов на шахтах АО «Воркутауголь» принята защитная подработка пласта «Тройной» пластом «Четвертый», отработать полностью все шахтное поле без оставления целиков и формирования зон повышенного горного давления (ПГД) на подрабатываемом пласте практически невозможно.

Задача внедрения ресурсосберегающей технологии при доработке запасов донной части Воркутского месторождения является актуальной, так как потери в краевых целиках выемочных столбов составляют до 22% в пределах одного блока [86].

В связи с увеличением глубины разработки и подходом к нижней части месторождения проблема влияния и распространения зон ПГД от целиков и краевых

частей пласта «Четвертый» значительно возрастает. Основными концентраторами напряжений являются краевые части пластов на границах выемочных столбов и межстолбовые ленточные целики при спаренной подготовке.

Проанализировав раскройку нижних горизонтов Воркутского месторождения по пластам «Тройной» и «Четвертый» было выявлено 5 участков, где планируется доработка запасов. 3 из 5 участков характеризуются большими потерями запасов в краевых целиках выемочных столбов и как следствие созданием протяженных зон ПГД.

В качестве примера можно выделить северо-западный блок шахты «Воркутинская» (рисунок 3.1), где суммарная площадь целиков по обоим пластам составляет 0,7 км² и суммарный объем потерь в этих целиках порядка 1,9 млн. тонн угля, что составляет 21 % от общего объема планируемого к добыче угля в блоке №2. Длина выемочных столбов в данной зоне не превышает 1300 м по пласту «Тройной» из-за протяженной зоны ПГД по пласту «Четвертый». Доработка целиков позволит увеличить длину выемочных столбов по верхнему пласту на 5-10%, что повлияет на полноту извлечения полезного ископаемого и увеличит технико-экономические показатели шахты. Ниже представлен участок шахтного поля ш. «Воркутинская», где красным обозначены целики на границах выемочных участков.

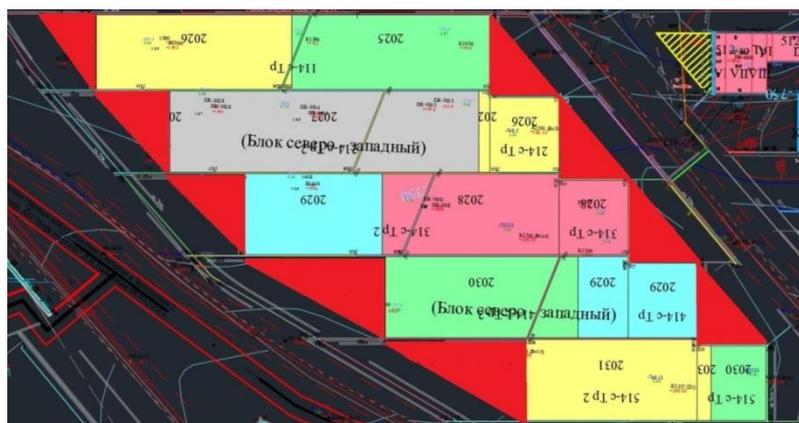


Рисунок 3.1 - Северо-западный блок шахты «Воркутинская» пласт «Тройной»

Действующая раскройка шахтного поля создает целики угля в виде треугольников на границах выемочных столбов, содержащие от 13-22 % запасов от

общего объема в блоке. Данные потери угля доступны для извлечения, но при использовании не традиционной технологической схемы.

Оставление больших запасов угля в целиках по пласту «Четвертый» приводит к образованию протяженных зон ПГД, и, несмотря на стремление компании работать только подработанных зонах выемочные и проходческие участки попадают в зоны ПГД, о чем говорят последние аварии. Вследствие чего снижается безопасность ведения горных работ, и уменьшаются технико-экономические показатели предприятия.

Подготовка выемочных участков по пласту «Тройной» осуществляется одиночными выработками, на защитном пласте «Четвертый» спаренными выработками с оставлением податливого целика. Применяемая технологическая схема и расчетная зона ПГД от пласта «Четвертый» представлена на рисунке 3.2 [16].

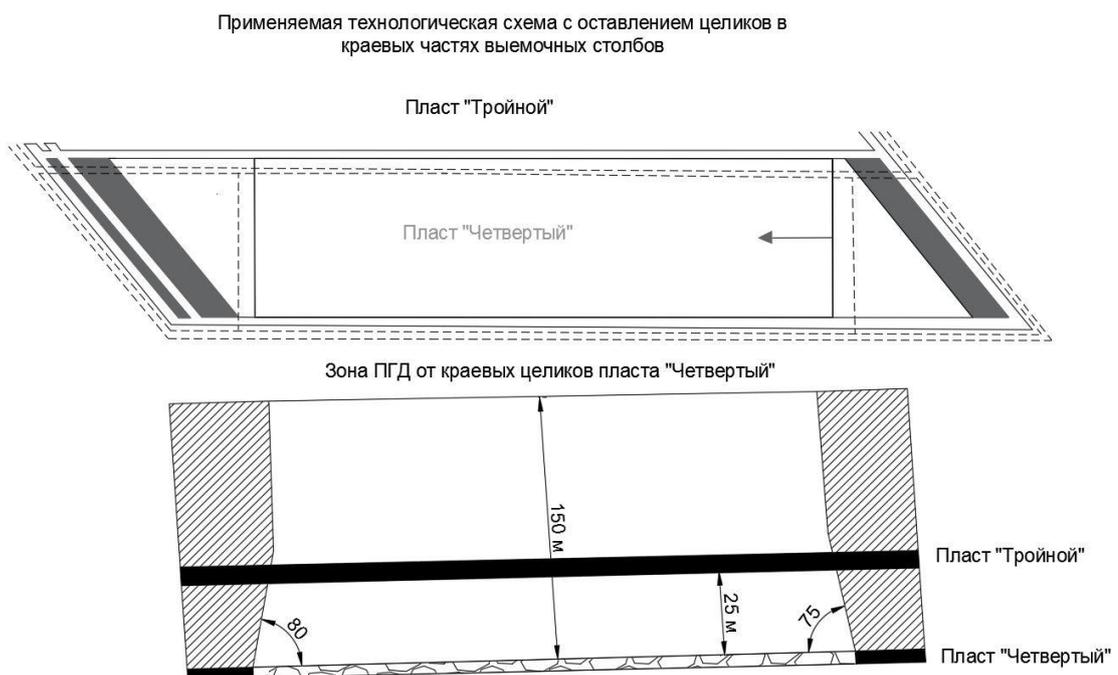


Рисунок 3.2 - Действующая технологическая схема

На рисунке 3.2 показано, как целики на границах выемочного столба по пласту «Четвертый» уменьшают длину выемочного столба по пласту «Тройной» за счет распространения зон ПГД в кровлю. Данный фактор обуславливает уменьшение размеров выемочных столбов по пласту «Тройной» в среднем на 3-5 %. По дальности влияния зоны ПГД пласт «Тройной» попадает в зону повы-

шенной опасности ЗПО. На примере лавы 414-С шахты «Воркутинская» пласта «Тройной» были рассчитаны потери в краевых целиках выемочного столба: со стороны монтажной камеры потери составили 125 тыс. тонн, со стороны демон- тажной камеры потери составили 258 тыс. тонн (рисунок 3.3). Суммарно 383 тыс. тонн потерей в целиках с одного выемочного столба. В денежном эквиваленте данные потери оцениваются в более чем 750 млн. рублей. При коэффициенте из- влечения угля из данных целиков 0.7-0.85 дополнительная чистая прибыль ком- пании составит 525-637 млн. рублей с одного выемочного столба, что также под- тверждает актуальность исследования возможностей снижения эксплуатационных потерь в краевых частях выемочных участков.



Рисунок 3.3 - Целик со стороны демон- тажной камеры. Лава 414-С. Пласт «Тройной»

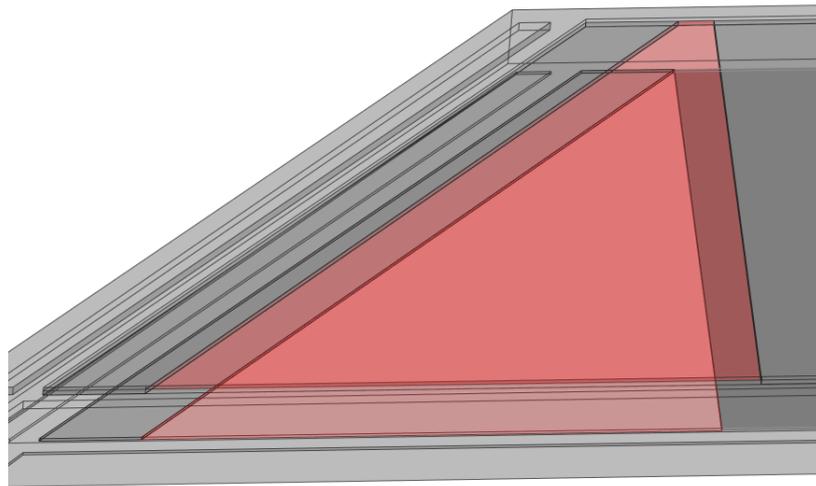


Рисунок 3.4 - Объёмная модель действующей технологической схемы. Красным обозначены краевые целики выемочных участков по пластам

Проведя детальный анализ раскройки шахтного поля по свите пластов были получены размеры целиков по площади и объёму. Данные представлены в таблице №3.1. Огромный интерес представляет соотношение потерь в целиках от общих запасов в блоке. Учитывая, что цена на коксующийся уголь является высокой на рынке сбыта, данные потери эквивалентны сотням миллионов рублей.

Таблица 3.1 - Размеры целиков по площади и объёму

№ участка	Пласт «Тройной»			Пласт «Четвертый»		
	Потери в целиках			Потери в целиках		
	По площади, км ²	По объёму, млн. тонн	Потери в целиках от общих запасов в блоке, %	По площади, км ²	По объёму, млн. тонн	Потери в целиках от общих запасов в блоке, %
Участок № 1	0.31	1.13	15	0.23	0.51	13
Участок № 2	0.4	1.25	22	0.3	0.65	20
Участок № 3	0.2	0.7	21	0.16	0.34	19

Существующие технологические схемы с оставлением целиков в краевых частях, а также с разворотом ОМК, с поворотом ОМК, системой разработки короткими забоями требуют детального анализа шахтного поля и горно-геологических условий, оценки применимости технологических схем в тех или иных условиях с точки зрения безопасности ведения горных работ и расчета экономической эффективности.

Как показывает мировая практика, технологическая схема с разворотом механизированного комплекса применялась на многих угледобывающих предприятиях [32]. Компании применяют данную технологическую схему с целью экономии эксплуатационных затрат на монтаже-перемонтаже очистного механизированного комплекса. Опыт был как отрицательный (невозможность поддержать выработку для повторного использования, длительный период разворота и низкая нагрузка на очистной забой) так и положительный (экономия на монтаже-перемонтаже ОМК). Перечень требований предъявляемых к данной технологии:

- Благоприятные горно-геологические и горнотехнические условия.
- Высокая квалификация инженерного и рабочего персонала.
- Детальный расчет несущей способности механизированной крепи в точке поворота.
- Паспорта крепления выработок с увеличенным сроком службы.
- Паспорт работы ОМК в зоне поворота.

Горно-геологические условия донной части Воркутской мульды не позволяют применить данную технологию в полном ее виде. Поддержать подготовительную выработку для повторного использования при существующих глубинах становится весьма трудоемким и капитально затратным процессом, а применение дорогостоящих современных материалов и способов крепления выработок сделает мероприятия по развороту механизированного комплекса экономически нецелесообразными. Если же рассматривать разворот механизированного комплекса в донной части Воркутского месторождения с точки зрения ресурсосберегающей технологии и расширения подработанного пространства, то эффект будет отрицательный из-за еще больших потерь, чем применяя действующую технологическую схему. На рисунке 3.5 показана принципиальная схема разворота механизированного комплекса в условиях шахтного поля неправильной формы. Черным цветом показаны потери в целиках.

Технологическая схема с разворотом механизированного комплекса в условиях шахтного поля неправильной формы

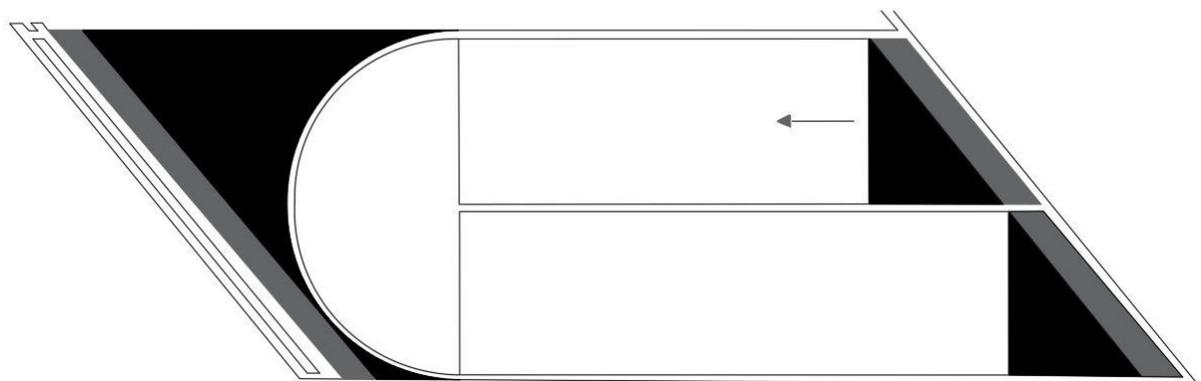


Рисунок 3.5 - Принципиальная схема разворота механизированного комплекса

Положительный опыт был зафиксирован на ЗАО шахте «Воргашорская», которая разрабатывает одиночный пласт «Мощный» на Воргашорском месторождении, где получилось без перемонтажа повернуть механизированный комплекс на 180° и продолжить работу на выемочном участке, тем самым сэкономить эксплуатационные затраты и снизить участковую себестоимость добытого угля на 25% [71]. Благоприятные горно-геологические условия и раскройка шахтного поля правильной формы способствовали удачному опыту применения разворота очистного механизированного комплекса.

Внедрение ресурсосберегающей технологии при доработке Воркутского месторождения поможет повысить эффективность, безопасность производства и конкурентоспособность предприятия. Для условий донной части Воркутского месторождения единственным вариантом уменьшения эксплуатационных потерь является доработка краевых целиков у границ выемочных участков. Сложные горно-геологические условия донной части месторождения предполагают использование нескольких новых технологических схем. Каждая из них требует обоснования для использования.

Снижение размеров целиков на границах выемочных участков на 70-90% путем внедрения иной технологической схемы позволит улучшить технико-экономические показатели шахты: увеличить коэффициент извлечения как по участку так и по шахте в целом, уменьшить себестоимость добытого угля, а также повысить безопасность ведения горных работ. В качестве одного из способов уменьшения размера краевых целиков это проходка демонтажной и монтажной камер параллельно охраняемым магистральным выработкам с последующим поворотом верхней и/или нижней части лавы (рисунок 3.6). Применение данной технологической схемы возможно по обоим пластам, что позволит снизить протяженность зон ПГД пласта «Четвертый» и как следствие увеличить длину выемочных столбов по продуктивному пласту «Тройной».

Разработанная технологическая схема представлена на рисунке 3.6. Проведение дополнительной выработки не потребует изменения принципиальной схемы проветривания выемочного участка. Так как в зоне поворота нагрузка на

очистной забой будет снижена на 10-15%, расчетного воздуха будет достаточно для эффективного проветривания по обоим рабочим пластам. Необходимость скважинной разгрузки целика перед проходкой дополнительной выработки обусловлена опасностью угольных пластов по динамическим явлениям.

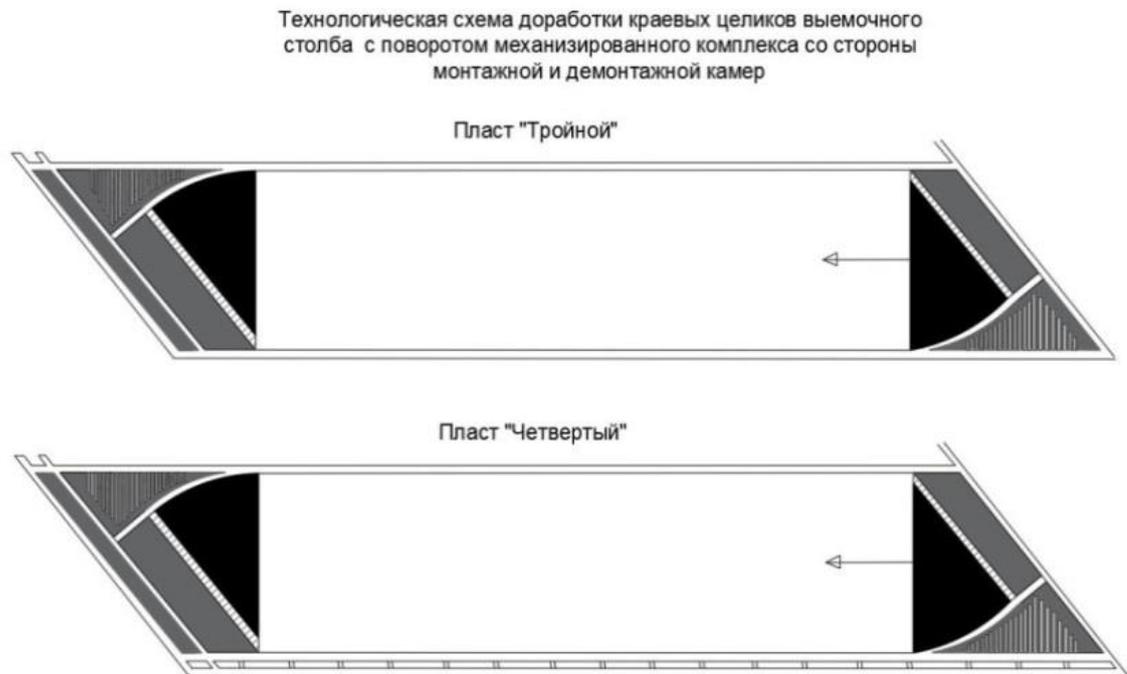


Рисунок 3.6 - Технологическая схема доработки целиков при прохождении монтажной и демонтажной камер параллельно магистральным выработкам

Технологическая схема с поворотом нижней и/или верхней части лавы предусматривает прохождение монтажной камеры параллельно магистральной выработке и постепенный поворот лавы до достижения основного положения выемочного столба. Угол поворота и объем извлекаемого угля будут зависеть от угла расположения магистральной выработки, параллельно которой будет пройдена монтажная или демонтажная камера и длины лавы. Возможные объемы доизвлечения краевых целиков при помощи технологической схемы поворота механизированного комплекса представлены в таблице №3.2. Результаты получены путем подсчета потерь в целиках на границах выемочных столбов. В плане горных работ угол между монтажной/демонтажной камерами и магистральными выработками находится в диапазоне от 30° до 60° при существующей технологической схеме, длины лав от 225 – 315 м.

Таблица 3.2 - Возможные объёмы доизвлечения краевых целиков при помощи технологической схемы поворота механизированного комплекса

Угол поворота, град.	Возможный объём доизвлечения со стороны монтажной или демонтажной камер, тыс. тонн							
	Длина лавы 225 м по пластам		Длина лавы 250 м по пластам		Длина лавы 275 м по пластам		Длина лавы 300 м по пластам	
	Пласт		Пласт		Пласт		Пласт	
	Четвертый	Тройной	Четвертый	Тройной	Четвертый	Тройной	Четвертый	Тройной
30	32000	50000	39000	65000	45000	77000	54000	92000
45	45000	86000	56000	95000	63000	106000	78000	131000
60	66000	122000	80000	13500	90000	153000	104000	175000

Основным требованием к применению данной технологической схемы является экономическая целесообразность и благоприятные горно-геологические условия. Так как для доработки целика как со стороны монтажной, так и со стороны демонтажной камеры потребуется проходка дополнительной подготовительной выработки, которая по мере выхода линии очистного забоя на прямолинейный фронт перейдет в основную подготовительную выработку (рисунок 3.6), затраты на проведение этих выработок должны покрываться получаемой дополнительной прибылью. Экономическая целесообразность заключается в денежной оценке запасов, извлекаемых из целика. Прибыль от извлекаемого угля должна превышать затраты на подготовку к их извлечению. Горно-геологические условия также должны способствовать безопасному, безаварийному и эффективному использованию очистного механизированного комплекса для поворота. Так как пласт «Четвертый» является защитным, и его отработка является первоначальной, после его отработки с применением поворота ОМК на границах будет оставаться барьерный и остаточный целики (рисунок 3.9). Барьерный целик служит для охраны магистральной выработки, а остаточный целик будет являться концентратором напряжений и создавать зону ПГД для пласта «Тройной», что усложнит применение этой же технологической схемы по верхнему пласту.

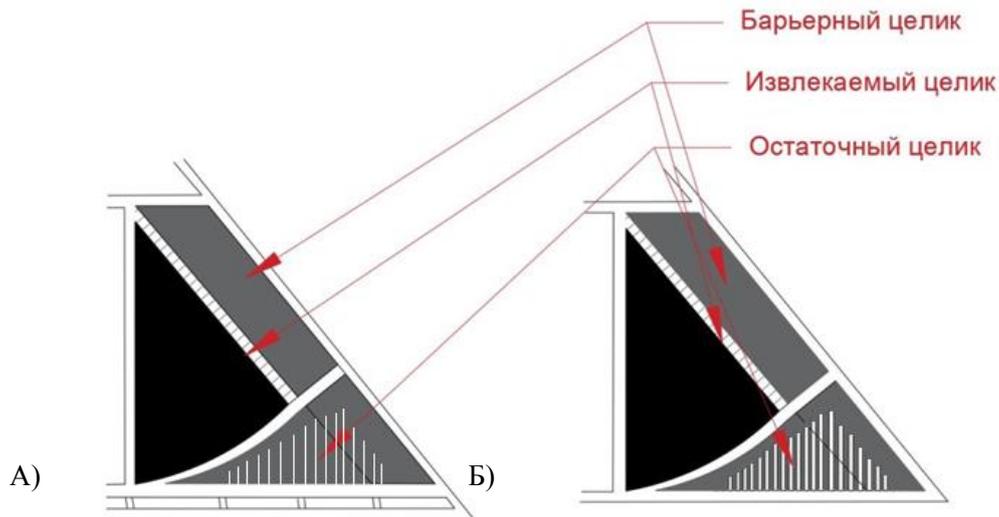


Рисунок 3.9 - Принципиальная схема разгрузки остаточного целика по пласту «Тройной»,

А) Целик по пласту «Четвертый», Б) Целик по пласту «Тройной»

Для решения данной проблемы предлагается использовать скважинную разгрузку остаточного целика по пластам «Четвертый» и «Тройной», так как оба пласта опасны по горным ударам. Склонность свиты угольных пластов Воркутского месторождения к динамическим и газодинамическим явлениям требует активных способов управления состоянием массива. Проводить профилактические мероприятия необходимо во время подготовки выемочного участка. Скважинная разгрузка будет являться локальным методом предотвращения горных ударов и внезапных выбросов [64]. Данные участки также будет необходимо проверять на степень по удароопасности. Профилактические мероприятия является обязательными для проходки дополнительной подготовительной выработки и безопасного монтажа/демонтажа механизированного комплекса по новой технологической схеме.

Длина требуемой дополнительной выработки различается в зависимости от угла поворота механизированного комплекса, длины лавы и размера барьерного целика. График зависимости длины необходимой выработки от угла поворота ОМК представлены на рисунках 3.10-3.12. Как видно из графиков при увеличении ширины барьерного целика и угла поворота длина требуемой дополнительной выработки линейно возрастает. Увеличивающийся объём угля в целиках компенсирует расходы на подготовку к выемке целиков на границах выемочных участ-

ков. Максимальная длина дополнительной выработки составляет 450 м при угле поворота 60° и ширине барьерного целика 160 м.

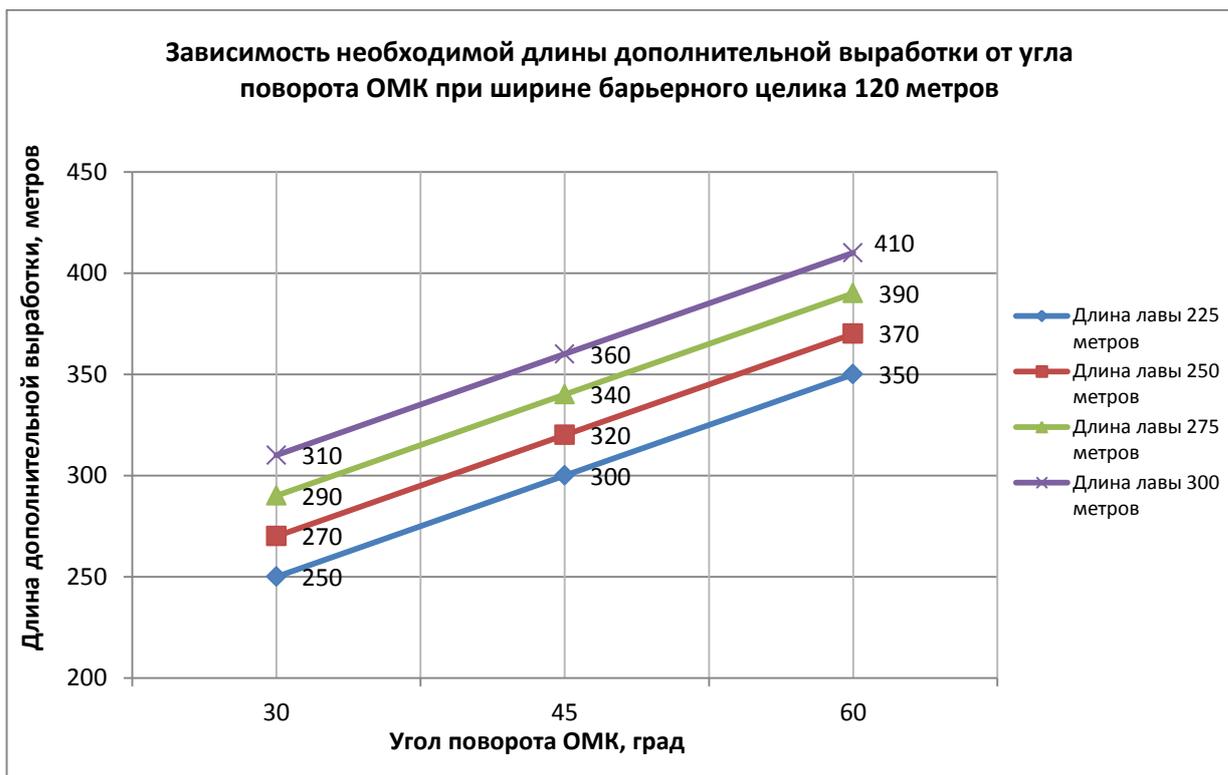


Рисунок 3.10 - Зависимость необходимой длины дополнительной выработки от угла поворота ОМК при ширине барьерного целика 120 метров

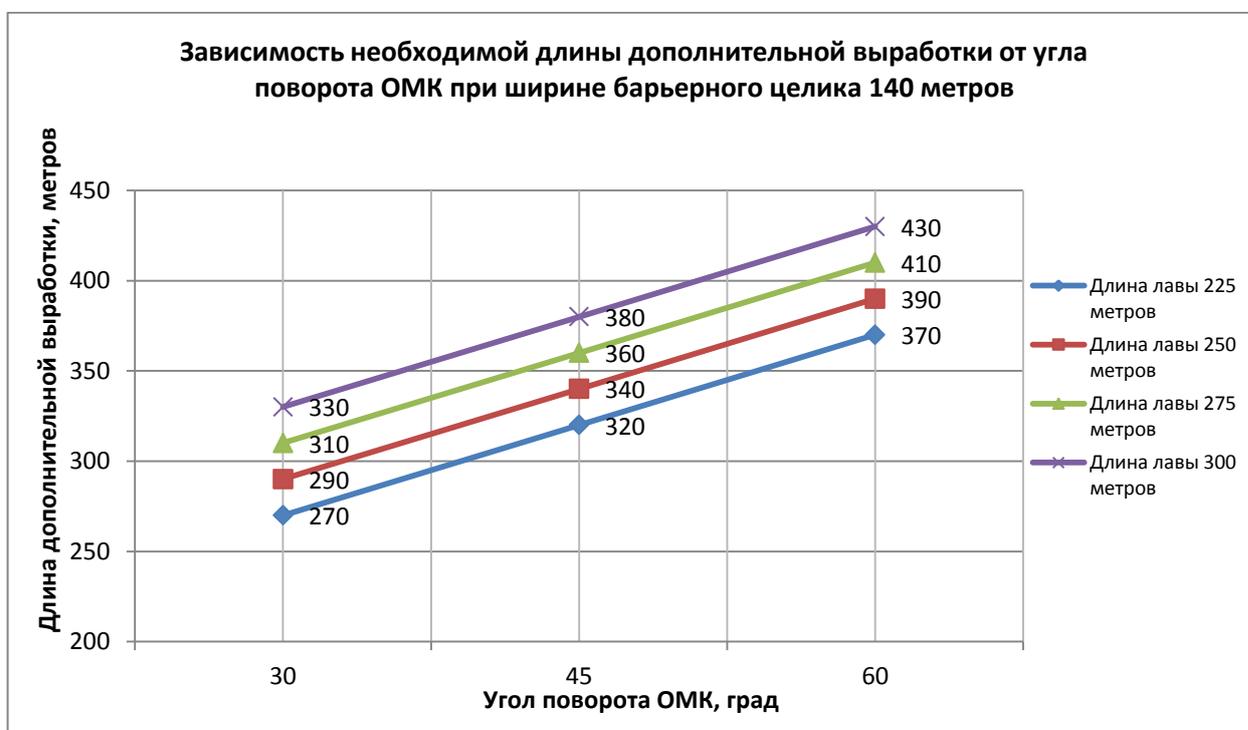


Рисунок 3.11 - Зависимость необходимой длины дополнительной выработки от угла поворота ОМК при ширине барьерного целика 140 метров

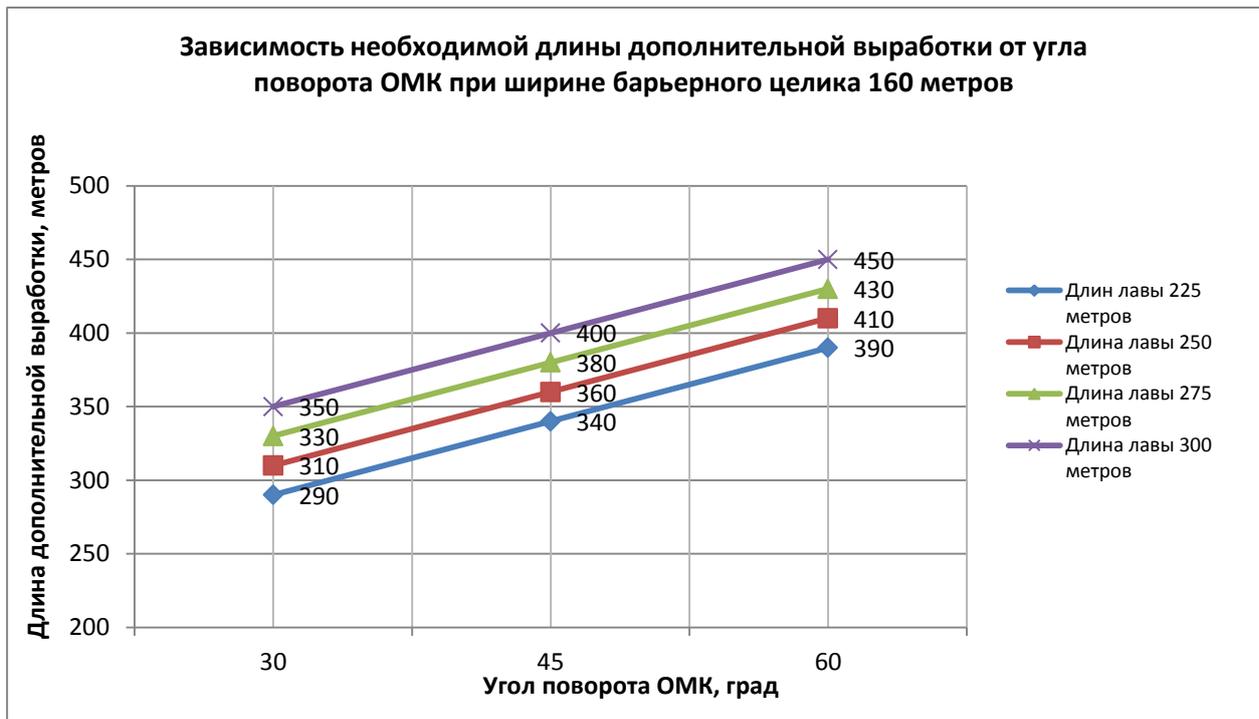


Рисунок 3.12 - Зависимость необходимой длины дополнительной выработки от угла поворота ОМК при ширине барьерного целика 160 метров

3.3 Оценка возможности увеличения коэффициента доизвлечения краевых частей выемочных столбов с использованием короткозабойного оборудования

Другим вариантом отработки краевых частей выемочных столбов является система разработки короткими забоями. Данную технологическую схему, возможно, применять как отдельно, так и параллельно с поворотом механизированного комплекса при отработке целиков со стороны монтажной или демонтажной камер в зависимости от горно-геологических условий (рисунок 3.13). Размер межкамерных целиков и длина забоев следует определять геомеханическим обоснованием с точки зрения безопасности ведения горных работ [10]. Параметры системы разработки будут различные, так как литология имеет значительную изменчивость внутри шахтных полей. Применение данной технологии требует прогноза участка по степени удароопасности согласно "Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах".

Применение системы разработки короткими забоями по пласту «Тройной» предусматривает необходимость применения скважинной разгрузки целика до начала ведения горных работ, так как забои будут находиться в зоне ПГД.

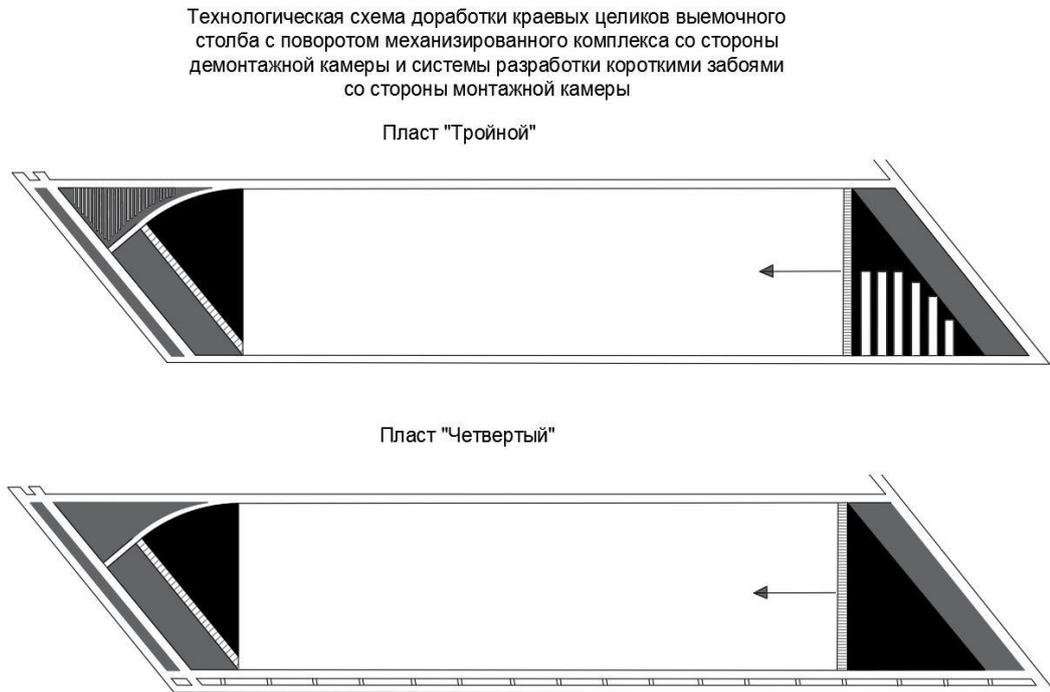


Рисунок 3.13 - Технологическая схема доработки целиков со стороны монтажной и демонтажной камер (Соосное расположение выемочных столбов в плане)

Данные технологии применимы на локальных участках в донной части месторождения, так как требует особых горно-геологических условий. Подготовку целика к отработке планируется вести параллельно с подготовкой основного выемочного участка. Отработку целика необходимо завершить до начала работы очистного забоя.

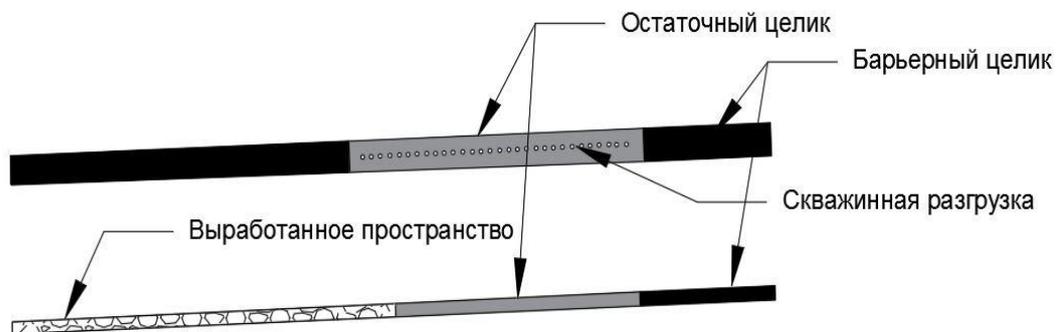


Рисунок 3.14 - Принципиальная схема разгрузки остаточного целика по пласту «Тройной» перед отработкой короткими забоями

Таблица 3.3 - Достоинства и недостатки предлагаемых технологических схем доработки целиков на границах выемочных столбов

Технологическая схема с поворотом лавы		Технологическая схема с короткими забоями	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Уменьшение потерь в целиках • Снижение протяженности зоны ПГД • Увеличение длины выемочного столба по пластам «Четвертый» и «Тройной» • Нет необходимости закупать новое оборудование • Низкая себестоимость скважинной разгрузки 	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимость усиления кровли в точке поворота лавы вследствие многократного ее перемещения в одной точке. • Снижение нагрузки на очистной забой в точке поворота лавы • Необходимость прохода дополнительных выработок • Необходимость разгрузки остаточного целика пласту «Тройной» • Ограничение по длине скважинной разгрузки 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая производительность труда • Низкая себестоимость добычи угля • Мобильность очистного оборудования • Возможность доизвлечения целиков малых размеров и нарушенной формы • Низкая себестоимость скважинной разгрузки 	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимость наличия устойчивой непосредственной кровли • Необходимость вспомогательных средств проветривания • Необходимость самоходных доставочных машин • Необходимость высокой квалификации персонала • Необходимость выдержанных условий залегания пластов • Необходимость профилактических мероприятий по разгрузке массива

Технологическая схема с доработкой целиков на границах выемочного столба с использованием системы разработки короткими забоями обусловлена сложностями к применению, в условиях отработки свит пластов, опасных по динамическим явлениям [34]. Не смотря на то, что существуют участки, где доработка целиков именно этим способом позволила бы увеличить коэффициент извлечения угля, ряд факторов ограничивает эту возможность. Зоны ПГД, неустойчивая непосредственная кровля, необходимость проведения мероприятий по управлению состоянием массива и дороговизна крепления выработок делают данную технологическую схему низкорентабельной и небезопасной. Технологическая сложность обеспечения безопасности ведения горных работ не позволит сделать процесс доработки целиков короткими забоями устойчивым и постоянным.

Предложенный альтернативный вариант доработки целиков на границах выемочных участков с использованием поворота механизированного комплекса способен расширить подработанную зону и тем самым повысить коэффициент извлечения донной части Воркутской мульды с 0,75 до 0,9.

В зависимости от горно-геологических условий залегания пластов, технико-экономического обоснования, размеров краевых целиков выемочных столбов и рабочего пласта в таблице №3.4 представлены варианты совместного применения технологических схем доработки целиков в краевых частях выемочных столбов. Возможная дополнительная выручка от применения новых технологических схем также представлена в таблице. Можно сделать вывод, что наибольший экономический эффект достигается при применении технологической схемы с поворотом механизированного комплекса как по пласту «Тройной», так и по пласту «Четвертый».

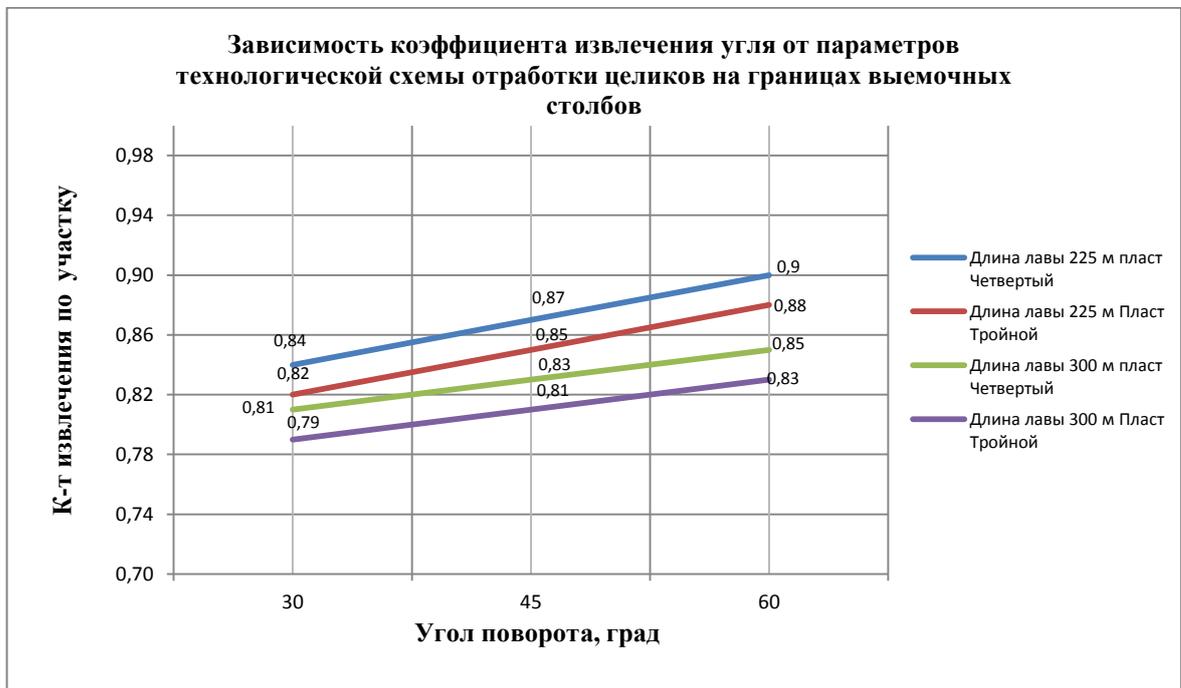


Рисунок 3.15 - График зависимости к-та извлечения при различных углах поворота очистного механизированного забоя

На рисунке 3.15 представлена зависимость коэффициента извлечения угля от условий применения предлагаемой технологической схемы. График показывает, что при увеличении размера целика, коэффициент его извлечения уменьшается за счет образования остаточного целика после поворота (рисунок 3.9).

Таким образом, проведена оценка потерь на границах выемочных участков по пластам «Четвертый» и «Тройной», показана возможность доизвлечения данных целиков без изменения принципиальной схемы проветривания и без дополнительных капитальных вложений в оборудование.

Таблица 3.4 - Варианты совместного применения технологических схем доработки целиков в краевых частях выемочных столбов

Варианты совместного применения технологических схем	Целик со стороны монтажной камеры		Целик со стороны демонтажной камеры		Возможный объем доизвлечения, тыс. тонн (мин. и макс. значения)
	Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»	Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»	
№1	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Поворот ОМК	164-558
№2	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	82-279
№3	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Поворот ОМК	82-279
№4	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	64-208
№5	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	32-104
№6	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	32-104

3.4 Выводы по третьей главе

Использование традиционной технологической предусматривает оставление целиков треугольной формы на границах выемочных столбов, которые в свою очередь формируют протяженные зоны ПГД, уменьшают длину лавы по верхнему пласту «Тройной» и служат источником повышенной опасности.

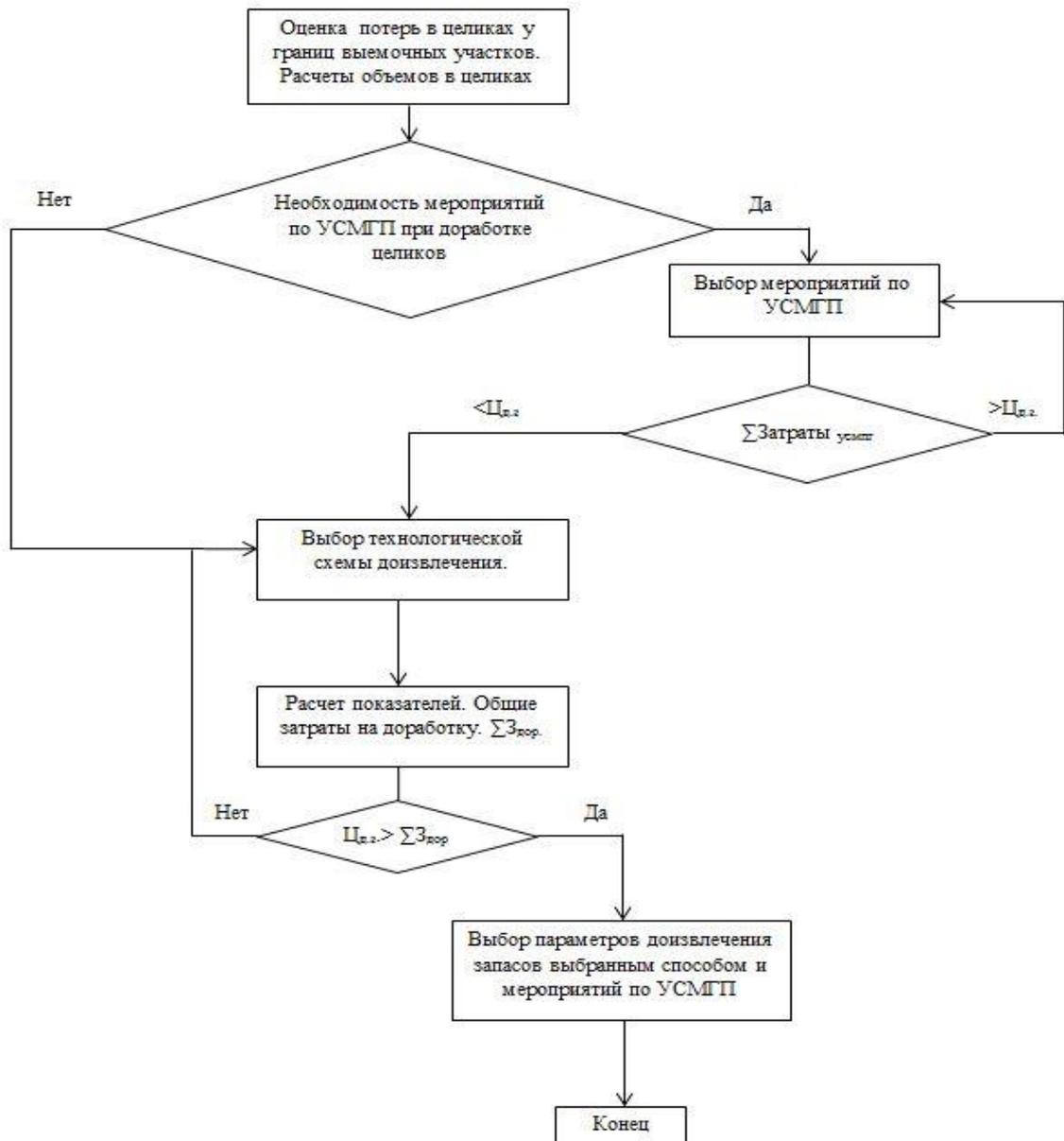
Оценка потерь и анализ горно-геологических условий подтвердили актуальность исследований по повышению полноты извлечения запасов в донной части Воркутского месторождения.

Проведена оценка возможности доизвлечения краевых целиков выемочных столбов со стороны монтажной и демонтажной камер, используя технологические схемы с поворотом механизированного комплекса и системой разработки короткими очистными забоями.

Предложенный альтернативный вариант доработки целиков на границах выемочных участков с использованием поворота механизированного комплекса способен расширить подработанную зону и тем самым повысить коэффициент извлечения донной части Воркутской мульды до 0,85 - 0,9.

ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОТРАБОТКИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ВОРКУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОСЛЕ ЗАЩИТНОЙ ПОДРАБОТКИ

4.1. Обоснование параметров технологических схем доизвлечения краевых частей выемочных столбов с использованием поворота очистных механизированных комплексов



$C_{д.з}$ – цена доизвлекаемых запасов в денежном эквиваленте

$\Sigma Z_{дор}$ – суммарные затраты на доработку целиков

$\Sigma \text{Затраты}_{УСМП}$ – суммарные затраты на управление состоянием массива горных

Рисунок 4.1 - Блок-схема

Для обоснования выбора технологической схемы доработки краевых участков выемочных столбов и ее параметров необходимо обратиться к рисунку 4.1, на котором отражена блок-схема.

Наличие криволинейных участков шахтных полей подразумевает под собой раскройку шахтного поля неправильной формы. Причинами таких раскроек могут быть как геологические нарушения, так и изначальное разделение шахтных полей на месторождении. Воркутское угольное месторождение содержит 3 участка с неправильной раскройкой, все они расположены в донной части. На рисунке 4.2 представлен фрагмент шахтного поля, где магистральные выработки параллельны монтажным и демонтажным камерам (юго-восточный блок ш. «Комсомольская»). При данной раскройке шахтного поля применение действующей технологической схемы является целесообразным. Потери угля будут лишь в барьерных целиках на границах выемочных участков, ширина которых рассчитывается исходя из величины зоны опорного давления от краевых частей массива.



Рисунок 4.2 - Участок шахтного поля ш. «Комсомольская»

На рисунке 4.3 представлен фрагмент шахтного поля нестандартной геометрии с большими потерями в краевых частях выемочных столбов. Прямолинейность очистных забоев обеспечивает оставление целиков треугольной формы по пластам «Тройной» и «Четвертый». Горно-геологические условия не позволяют расположить выемочные столбы по падению, что говорит о необходимости

использования иной технологической схемы работы механизированных комплексов по простиранью шахтного поля и доработки краевых участков выемочных столбов с повышением полноты извлечения.



Рисунок 4.3 - Фрагмент шахтного поля нарушенной формы ш. «Заполярная-2»

При выборе способа доработки оценка нарушенности участка является первоочередной задачей для определения применимости той или иной технологической схемы. Для участков с благоприятной гипсометрией пластов и экономически целесообразными для выемки запасами применима технологическая схема с поворотом механизированного комплекса на границах выемочного столба.

Склонность свиты угольных пластов к динамическим и газодинамическим явлениям обязывает производить профилактические мероприятия по прогнозу степени опасности выбранного участка и управлению состоянием массива горных пород для безопасного ведения горных работ. Так как применение предлагаемых технологических схем подразумевает извлечение целиков, расположенных в зонах ПГД, скважинную разгрузку необходимо применять в соответствии с действующими нормативными документами и инструкциями.

Выбор мероприятий по управлению состоянием горного массива является важнейшей задачей при отработке целиков в зонах ПГД. Скважинная разгрузка положительно зарекомендовала себя на Воркутском месторождении.

Размеры целиков и горно-геологические условия в донной части Воркутского месторождения имеют значительную изменчивость. В связи с этим были пред-

ложены варианты применения действующей технологической схемы совместно предложенной или отдельно. (таблица № 4.1).

Таблица 4.1 - Варианты применения действующей технологической схемы совместно предложенной или отдельно

Варианты применения технологических схем	Целик со стороны монтажной камеры		Целик со стороны демонтажной камеры	
	Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»	Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»
№1	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Поворот ОМК
№2	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема
№3	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Поворот ОМК
№4	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК
№5	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК
№6	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема

Вариант № 1 является наиболее благоприятным с точки зрения ресурсосберегающей технологии и экономической эффективности предлагаемой технологической схемы. Для его применения целики на границах выемочного столба должны находиться со стороны монтажной и демонтажной камер, профилактические мероприятия также должны быть проведены по обоим пластам для безопасной отработки целиков. Учитывая, что для расширения подработанной зоны, в первую очередь поворот механизированного комплекса необходимо применить по нижнему пласту «Четвертый».

Какой именно вариант совместного применения действующей и предлагаемой технологической схемы возможен к применению в шахтном поле, возможно, указать только при наличии всех необходимых геологических, маркшейдерских и геодинамических данных.

Экономическая эффективность от использования каждого из предложенных вариантов будет зависеть от конкретных горно-геологических условий и размеров целиков как со стороны монтажной, так и со стороны демонтажной камер.

Основным фактором, определяющим использование технологической схемы доработки целиков у краевых частей выемочных столбов, используя поворот механизированного комплекса, является объём запасов в целике и выдержанная гипсометрия пласта. С точки зрения рентабельности доработки целика, то дополнительная прибыль из доизвлекаемых запасов должна превышать дополнительные расходы, необходимые для его доизвлечения, а именно: проходка дополнительной выработки, скважинная разгрузка, фонд заработной платы.

Анализ донной части Воркутской мульды, а именно участков шахтного поля с большими потерями в краевых частях выемочных столбов показал, что параметры технологических схем будут носить изменчивый характер из-за разных параметров целиков, а именно:

- Размеры целиков по площади имеют диапазон: 0.01 – 0.07 км².
- Объём запасов целиков имеет диапазон: 30000 – 250000 тыс. тонн.
- Ширина барьерного целика имеет диапазон: 120 – 160 м.
- Угол между магистральной выработкой и монтажной/демонтажной камерой 30 – 60°.
- Гипсометрия пласта на участке с целиком (нарушенная или выдержанная).

4.1.1 Обоснование параметров скважинной разгрузки

Подготовка выемочных участков по пласту «Тройной» осуществляется одиночными выработками, на защитном пласте «Четвертый» спаренными выработками, разделенными ленточным целиком. Длина выемочных столбов по верхнему пласту «Тройной» меньше в среднем на 3-5 % из-за распространения зоны ПГД от краевых целиков пласта «Четвертый». Действующая технологическая схема представлена на рисунке 4.4.

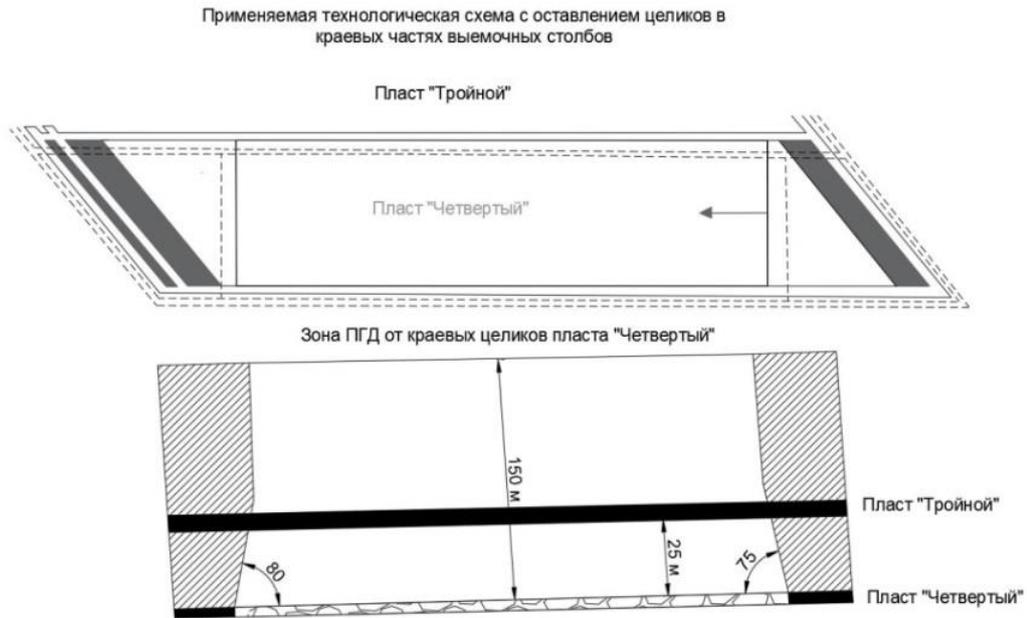


Рисунок 4.4 - Действующая технологическая схема

В качестве одного из способов уменьшения размера целиков на границах выемочных участков это проходка демонтажной и монтажной камер параллельно охраняемым магистральным выработкам с последующим поворотом верхней или нижней части лавы.

Разработанная технологическая схема представлена на рисунке 4.5. Проведение дополнительной выработки не потребует изменения принципиальной схемы проветривания выемочного участка. Так как в зоне поворота нагрузка на очистной забой будет снижена на 10-15%, расчетного воздуха будет достаточно для эффективного проветривания по обоим рабочим пластам. Необходимость скважинной разгрузки целика перед проходкой дополнительной выработки обусловлена опасностью угольных пластов по динамическим явлениям. Параметры и частота скважинной разгрузки (диаметр скважин, их длина и расстояние между скважинами) зависят от горно-геологических условий, размера остаточного целика и результатов проверки участка по степени удароопасности.

Один из вариантов скважинной разгрузки целика – это бурение скважин из участковой или магистральной выработок в сторону массива, где планируется проходка дополнительной выработки (рисунок 4.6).

Технологическая схема доработки краевых целиков выемочного столба с поворотом механизированного комплекса со стороны монтажной и демонтажной камер

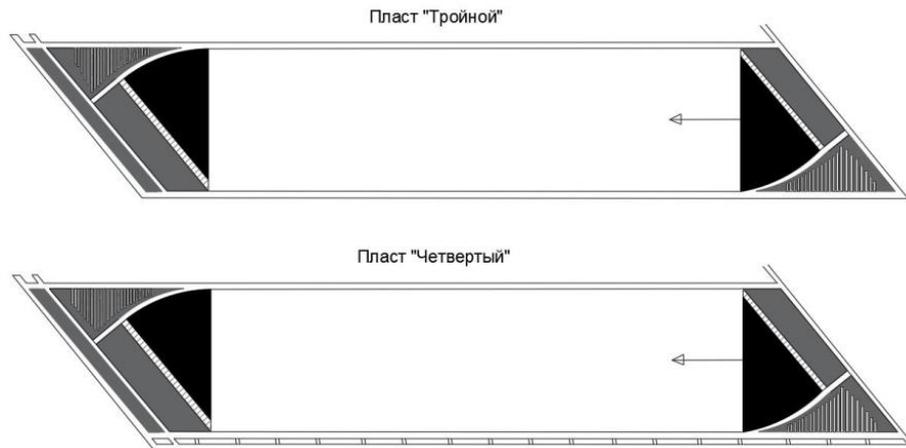


Рисунок 4.5 - Технологическая схема доработки целиков при прохождении монтажной и демонтажной камер параллельно магистральным выработкам

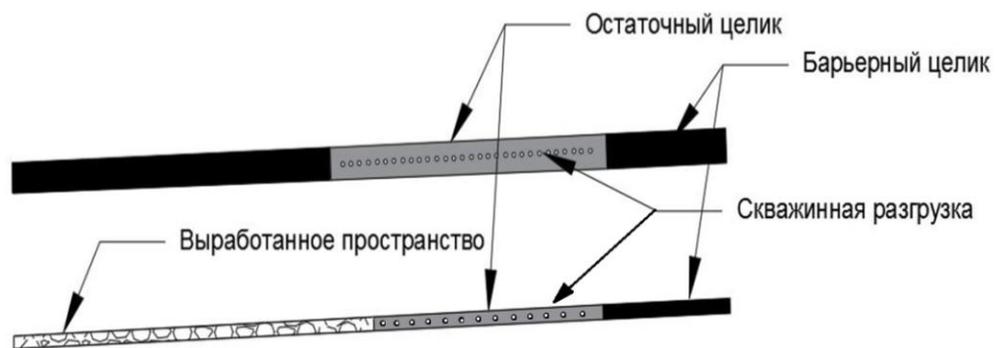


Рисунок 4.6 - Принципиальная схема разгрузки остаточных целиков перед проходкой дополнительной выработки и монтажом механизированного комплекса

Достоинствами данной схемы является то, что выработка будет проходить в уже частично разгруженном массиве и частота дополнительных профилактических мероприятий из проходческого забоя сократится. Тем не менее, каждый проходческий цикл массив необходимо проверять по степени удароопасности. При невозможности скважинной разгрузки участка из подготовительной или магистральной выработок, необходимо составлять паспорт профилактических мероприятий ППМ в соответствии с «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах» и внедрять его в проходческий цикл при проведении дополнительной выработки (рисунок 4.7).

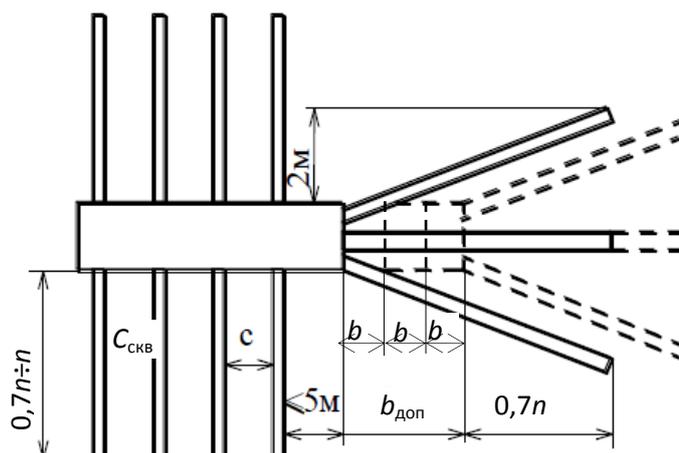


Рисунок 4.7 - Схема и параметры бурения разгрузочных скважин

Разгрузочные скважины бурятся таким образом, чтобы обеспечить разгрузку массива впереди горной выработки и ее бортах. Так как пласты «Тройной» и «Четвертый» опасны по горным ударам, разгрузку остаточного целика следует вести по обоим пластам. Перед началом бурения разгрузочных скважин службой прогноза участка АБ производится прогноз степени удароопасности сейсмоакустической аппаратурой «АНГЕЛ» [21].

Расстояние между скважинами определяется по формуле:

$$C_{\text{скв}} = K_1 * K_2 * K_3 \quad (4.1)$$

Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3 приведены в таблицах 4.2, 4.3, 4.4.

Таблица 4.2 – Значения коэффициентов для определения расстояния между скважинами

Категория удароопасности	неопасно	опасно
K_1	1,3	1,7

Таблица 4.3 – Диаметры разгрузочных скважин

Диаметр разгрузочной скважины, мм	100	150	200	300	400	500	600
K_2	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,6	1,8

Таблица 4.4 – Мощность разрабатываемого пласта

Мощность пласта, м	0,5 - 0,8	0,9 - 1,4	1,5 - 2	2,1 - 3	> 3
K_3	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2

Диаметр разгрузочных скважин принимаем 200 мм – $K_2 = 0,8$.

Для категории «неопасно» расстояние между скважинами:

По пласту «Тройной»: $C_{\text{СКВ}} = 1,3 * 0,8 * 1,2 = 1,2\text{м}$

По пласту «Четвертый»: $C_{\text{СКВ}} = 1,3 * 0,8 * 1 = 1\text{м}$

Для категории «опасно» расстояние между скважинами:

По пласту «Тройной»: $C_{\text{СКВ}} = 1,7 * 0,8 * 1,2 = 1,6\text{м}$

По пласту «Четвертый»: $C_{\text{СКВ}} = 1,7 * 0,9 * 1 = 1,4\text{м}$

Длина разгрузочных скважин $l_{\text{СКВ}}$, м, определяется:

- пробуренных по направлению подвигания забоя горной выработки по формуле:

$$l_{\text{СКВ}} \geq 0,7n + b_{\text{доп}} \quad (4.2)$$

Для пласта «Тройной»: $l_{\text{СКВ}} \geq 5,2$ м.

Для пласта «Четвертый»: $l_{\text{СКВ}} \geq 3,8$ м.

- пробуренных в борта подготовительной горной выработки по формуле:

$$l_{\text{СКВ}} \geq (0,7n \div n) \quad (4.3)$$

Для пласта «Тройной» $l_{\text{СКВ}} \geq 4,2$ м.

Для пласта «Четвертый» $l_{\text{СКВ}} \geq 2,8$ м.

где $b_{\text{доп}}$ – допустимое подвигание забоя за один или несколько циклов, м.

Для пласта «Тройной» ширина зоны опорного давления согласно номограмме равна 85 м, для пласта «Четвертый» 65 м при глубине разработки 1000 м.

Доизвлечение каждого отдельного целика требует составления ППМ в зависимости от горно-геологических условий. Скважинная разгрузка из подготовительной или магистральной выработок определяется возможностями бурового инструмента. Разгрузка из подготовительного забоя исходя из инструкции

4.1.2 Обоснование схемы работы механизированного комплекса в зоне поворота

Для эффективного применения технологической схемы с поворотом механизированного комплекса необходимо оценить возможность преобразования действующей технологической схемы комплексно-механизированной выемки угля в гибкую [82].

Гибкая схема подразумевает под собой возможность непрямолинейного хода очистного механизированного комплекса относительно основного выемочного

участка. Данная схема позволяет маневрировать в плоскости пласта для обхода нарушения или разворота.

Существует два модуля контура поворота лавы: циклический (рисунок 4 а), ступенчато-циклический (рисунок 4 б).

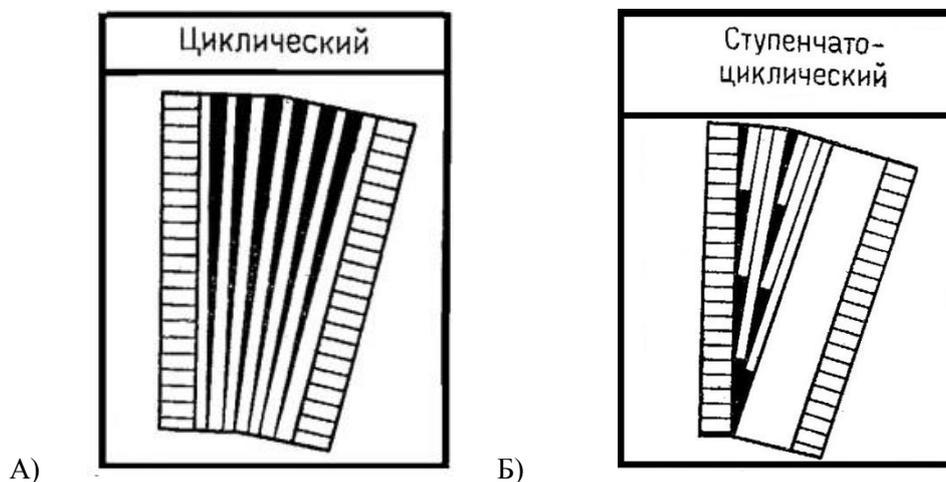


Рисунок 4.8 - Схема модулей контура поворота. А) циклический, Б) ступенчато-циклический

Технологическое маневрирование осуществляется с целью обеспечения оптимального расположения лавы или переходе эпизодически возникающих критических зон [32].

В данной диссертационной работе рассматривается технологическое маневрирование со ступенчато-циклической схемой контура поворота, так как задача стоит не в безопасном прохождении геологических нарушений, а в сохранении заданного положения очистного механизированного комплекса относительно подготовительных выработок.

На рисунке 4.9 изображены наиболее распространенные в России технологические способы маневрирования комплексом [82].

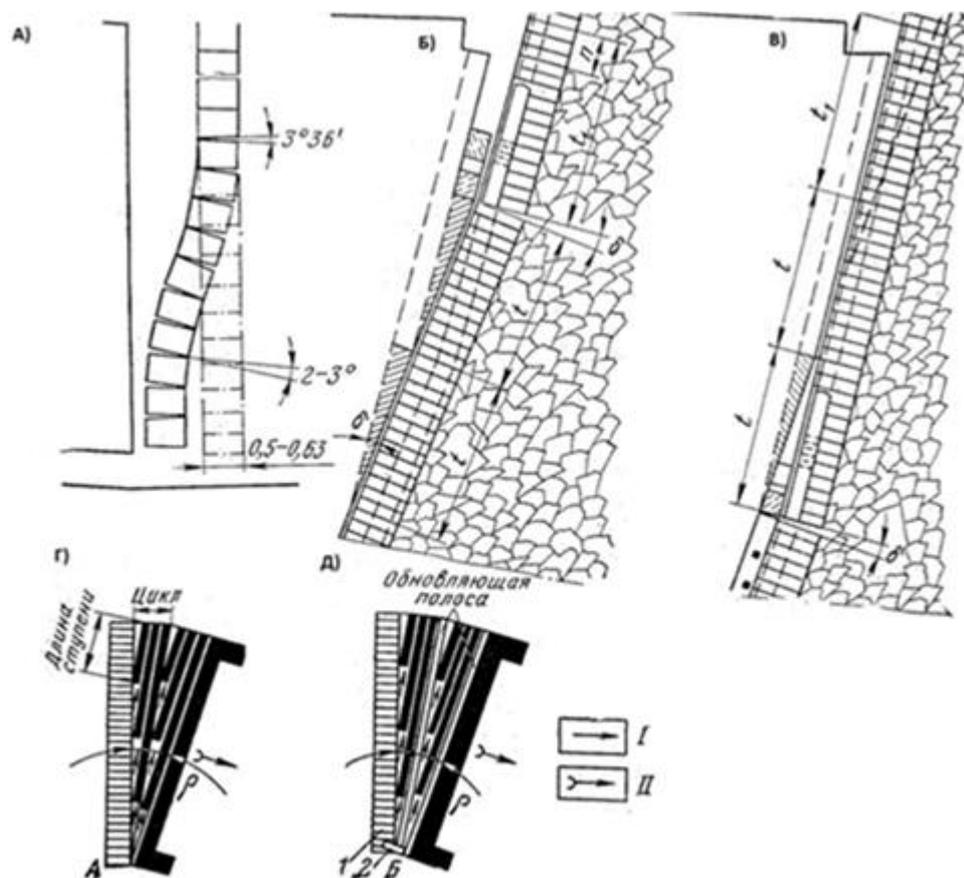


Рисунок 4.9 – Схемы маневрирования комплексом

Длина ступени (рисунок 4.9Г) постоянна и определяется для механизированных комплексов по возможному взаимному развороту линейных секций конвейера в плоскости почвы:

$$t = r \cot \delta \quad (4.2)$$

где r - ширина захвата комбайна с учетом неподвижения его до забоя, м; δ – принятый угол изгиба очистного забоя, равный допустимому инструкцией углу взаимного разворота секций конвейера или меньший его, градус.

$$t = 0,8 * 29,4 = 23 \text{ м}$$

Для механизированного комплекса Ostroy 14/32, который наиболее востребован при отработке пластов «Четвертый» и «Тройной» угол $\delta = 2$ градуса.

Число полос в цикле зависит от длины комплекса, принятого угла изгиба очистного забоя и равно числу x ступеней по длине $L_{\text{комплекса}}$. l_n – длина ниши при наличии:

$$x = (L - l_n) / (r \cot \delta) \quad (4.3)$$

Для длины лавы 200, 250 и 300 м число полос в цикле будет соответственно 9, 11, 13.

Проведенные исследования позволили установить аналитическую зависимость между эксплуатационной производительностью Q комбайна и параметрами ступенчатого разворота в период разворота:

$$Q = 60K_p K_M r T u m \gamma \quad (4.4)$$

Где K_M – коэффициент машинного времени; T – время работы лавы в течение суток; u – средняя скорость подачи комбайна, м/мин; m – вынимаемая мощность угля, м; γ – плотность угля в массиве, т/м³, K_p – коэффициент снижения производительности комбайна при развороте комплекса, определяющийся по формуле:

$$K_p = 1 - \frac{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{x}}{2x} \quad (4.5)$$

Для числа полос 9, 11 и 13 коэффициент снижения производительности K_p соответственно равен 0,84, 0,86, 0,88.

Для условий Воркутской мульды обоснованы параметры поворота механизированного комплекса исходя из угла поворота, длины лавы, рабочего пласта, длины ступени, количества полос в цикле и количества циклов. Данные представлены в таблице № 4.5.

Не рекомендуется применять переменную длину ступени, так как это может привести к неуправляемому искривлению забоя и нарушению прямолинейности става конвейера в зонах выемки полной полосы угля.

Технически допустимая нагрузка на очистной забой:

$$Q = 60K_p K_M r T u m \gamma \quad (4.6)$$

По пласту «Четвертый»:

$$Q = 60 * 0,5 * 0,8 * 18 * 10 * 1,6 * 1,35 = 9,3 \text{ тыс. тонн/сут}$$

По пласту «Тройной»:

$$Q = 60 * 0,5 * 0,8 * 18 * 7 * 2,7 * 1,35 = 11 \text{ тыс. тонн/сут}$$

Фактическая нагрузка на очистной забой, учитывая ограничения по газовому фактору: по пласту «Четвертый» $\approx 1,3$ тыс. тонн/сут, по пласту «Тройной» ≈ 5 тыс. тонн/сут.

Как видно потенциал использования очистного механизированного комплекса не превышает 50%, что говорит о неэффективности его эксплуатации.

Учитывая расчетные данные, указанные в таблице № 4.5 нагрузка на очистные забои в зоне поворота будет иметь незначительное снижение по отношению к нагрузке во время прямолинейного движения очистного забоя.

Недостатком предлагаемой технологической схемы является увеличение времени подготовки выемочного участка, за счет проходки дополнительной выработки и мероприятий по скважинной разгрузке. Современное горно-шахтное оборудование способно достигать высоких скоростей по проходке выработок и скорости бурения разгрузочных скважин, но горно-геологические условия Воркутского месторождения являются осложненными, и применить весь потенциал оборудования невозможно. Скорость проходки выработок по пласту «Четвертый» и «Тройной» находится в пределах 50-150 м в месяц из-за повышенного газовыделения и наличия легко обрушаемой непосредственной кровли. Следовательно, время подготовки выемочного участка по пласту «Четвертый» увеличивается на 2-4 месяца в зависимости от длины необходимой дополнительной выработки.

Бизнес-план компании регулируется исходя из востребованности конечной продукции потребителем. Так как коксующиеся угли являются высоко востребованными в металлургии, задача увеличения к-та извлечения является актуальной. Учитывая ограниченные запасы донной части Воркутского месторождения, компания заинтересована максимально извлечь выгоду без расширения действующего горного отвода. Предлагаемая технологическая схема способна увеличить к-т извлечения до 0,9.

Таблица 4.5 - Параметры поворота механизированного комплекса

Угол изгиба очистного забоя, град	Угол Поворота лавы, град	Длина лавы, м	Длина ступени, м	Число полос в цикле	Число циклов	К-т снижения производительности	Нагрузка на очистной забой в зоне поворота, тыс.тонн/сутки (Технически допустимая с учетом к-та снижения)		Нагрузка на очистной забой в зоне поворота, тыс.тонн/сутки (По газовому фактору с учетом к-та снижения)	
							Тройной	Четвертый	Тройной	Четвертый
2	30	200	23	9	15	0.84	9259	5487	4629	1097
		250		11		0.86	9479	5617	4740	1123
		300		13		0.88	9700	5748	4850	1150
	35	200		9	17,5	0.84	9259	5487	4630	1097
		250		11		0.86	9479	5617	4740	1123
		300		13		0.88	9700	5748	4850	1150
	40	200		9	20	0.84	9259	5487	4630	1097
		250		11		0.86	9479	5617	4740	1123
		300		13		0.88	9700	5748	4850	1150
	45	200		9	22,5	0.84	9259	5487	4630	1097
		250		11		0.86	9479	5617	4740	1123
		300		13		0.88	9700	5748	4850	1150
	50	200		9	25	0.84	9259	5487	4630	1097
		250		11		0.86	9479	5617	4740	1123
		300		13		0.88	9700	5748	4850	1150
	55	200		9	27,5	0.84	9259	5487	4630	1097
		250		11		0.86	9479	5617	4740	1123
		300		13		0.88	9700	5748	4850	1150
	60	200		9	30	0.84	9259	5487	4630	1097
		250		11		0.86	9479	5617	4740	1123
		300		13		0.88	9700	5748	4850	1150

4.2 Экономическая оценка разработанных рекомендаций

По результатам проведенной оценки возможности доизвлечения целиков на границах выемочных столбов можно сделать следующие выводы:

- Стоимость запасов, оставленных в целиках при использовании традиционной технологической схемы составляет 9.8 млрд. руб. по блоку №1 (ш. Комсомольская); 11.2 млрд. руб. по блоку №2 (ш. Заполярная-2); 6 млрд. руб. по блоку №3 (ш. Заполярная-2); при текущем уровне цен на коксующийся уголь.

- В процентном соотношении объем потерь в целиках к общим запасам в блоке № 1 равен 15 % (ш. Комсомольская); 21 % по блоку №2 (ш. Заполярная-2); 20 % по блоку №3 (ш. Заполярная-2).

- Коэффициент доизвлечения угля по блоку при использовании новых технологических схем увеличивается с 0.75 - 0.9.

Наибольший экономический эффект достигается при использовании технологической схемы с поворотом механизированного комплекса на границах выемочных участков. Коэффициент доизвлечения варьируется от 0.8 до 0.9 в зависимости от горно-геологических условий и расположения магистральных выработок.

Так как дополнительные затраты будут различаться по каждому выемочному участку по причине различия угла поворота, длины лавы и ширины барьерного целика для расчета экономического эффекта от внедренных мероприятий предлагается рассчитать объем доизвлечения с минимальным углом поворота и длиной лавы и с максимальным углом поворота и длиной лавы при одинаковой ширине барьерного целика 120 м.

Пример расчета экономического эффекта при использовании поворота механизированного комплекса для пластов «Четвертый» и «Тройной» со стороны монтажной камеры представлен в таблице № 4.6.

Полученные результаты экономического эффекта можно увеличить в 2 раза при использовании технологической схемы с поворотом механизированного комплекса с обеих сторон выемочного участка.

Таблица 4.6 – Экономическая оценка эффективности предлагаемых мероприятий

	Длина лавы 225 м Угол поворота 30 град.		Длина лавы 300 м Угол поворота 60 град.	
	Пласт «Четвертый»	Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»	Пласт «Тройной»
К-т доизвлечения	0.9	0.87	0.82	0.79
Объём доизвлечения, тыс. тонн	32000	50000	104000	175000
Длина дополнительной выработки, м	250	250	420	420
Затраты на дополнительную выработку, млн. руб.	39	30	105	81
Чистая прибыль, млн. руб.	50	90	181	348

Современная тенденция к увеличению длины лавы до 300-350 м в условиях АО «Воркутауголь» будет способствовать еще большему приросту дополнительной прибыли при внедрении данной технологии.

В зависимости от горно-геологических условий залегания пластов, технико-экономического обоснования, размеров краевых целиков выемочных столбов и рабочего пласта в таблице №4.7 представлены варианты совместного применения технологических схем доработки целиков в краевых частях выемочных столбов.

Возможная дополнительная выручка от применения новых технологических схем также представлена в таблице. Можно сделать вывод, что наибольший экономический эффект достигается при применении технологической схемы с поворотом механизированного комплекса как по пласту «Тройной», так и по пласту «Четвертый».

Таблица 4.7 - Варианты совместного применения технологических схем доработки целиков

Варианты совместного применения технологических схем	Целик со стороны монтажной камеры		Целик со стороны демонтажной камеры		Возможный объём доизвлечения, тыс. тонн (мин. и макс. значения)	Возможная дополнительная выручка, млрд. руб. (мин. и макс. значения)	Возможная дополнительная прибыль, млрд. руб. (мин. и макс. значения)
	Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»	Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»			
№1	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Поворот ОМК	164-558	1.061 - 3.636	0.403 – 1,381
№2	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	82-279	0.535 - 1.818	0,203 – 0,690
№3	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Поворот ОМК	82-279	0.535 - 1.818	0,203 – 0,690
№4	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	64-208	0.416 - 1.352	0,158 – 0,513
№5	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	32-104	0.208 - 0.676	0,079 – 0,256
№6	Действующая технологическая схема	Поворот ОМК	Действующая технологическая схема	Действующая технологическая схема	32-104	0.208 - 0.676	0,079 – 0,256

Объём доизвлечения и дополнительная прибыль находятся в диапазонных значениях, так как размеры целиков по каждому участку определяются индивидуально в зависимости от угла поворота, длины лавы и мощности рабочего пласта. Были рассмотрены случаи при минимальных и максимальных параметрах, которые возможны на сегодняшний день при применении предлагаемой технологии.

На рисунке 4.11 и 4.13 представлены зависимости необходимых дополнительных затрат от горно-геологических и горнотехнических факторов. Затраты на проходку и скважинную разгрузку увеличиваются по мере роста угла поворота ОМК. Стоимость проходки дополнительной выработки по пласту «Четвертый» выше на 20 % на счет присечки пород кровли и почвы.

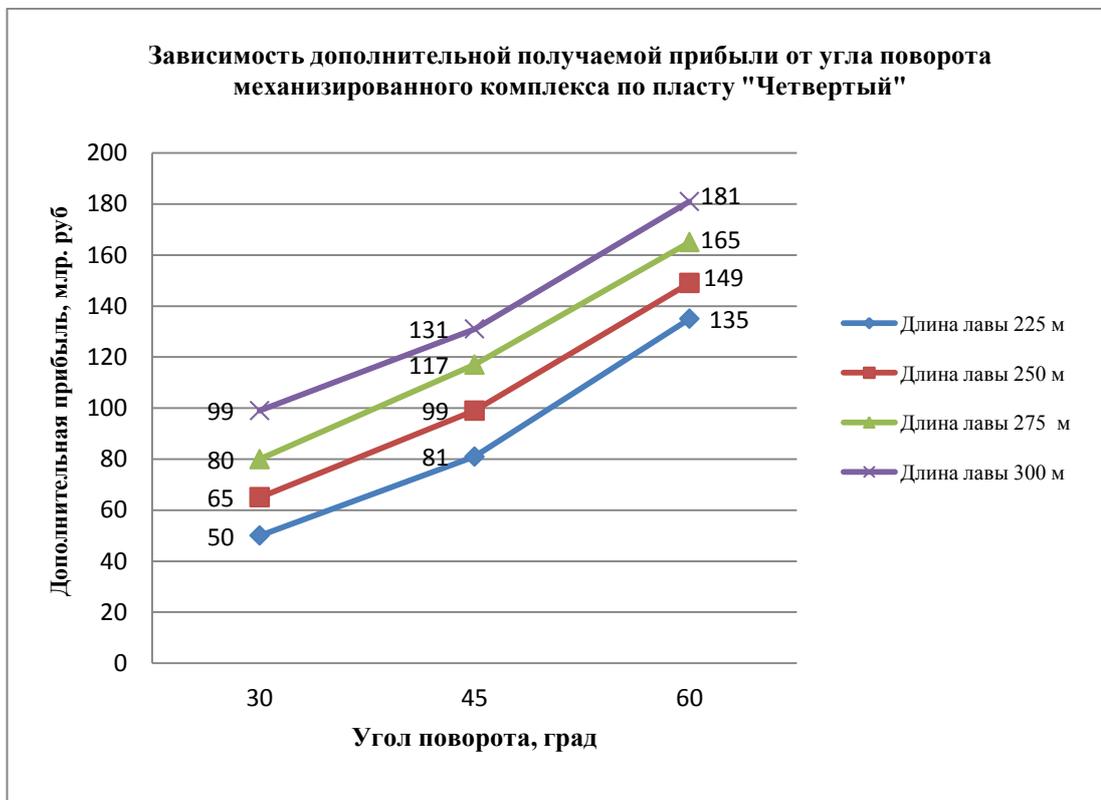


Рисунок 4.10 - Зависимость дополнительной получаемой прибыли при различных углах поворота механизированного комплекса по пласту "Четвертый"

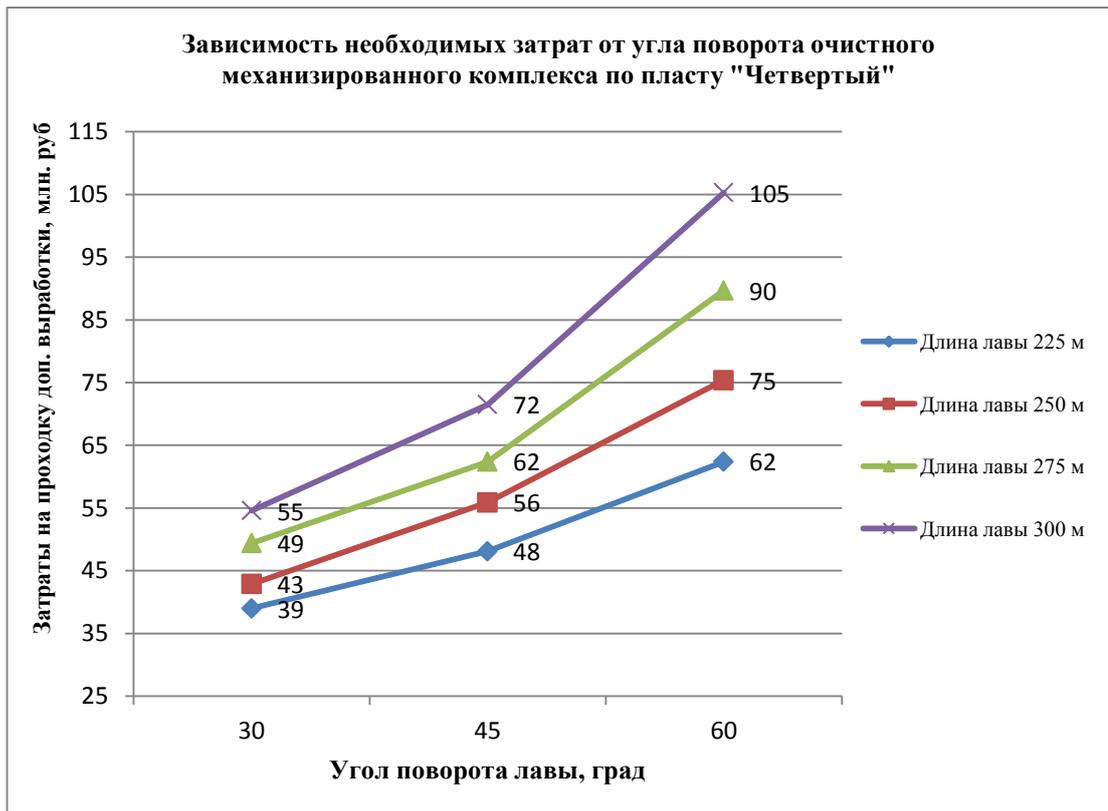


Рисунок 4.11 - График зависимости необходимых затрат при различных углах поворота очистного механизированного комплекса

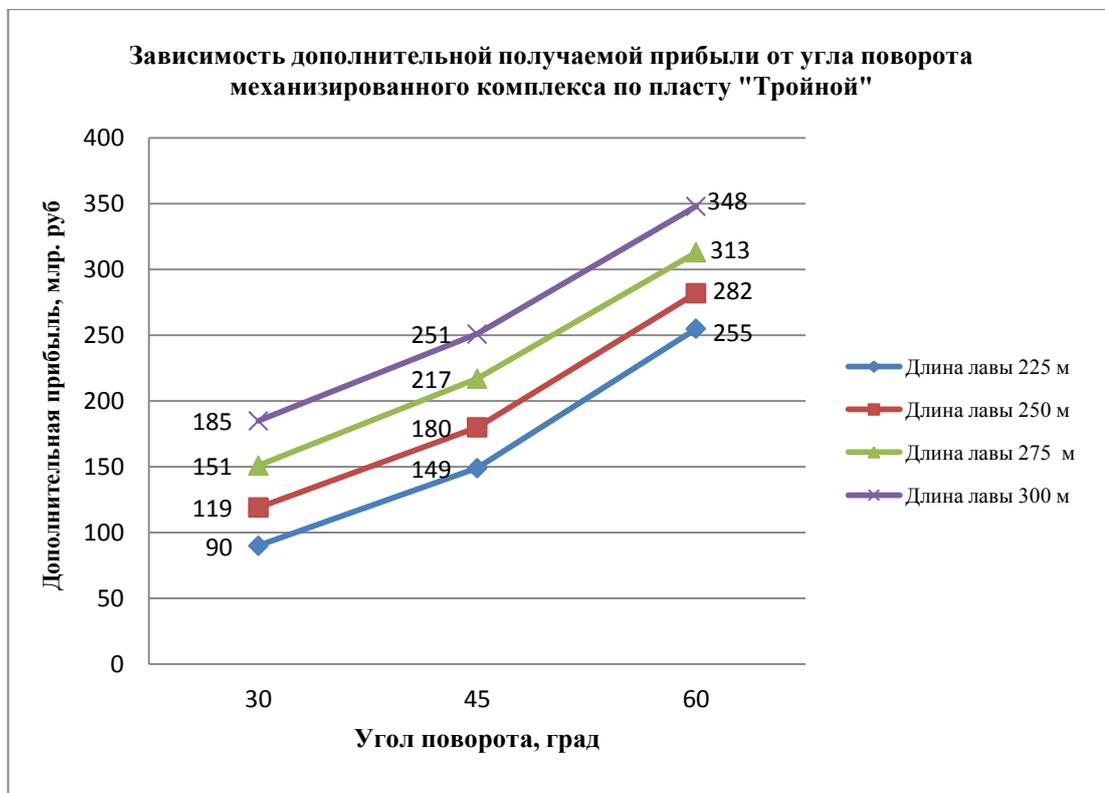


Рисунок 4.12 - График зависимости дополнительной получаемой прибыли при различных углах поворота механизированного комплекса по пласту "Тройной"

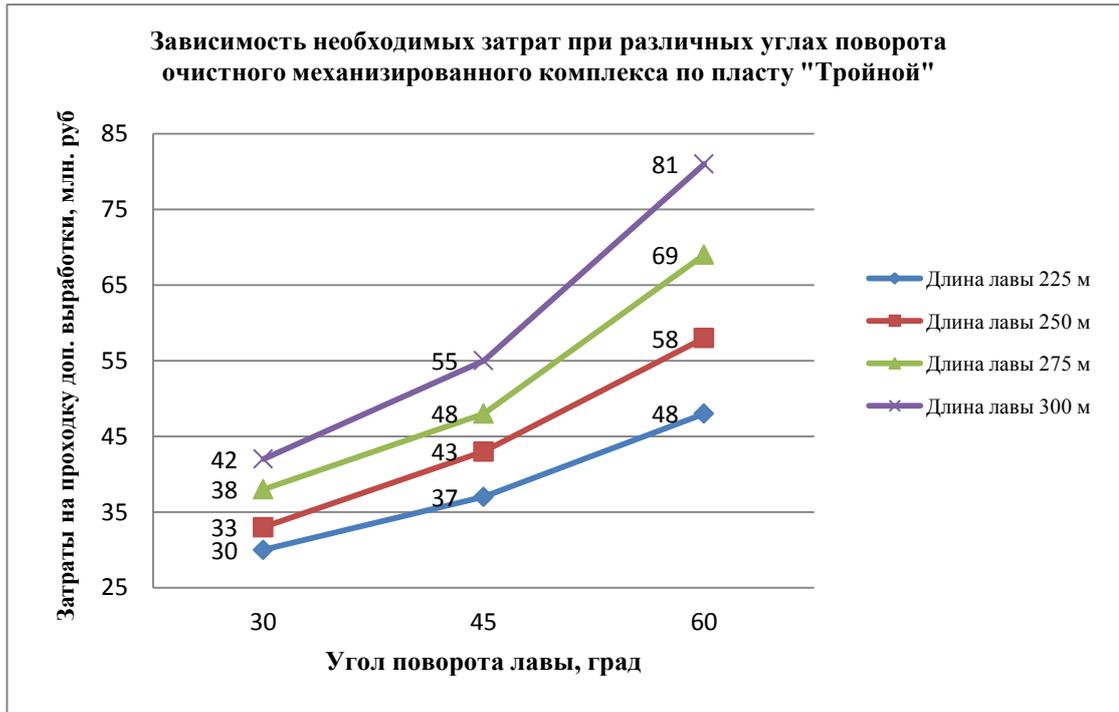


Рисунок 4.13 - График зависимости необходимых затрат при различных углах поворота очистного механизированного комплекса

4.3 Выводы по четвертой главе

В результате сравнения вариантов доработки целиков на границах выемочных участков были выявлены существенные преимущества технологической схемы с поворотом механизированного комплекса. Обоснованы параметры, при которых данную технологическую схему возможно эффективно и безопасно использовать. Показаны принципиальные схемы ведения горных работ при отработке целиков на границах выемочных столбов, рассчитаны параметры скважинной разгрузки, схемы поворота механизированного комплекса и нагрузки в зоне поворота. Приведен расчет экономического эффекта от применения предлагаемой технологической схемы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе комплекса натуральных и экспериментально-аналитических исследований влияния параметров технологических схем отработки свит пологих газоносных угольных пластов на геомеханические и газодинамические процессы на выемочных участках Воркутского месторождения решена актуальная задача обоснования параметров технологических схем, позволяющих существенно увеличить коэффициент извлечения угля особо ценных коксующихся марок при отработке запасов донной части Воркутского месторождения.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Объем и скорость выталкивания метановоздушной смеси из выработанного пространства способны превысить ПДК в очистном забое и примыкающих выработках, только при первоначальном обрушении. В режиме установившегося движения посадка основной кровли не влияет на газовую обстановку на выемочном участке.

2. Необходимо учитывать факт зависания основной кровли в подработанных зонах в период отхода от монтажной камеры. Внести в паспорт отработки выемочных столбов по пласту «Тройной» активные способы управления кровлей, не дожидаясь естественной посадки, если расчетный шаг обрушения не соответствует фактическим данным.

3. Для эффективного управления кровлей и исключения возможностей ее зависания, необходимо делать тщательный горно-геологический прогноз по всей длине выемочного столба. Учет изменчивости литологии позволит прогнозировать шаги обрушения по мере движения очистного забоя.

4. Действующие технологические схемы предусматривают оставление целиков на границах выемочных участков, что влечет за собой создание протяженных зон ПГД и высоких потерь (до 22 % по блоку). В денежном эквиваленте данные потери эквивалентны сотням миллионов рублей.

5. Разработаны технологические схемы доработки целиков на границах выемочных участков, способствующие расширению подработанной зоны и снижению протяженности зон ПГД.

6. Наиболее эффективной является технологическая схема с поворотом механизированного комплекса на границах выемочных участков. Коэффициент доизвлечения целика составляет 0,79 - 0,9. Коэффициент извлечения по участку составит до 0.85 - 0.9.

7. Экономический эффект в виде дополнительной прибыли от внедрения предложенных технологических схем составляет от 0,079 – 1,38 млрд. рублей с одного выемочного столба в зависимости от горно-геологических условий и размеров целиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. М., Недра, 1975. - 280 с.
2. Баклашов, И.В. Механика горных пород / И.В. Баклашов, Б.А. картозия. – М.: Недра, 1975. - 279 с.
3. Батугин, С.А. Определение деформаций горных пород при движущемся очистном забое. Кандидатская диссертация - Прокопьевск, 1963. - 21 с.
4. Беляев Е.В. Теория подрабатываемого массива горных пород. – М.:Недра, 1983. - С. 43- 49.
5. Бич Я.А. Горные удары и методы их прогноза.-М.:ЦНИЭИуголь.- 1972. - 100 с.
6. Бич Я.А. Методы прогноза удароопасности пластов // Уголь.- 1994.- N 7.- С. 10-12.
7. Борисов А.А. Методы прогноза и контроля горного давления при подземной разработке пластовых месторождений. М., Недра, 1979. – 491 с.
8. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – Л.: изд. ЛГИ, 1980. - 94 с.
9. Борьба с горными ударами на шахтах Воркутинского месторождения / Коллектив авторов под ред. И.М. Петухова. – Сыктывкар: Коми книж. изд-во, 1984. - 120 с.
10. Бублик Ф.П. Методические указания по определению несущей способности целиков / Ф.П. Бублик. – Л. : ВНИМИ, 1972. - 90 с.
11. Варфоломеев Е.Л. Инновационное решение короткозабойной технологии добычи угля, направленное на повышение полноты извлечения и эффективности отработки угольных пластов подземным способом // Рациональное освоение недр. – 2011. – № 4. - С. 14-18.
12. Варьяс Ю.В. Исследование и выбор рациональной системы разработки для пологих пластов средней мощности при выемки механизированными комплексами. Автореферат на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., МГИ 1972. – 18 с.

13. Василенко Н.К. Повышение эффективности механизированной выемки мощных пологих пластов с труднообрушаемой кровлей и опасных по горным ударам: автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук / Н.К. Василенко ; КузГТУ. – Кемерово, –1998. - 17 с.

14. Веселов А.П., Бочаров И.П., Гусельников Л.М. Совершенствование схем развития горных работ, обеспечивающих геодинамическую безопасность в условиях Воркутского месторождения. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГГУ, – 2000. – № 10. - С. 63-66.

15. Веселов А.П., Казанин О.И. Пути совершенствования технологии отработки удароопасных газоносных угольных пластов Воркутского месторождения // Уголь. – 1998. - № 6. - С. 23-25.

16. Виткалов В.Г. Особенности управления горным давлением при развороте комплекса КК-27430 // Подготовка и отработка шахтного поля блоками, обеспечивающими снижение объемов горных работ: Сборник научных трудов МГИ. - М., 1987. - С. 67-68.

17. Гибкая технология комплексно-механизированной выемки угля (модульный каталог ситуаций и гибких технологических схем). Пояснительная записка: Каталог ИГД им. А.А.Скочинского. - М., 1989. - 37 с.

18. Громов Ю.В. Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов угля / Ю.В. Громов, Ю.Н. Бычков, В.И. Кругликов. – М. : Недра, 1985. - 239 с.

19. Дворецкий Н.М. Прусаков Ф.К. Опыт применения механизированных комплексов при отработке выемочных участков неправильной конфигурации // Уголь, 1978, №8, – С. 35-38.

20. Зубов В.П. Особенности управления горным давлением в лавах при отработке пологих пластов на больших глубинах. ЛГИ, 1989. – С. 45-47.

21. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам. РД 05-328-99.

22. Инструкция по выбору способов и параметров разупрочнения кровли на выемочных участках. – Л.: ВНИМИ, 1991. – 102 с.

23. Исследование геомеханических и газодинамических процессов в периоды деформирования и обрушения основной кровли в отрабатываемых пластах и разработка комплекса рекомендаций по обеспечению эффективности и безопасности горных работ. Отчет о НИР / СПГУ; рук. О.И. Казанин. - Воркута, 2017. - С. 43-45.

24. Каледина Н.О., Кобылкин С.С. Расчет аэродинамических параметров выработанных пространств. – М.: Издательство «Горная книга», 2015 - 44 с.

25. Килячков А.П., Михеев О.В. Совершенствование технологических схем очистных работ с разворотом механизированных комплексов //Сборник научных трудов МГИ.- М, 1984, - С. 43-46.

26. Кириченко А.С., Сиренко Ю.Г., Антонов А.А. Типы технологий разработки пологих выбросоопасных соляных пластов. Физические процессы горного производства. РИО ЛГИ, 1989. – 59 с.

27. Кмэс Ф., Вайхаймер О. Повороты лав в каменноугольной промышленности ФРГ // Глюкауф. - 1980. - № 11. - С. 4-12.

28. Козлов В.В. Анализ существующих классификаций технологических схем с разворотом лавы // Уголь. – 2010. №3. С. 64-65.

29. Козлов В.В. Каталог технологических схем разворота механизированного комплекса: Монография. - М.:МГГУ, – 2011. - 190 с.

30. Козлов В.В. Классификация технологических схем очистных работ с разворотом механизированных комплексов // Уголь .— 2017 .— №2 .- С. 10-11.

31. Козлов В.В. Моделирование гибких технологических систем очистных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №7. - С.142-144.

32. Козлов В.В., Мельник В.В., Агафонов В.В. Адаптация гибких технологий подземной угледобычи в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях. Монография, М.: Тула: Изд-во ТулГУ, – 2016, - 83 с.

33. Козырев А.А. Об управлении напряженно-деформированным состоянием массива горных пород при проходке горных выработок в удароопасных усло-

виях/ А.А. Козырев, С.Н. Савченко // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2014. – Т. 17, № 2. – С. 221-224.

34. Коршунов Г.И. Определение параметров системы разработки короткими очистными забоями угольных пластов, склонных к горным ударам // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 27-30.

35. Коршунов Г.И., Логинов А.К., Зуев В.А. Разработка угольных пластов Воркутского месторождения в сложных горно-геологических условиях. – СПб: МАНЭБ. - 2006. С. 22-23.

36. Коршунов Г.И., Логинов А.К., Шик В.М. Геомеханические принципы разработки нижних горизонтов Воркутского угольного месторождения. - СПб: МАНЭБ. - 2006. С. 45-49.

37. Коршунов Г.И. Технология эффективной и безопасной разработки выбросо- и удароопасных пологих угольных пластов: Автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук. – СПб, СПГГИ, – 1995. С. 13-15.

38. Кулак В.Ю. Прогнозирование горных ударов при отработке склонных к газодинамическим явлениям угольных пластов / В.Ю. Кулак, А.А. Черепов, С.Н. Ширяев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 328-336.

39. Лаврик В.Г., Ногих С.Р. Взаимодействие геомеханических и газодинамических процессов при интенсивной отработке пологих газоносных пластов // Уголь. – 1999. – № 2. – С. 12-14.

40. Лейсле А.В., Смирняков В.В., Попов М.М. Оценка динамики влияния выработанного пространства на аэродинамическое сопротивление выемочного участка // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2015. – № 7. – С. 103-109.

41. Логинов А.К. Современные технологические и технические решения отработки угольных пластов. — М.: МГГУ, 2006. С. 13-20.

42. Луганцев Б.Б. Перспективные технологии и техника для отработки выбросоопасных угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями /

Б.Б. Луганцев, А.Н. Аверкин // Уголь (научно-технический журнал). – 2011 - №12 . – 11 с.

43. Малышев Ю.Н., Михеев О.В., Никишичев Б.Г. О развороте комплекса 4КМ-130 на 180° на шахте "Распадская". // Уголь, 1985, № 5. – С. 55- 58.

44. Мельник В.В., Шулятьева Л.И., Агафонов В.В., Сущев Р.А. Совершенствование теории и методов оптимизации параметров технологических схем шахт: Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – 2010 - № 10. – 24 с.

45. Мельник В.В. Обоснование прогрессивных технологических решений по интенсивной отработке угольных месторождений. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2011 - № 1. – С. 422-432.

46. Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями. - СПб.: ВНИМИ, 2003, - С. 6-15.

47. Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями. - СПб., 2003. - с. (М-во энергетики РФ. РАН. ФГУП «Гос. НИИ горн, геомех. пмаркшейд. дела - М11Ц ВНИМИ»). – 89 с.

48. Мустафин, М.Г. Влияние скорости подвигания очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта / М.Г. Мустафин // Сб. горного информ. – аналит. бюл. – М.: Изд-во МГГУ. – 2008, №1.- С. 17-22.

49. Никишичев Б.Г. Особенности технологии очистных работ с разворотом комплексов на 180° на шахте "Распадская" // Создание технологии и техники добычи угля без постоянного присутствия людей в забоях шахт: Сборник научных трудов МГИ. - М., 1984, - С. 25-27.

50. Опыт разворота лав. - Донецк: ЦБНТИ МУП УССР, 1985. - 4 с.

51. Перспективные геомеханические схемы регионального управления выбросо- и удароопасным состоянием массива при разработке свит угольных пла-

стов : Метод. пособие / ВНИИ горн. геомеханики и маркшейдер. дела; [Сост. А. А. Гребенщиков и др.]. - Л. : ВНИМИ, – 1989. – 25 с.

52. Петухов И.М. Горные удары на угольных шахтах. – М.: Недра, – 1972. – 229 с.

53. Петушкевич Б.Л. Решение трехмерной задачи газовой динамики и переноса метана в угольной шахте с использованием параллельных вычислений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – 2010. - 20 с.

54. Портола В.А. Оценка проницаемости горных пород над отработанными пластами. Вестник КузГТУ. - 2003. - №3. - С. 30-32.

55. Презент Г.М. Повышение технической безопасности горных работ на основе региональных методов управления геомеханическими и газодинамическими процессами в угольных шахтах: Автореф. д-ра техн. наук. – М., –1998. – 43 с.

56. Проскуряков Н.М. Управление состоянием массива горных пород.- М.: Недра, –1991. - 358 с.

57. Проскуряков Н.М. Управление состоянием массива горных пород: Учебник для вузов. М.: Недра, 1991. – 368 с.

58. Пугач А.С. Компьютерные технологии в моделировании отработки угольных пластов на глубоких горизонтах шахт ОАО «Воркутауголь» ЗАО «Северсталь-ресурс» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) - 2012. - № 5. - 402 с.

59. Путьято Д.Ю. Обоснование параметров технологических схем при движении забоя по криволинейной траектории: Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. / МГИ. -М., –1989. – 18 с.

60. Пучков Л.А. Аэрогазодинамика выработанных пространств. М., –1993. - 205 с.

61. Пучков Л.А. Моделирование аэродинамических процессов в выработанном пространстве угольных шахт // Физическое моделирование тепловентиляционных и пылевых процессов. Апатиты, – 1977. - С. 51-56.

62. Разворот механизированной лавы на 180° // Новости зарубежной угольной промышленности. - М.: ЦНИЭИуголь, – 1975. - № 5. - С. 7-12.
63. Разработка комплекса рекомендаций по совершенствованию технологических схем отработки пласта "Четвертый" на шахтах ПО "Воркутауголь": Отчет о НИР / ПечорНИИпроект; рук. О.И. Казанин. - Воркута, – 1996. - 59 с.
64. Региональные меры предотвращения горных ударов / Сб. научных трудов ВНИМИ.- Л., 1983.- 75 с.
65. Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах – М.: Недра, – 2017. - С. 30-39
66. Рекомендации по определению параметров шага первичного обрушения основной и непосредственной кровли в очистных забоях на шахтах ОАО «Воркутауголь». ПечорНИИпроект. Воркута. – 2001. - 22 с.
67. Сдвигание и разрушение горных пород / С.Д. Викторов, М.А. Иофис, С.А. Гончаров;– М.: Наука, 2005. – 280 с.
68. Серяков В.М. Обоснование геомеханических параметров разработки свиты пологих пластов // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2017. – № 3. – С. 47-51.
69. Смирняков В.В. Аналитическая оценка аэродинамических параметров обрушения основной кровли // Записки горного института (Том 207). Изд-во С.-Петербург. Национальный минерально-сырьевой университет горный, – 2014. - С.151-154.
70. Смирняков В.В. Выбор и оценка критериев подобия при моделировании аэрогазодинамических процессов при обрушении основной кровли // Записки горного института (Том 207). Изд-во С.-Петербург. Национальный минерально-сырьевой университет горный, – 2014. - С. 147-150.
71. Соколов А. Б. Обоснование параметров технологических схем выемочных участков при высоком уровне концентрации горных работ (на примере отработки пласта Мощный шахты «Воргашорская»). Диссертационная работа, СПбГ-ГИ(ТУ) – 1999. С. 17-18.

72. Таразанов И.П. Итоги работы угольной промышленности России за 2017 год // Уголь (научно-технический журнал). - № 3. – 2018. С. 53-66.

73. Технологические схемы очистных и подготовительных работ на угольных шахтах. ч. 1. М., изд. ИГД им. А.А. Скочинского, 1975.

74. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах / В.Е. Зайденварг, В.В. Соболев, И.И. Сныткин и др.; под ред. В.Е. Зайденварга. – ИГД им. А.А. Скочинского. – Люберцы, 1991. С. 21-25.

75. Технологические схемы с разворотом механизированных комплексов / Для условий шахт Кузбасса и бассейнов с аналогичными горно-геологическими условиями. Методические указания: МГИ. - М.,1987, - 63 с.

76. Указания по управлению горным давлением в очистных забоях под (над) целиками и краевыми частями при разработке свиты угольных пластов мощностью до 3,5 м с углом падения до 35° . Л., – 1984. - 62 с.

77. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах" ред. 25 сентября 2018 г.

78. Физические основы прогнозирования разрушения горных пород, Материалы 1-й Междунар. школы-семинара, 9—15 сентября 2001 г. Красноярск, СибГУ, 2002. – 41 с.

79. Фрянов В.Н. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов короткими забоями / – Кемерово: Академия горных наук, – 1999. – 110 с.

80. Халимов А.И. Исследование и оптимизация параметров технологических схем отработки выемочных полей с разворотом механизированных комплексов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М.: МГИ, – 1983. - 223 с.

81. Хомченко В.Н. Зависимость расчётных размеров целиков от глубины разработки в системах с короткими очистными забоями / В.Н. Хомченко, В.А. Карасев, Ю.А. Масаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №1 (107). – С. 45-50.

82. Худин Ю.Л. Комплексно-механизированная выемка нарушенных угольных пластов / Ю. Л. Худин, Д. Д. Глазов, С. В. Мамонтов. - М.: Недра, 1985. – С. 5-15.

83. Черняк И.Л., Ярунин С.А. Управление состоянием массива горных пород. М.: Недра, 1995. 395 с.

84. Яковлев Д.В. К вопросу отработки удароопасных угольных пластов короткими забоями / Д.В. Яковлев [и др.] // Уголь. – 2015. – № 7. – С. 13-16.

85. Ярошенко В.В. Исследование геомеханических и газодинамических процессов при отработке продуктивных пластов Воркутского месторождения Горный информационно-аналитический бюллетень. Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Специальный выпуск 5-1. Москва: Изд-во «Горная книга», – 2017. - С. 245-249.

86. Ярошенко В.В. Направления повышения коэффициента извлечения угля при доработке запасов Воркутского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4 (специальный выпуск 7). – С. 370-380.

87. Ярошенко В.В., Кислицын М.С. Оценка влияния обрушений основной кровли на аэродинамические процессы на выемочных участках по пластам «Тройной» и «Мощный» Воркутского месторождения Горный информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск 9. Москва: Изд-во «Горная книга», – 2017. - С. 230-235.

88. Ярошенко В.В., Кислицын М.С. Анализ неравномерности газовыделения на выемочном участке при отработке пласта «Четвертый» в поле шахты «Воркутинская» // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование-2. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск 60-2. Москва: Изд-во «Горная книга», – 2015. С.306-312.

89. J. McCaffrey, L. Barletta, E. Thomas, R.C. Toothman. Hydraulic Fracturing of Sandstone and Longwall Roof Control - Implementation and Evaluation // Proceedings of the 21st International Conference on Ground Control in Mining. West Virginia University, Morgantown, WV, – 2002, P.1-10.

90. H. Shimada, K. Matsui, and H. Anwar. Control of Hard-to-Collapse Massive Roofs in Longwall Faces Using a Hydraulic Fracturing Technique // Proceedings of the 17th International Conference on Ground Control in Mining. West Virginia University, Morgantown, WV, – 1998, P.79-87.

91. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Vinogradov E. A., Assessment of the influence of the first established and identification of critical steps in main roof caving // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, – 2018. –No.10, P. 3350-3354.

92. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Interaction between gas dynamic and geomechanical processes in coal mines // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, – 2017.– No. 5, P. 1458-1462.

93. Kazanin O. I., Sirenko Y. G., Sidorenko A. A., Analysis of the methods of calculating the main roof-caving increment in mining shallow coal seams with long breaking faces // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, – 2019. – No.3, P. 732-736.

94. L.S. Xu. Methods of Controlling Hard Roof in a Longwall Face. // Proceedings of the 5th International Conference on Ground Control in Mining. West Virginia University, Morgantown, WV, – 1986, P. 306-316.

95. Multiple-seam longwall mining in the United States: lessons for ground control // NIOSH, Pittsburgh, PA, – 2001, P.154-160.

96. Reed G., Mctyler K. An assessment of coal pillar system stability criteria based on a mechanistic evaluation of the interaction between coal pillars and the overburden // International Journal Of Mining Science and Technology, –2017, No. 27, P. 9-15.

97. Reed G., Russell F. Coal pillar design when considered a reinforcement problem rather than a suspension problem // International Journal of Mining Science and Technology, –2018, No. 28, P. 11-19.

98. Sidorenko A. A., Gerasimova I. G., Determination of Parameters of High Stress Zones at Multiple-Seam Longwall Mining // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, – 2016, P. 1844-1851.

99. Sidorenko A. A., Sidorenko S. A., Sirenko Y. G., Influence of face advance rate on geomechanical and gas-dynamic processes in longwalls in gassy mines // *Eurasian Mining*, – 2018, No.3, P. 3-8.
100. Singh T.N. and Dubey B.K Cavability Study of a Competent Roof - A Case Study // *Proceedings of the 13th International Conference on Ground Control in Mining*. West Virginia University, Morgantown, WV, – 1994, P. 121-129.
101. Tati B.B. Multi-Seam Coal Mining // *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, – 2011, No. 4, P. 15-20.
102. Waclawik P., Ptacek J., Grygar R. Structural and stress analysis of mining practice in the Upper Silesian Coal Basin // *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, – 2013, No.10, P. 255-265.
103. Yu Y., Deng K.-Z., Chen S.-E. Mine Size Effects on Coal Pillar Stress and Their Application for Partial Extraction // *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. Sustainability*, – 2018, No. 10, 792 pp.