


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



*На правах рукописи*

**Голубев Дмитрий Дмитриевич**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ВЫЕМКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ,  
СКЛОННОГО К САМОВОЗГОРАНИЮ**

Специальность – 25.00.22 Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
**Зубов В.П.**

Санкт-Петербург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОПЫТА ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ УГЛЯ, СКЛОННОГО К САМОВОЗГОРАНИЮ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Анализ применяемых систем разработки при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию .....	9
1.2. Условия развития самовозгорания угля в шахтах .....	17
1.3. Оценка нормативных требований при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию.....	26
1.4. Направления совершенствования технологий отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию.....	30
1.5. Опыт применения бесцеликовых технологий для отработки пологих пластов угля.....	32
Выводы по главе 1 .....	44
<b>ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ БЕСЦЕЛИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ, СКЛОННОГО К САМОВОЗГОРАНИЮ, С ВОЗВЕДЕНИЕМ ПОЛОС ИЗ ТВЕРДЕЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУ ВЫЕМОЧНЫМИ УЧАСТКАМИ .....</b>	<b>46</b>
2.1. Определение основных требований к бесцеликовым технологиям отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию .....	46
2.2. Технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем... ..	49
2.3. Технология с отработкой целика угля с отставанием от очистного забоя .....	51
2.4. Технология с отработкой целика угля с опережением очистного забоя.....	54
2.5. Технология с отработкой целика угля при подготовке выемочного столба ..	57

2.6. Технология с обработкой целлика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба .....	60
Выводы по главе 2.....	65
<b>ГЛАВА 3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ С ВОЗВЕДЕНИЕМ ПОЛОС ИЗ ТВЕРДЕЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ВЫЕМОЧНОГО СТОЛБА .....</b>	<b>68</b>
3.1. Основные принципы подготовки и обработки выемочных столбов .....	68
3.2. Принципиальная схема проветривания выемочного участка .....	76
3.3. Способ формирования полосы из твердеющих материалов .....	79
Выводы по главе 3.....	82
<b>ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШАХТ КУЗБАССА.....</b>	<b>85</b>
4.1. Экспериментально-аналитические исследования процесса отработки пологого пласта угля с применением разработанной технологии.....	85
4.2. Определение параметров разработанной технологии.....	93
4.3. Оценка экономической эффективности разработанной технологии.....	100
Выводы по главе 4.....	112
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>115</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>117</b>
<b>СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА .....</b>	<b>127</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Результаты расчета экономической эффективности использования рекомендуемой технологии.....</b>	<b>130</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность работы и степень научной разработанности проблемы**

В настоящее время для отработки пологих пластов на современных угольных шахтах применяют, как правило, систему разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками и оставлением целиков в выработанном пространстве. Целики позволяют практически полностью исключить влияние газового фактора на работу очистного забоя за счет возможности применения эффективных способов дегазации и использования комбинированной схемы проветривания с отводом части воздуха по выработанному пространству. Исключение влияния газового фактора позволяет наиболее полно использовать потенциал современных механизированных очистных комплексов и увеличивать размеры выемочных столбов для обеспечения высокой нагрузки на очистной забой.

К числу существенных недостатков системы разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками и оставлением целиков в выработанном пространстве при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, относятся большие эксплуатационные потери полезного ископаемого в целиках и высокая опасность самовозгорания угля в выработанном пространстве. Разрушение краевых частей целиков под воздействием опорного горного давления приводит к образованию многочисленных скоплений разрыхленного угля. Утечки воздуха, которые характерны для комбинированных схем проветривания, обеспечивают притоки кислорода к активным центрам разрыхленного угля. В совокупности отмеченные факторы формируют условия для развития очагов самовозгорания угля, которые могут стать причиной взрывов метана в выработанном пространстве.

Решению проблем ресурсосберегающей и безопасной отработки пологих пластов угля в сложных горно-геологических условиях, в том числе пластов угля, склонного к самовозгоранию, посвящены работы К.А. Ардашева, Н.П. Бажина, А.А. Борисова, Н.К. Гринько, Ю.В. Громова, В.П. Зубова, О.И. Казанина, В.Н. Опарина, В.А. Портолы, А.Д. Рубана, В.А. Скрицкого и других

исследователей. Вместе с тем в настоящее время отсутствуют ресурсосберегающие технологии отработки пологих угольных пластов, позволяющие значительно снизить опасность формирования очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве и сохраняющие при этом возможность использования совокупности прогрессивных технологических решений (комбинированная схема проветривания, пластовая подготовка, увеличение размеров выемочного столба и др.), эффективно применяемых на современных угольных шахтах.

**Цель работы** – разработка ресурсосберегающих технологий отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, при подготовке столбов сдвоенными выработками, обеспечивающих снижение эксплуатационных потерь полезного ископаемого и опасности формирования очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве.

**Идея работы:**

Для снижения эксплуатационных потерь полезного ископаемого и опасности формирования очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве при подготовке столбов сдвоенными выработками между выемочными участками возводят полосы из твердеющих воздухонепроницаемых материалов с последующей отработкой целиков угля, оставляемых между сдвоенными выработками, на одной линии с очистным забоем.

**Основные задачи исследования:**

1. Определение наиболее перспективных технологий отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию.
2. Разработка новых технологий ведения горных работ при отработке пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию.
3. Обоснование способа формирования полосы из твердеющих материалов.
4. Определение параметров рекомендуемых технологий для различных горно-геологических условий.
5. Оценка экономической эффективности и области рационального использования разработанных технологий.

### **Научная новизна**

1. Установлена нелинейная зависимость экономической эффективности применения разработанной технологии от мощности обрабатываемого пласта и глубины ведения горных работ.

2. Выявлена количественная зависимость области применения разработанной технологии по мощности обрабатываемого пласта от рыночной цены на уголь.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

1. Обоснована техническая возможность и экономическая целесообразность изолирования выработанного пространства смежных выемочных столбов полосами из твердеющих материалов, позволяющими при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, извлекать целики, оставляемые между сдвоенными выработками в процессе подготовки выемочных участков.

2. Разработана патентоспособная технология отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, позволяющая производить отработку межстолбовых целиков.

### **Методология и методы исследования**

В ходе работы были произведены: анализ и обобщение научных работ по способам и технологиям отработки пологих пластов угля, в том числе склонного к самовозгоранию; экспериментально-аналитические исследования массива горных пород и элементов системы разработки на разных этапах отработки выемочного столба; технико-экономическая оценка разработанных технологий.

### **Основные защищаемые положения:**

1. При отработке пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, с подготовкой столбов сдвоенными выработками снижение эксплуатационных потерь полезного ископаемого и опасности формирования очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве достигается при возведении между выемочными участками изолирующих полос из твердеющих материалов с последующей отработкой целиков угля, оставляемых между сдвоенными выработками, на одной линии с очистным забоем.

2. Исключение отрицательного влияния технологических процессов, связанных с созданием изолирующей полосы из твердеющих материалов, на производительность очистного и проходческого забоев достигается при формировании полосы из твердеющих материалов в участковом конвейерном штреке в процессе его проходки.

3. Максимальная экономическая эффективность применения разработанной технологии с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в конвейерном штреке в процессе подготовки выемочного столба достигается при отработке пологих пластов угля мощностью от 2,0 до 2,5 м.

### **Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций**

Достоверность защищаемых положений, основных выводов и рекомендаций обеспечивается представительным объемом проанализированных данных, подтверждается применением современных численных методов исследований, удовлетворительной сходимостью результатов аналитических исследований с результатами экспериментов автора и других исследователей.

### **Апробация результатов**

Основные идеи и научные результаты диссертационного исследования были представлены на следующих всероссийских и международных научных конференциях и конкурсах:

1. XV Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2019 г.).
2. XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов (Санкт-Петербург, 2019 г.).
3. IV Международная научно-практическая конференция «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2018 г.).

**Личный вклад автора** заключается в формулировании цели и задач исследования, проведении экспериментально-аналитических исследований,

разработке патентоспособной технологии, формулировании основных защищаемых положений и выводов.

**Публикации.** По теме исследования опубликовано 6 печатных работ, в том числе 3 статьи – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, в 3 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

**Структура работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 82 наименования, и списка иллюстративного материала. Диссертация изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 14 таблиц и 1 приложение.



## **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОПЫТА ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ УГЛЯ, СКЛОННОГО К САМОВОЗГОРАНИЮ**

### **1.1. Анализ применяемых систем разработки при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию**

Россия – один из мировых лидеров по объемам добычи угля. Страна занимает шестое место с долей более 4,5% от всей мировой угледобычи (после Китая, США, Индии, Австралии и Индонезии).

В 2020 году общий объем добычи угля в России составил 401,6 млн. тонн, из которых подземным и открытым способом добыто 102,9 и 298,7 млн. тонн соответственно. По состоянию на 01.01.2021 г. на территории России добычу угля производят 58 шахт и 121 разрез, а его переработку осуществляют на 64 обогатительных фабриках и установках [66].

В пределах Российской Федерации находятся 129 отдельных месторождений угля и 22 угольных бассейна. Основная добыча сосредоточена в 4 из них: Печорском, Донецком, Кузнецком и Канско-Ачинском угольных бассейнах. При этом 55% от общего объема добываемого в стране угля приходится на Кузнецкий угольный бассейн, который по запасам является одним из наиболее крупных в мире [66].

Перспектива развития угольной промышленности России связана по большей степени именно с Кузбассом. Это обусловлено как качеством и количеством запасов, так и особенностями горно-геологических условий залегания угольных пластов. Общие геологические запасы угля Кузнецкого бассейна до глубины 1800 метров оцениваются в 637 млрд. тонн, из которых более 85% признаны кондиционными и могут быть приняты к отработке. Балансовые запасы составляют 110,8 млрд. тонн и подсчитаны до глубины 600 метров: 67 млрд. тонн относят к сумме категорий А+В+С<sub>1</sub> и около 44 млрд. тонн — к категории С<sub>2</sub> [76].

Основным объектом промышленной разработки являются высококачественные каменные угли, несмотря на присутствие в бассейне углей от бурых до антрацитов [76].

Мощность разрабатываемых пластов варьируется от 0,8 до 30 метров. Из них 19% — тонкие пласты мощностью до 1,2 м, 43% — пласты средней мощности от 1,2 до 3,5 м и 38% — пласты мощностью более 3,5 м. Углы залегания пластов изменяются в диапазоне от 0 до 90° [76].

Большинство разрабатываемых пластов залегают в свитах и рассматриваются как сближенные, а расстояние между ними изменяется от 13-20 до 64-90 м. Вмещающие породы чаще всего представлены алевролитами, аргиллитами и песчаниками.

Глубина залегания пластов Кузбасса измеряется от первых метров у поверхности до 2 км, но большая часть горных работ в настоящее время производится на глубине 200-600 м. Около 64% действующих шахт отрабатывают участки с относительной газообильностью свыше 10 м<sup>3</sup>/т, около 82% лав работают в опасных условиях по горным ударам и внезапным выбросам.

Одной из наиболее важных проблем для шахт Кузбасса является эндогенная пожароопасность. На территории бассейна более 79% очистных забоев отрабатывают пласты угля, склонного к самовозгоранию [76].

Добычу угля подземным способом в описанных условиях осуществляют несколько компаний, среди которых можно выделить наиболее крупные: «Южкузбассуголь», «Распадская угольная компания», «Евраз Междуреченск», «СДС-Уголь», «СУЭК-Кузбасс». Более 70% общего объема угля, добываемого в Кузнецком угольном бассейне подземным способом, приходится на долю указанных компаний. Характеристики основных горно-геологических и горнотехнических условий, отражающие условия работы шахт указанных компаний, даны в таблице 1.1 [66, 76]. Согласно анализу этих данных наиболее эффективные шахты добываются высокой производительности на пологих пластах мощностью от 2 до 5 м. Это объясняется тем, что такие условия наиболее благоприятны для применения высокопроизводительных механизированных

комплексов. Более половины пластов Кузбасса соответствуют описанным параметрам, чем обусловлена эффективность подземной добычи угля на территории бассейна и перспектива ее развития.

Таблица 1.1 – Сведения об основных горно-геологических и горнотехнических условиях, характеризующих условия работы шахт [66, 76]

Шахта	Мощность пласта, м	Угол падения, °	Склонность к самовозгоранию
«Южкузбассуголь»			
«Алардинская»	3-5,5	11-17	склонный
«Ерунаковская-8»	1,2-2,7	5-18	склонный
«Есаульская»	0,8-3,5	5-45	склонный
«Осинниковская»	1,7-3,1	0-18	не склонный
«Усковская»	2,2-2,7	2-15	склонный
«Распадская угольная компания»			
«Распадская»	1,7-4,5	6-9	склонный
«Распадская-Коксовая»	10,5	6-21	склонный
«Евраз Междуреченск»			
Шахта «Антоновская»	2,1-3,6	4-28	склонный
Шахта «Большевик»	3,6-3,7	2-18	склонный
«СДС-Уголь»			
«Южная»	1,4-3,1	2-20	склонный
«Листвяжная»	3,2	3-25	склонный
«СУЭК-Кузбасс»			
«им. С. М. Кирова»	2,2-2,4	5-25	не склонный
«Полысаевская»	1,4-2,2	6	не склонный
«Комсомолец»	1,7-2,2	0-40	не склонный
«им. А. Д. Рубана»	2,4-5,0	3-25	склонный
«им. В. Д. Ялевского»	3,8-4,5	0-13	склонный
«Талдинская-Западная-1»	4,25	5-20	склонный
«Талдинская-Западная-2»	4,2-5,5	9-12	склонный

На всех рассматриваемых шахтах применяется система разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками (базовая технология), представленная на рисунке 1.1. Более того, в настоящее время она применяется практически на всех шахтах в России [22].

Как следует из таблицы 1.1, большинство перспективных шахт отрабатывают пласты угля, отнесенного к склонному к самовозгоранию.

Далее приведена подробная информация по комплексно-механизированным забоям выемочных столбов на некоторых наиболее производительных шахтах Кузбасса, отрабатывающих пласты угля, склонного к самовозгоранию.

Шахта «им. А. Д. Рубана». В конце 2017 года введен в эксплуатацию участок пласта Полысаевский II «Магистральный». Вскрытие нового участка производилось из выработок участка пласта Надбайкаимский «Красноярский» наклонным стволом и квершлагами.

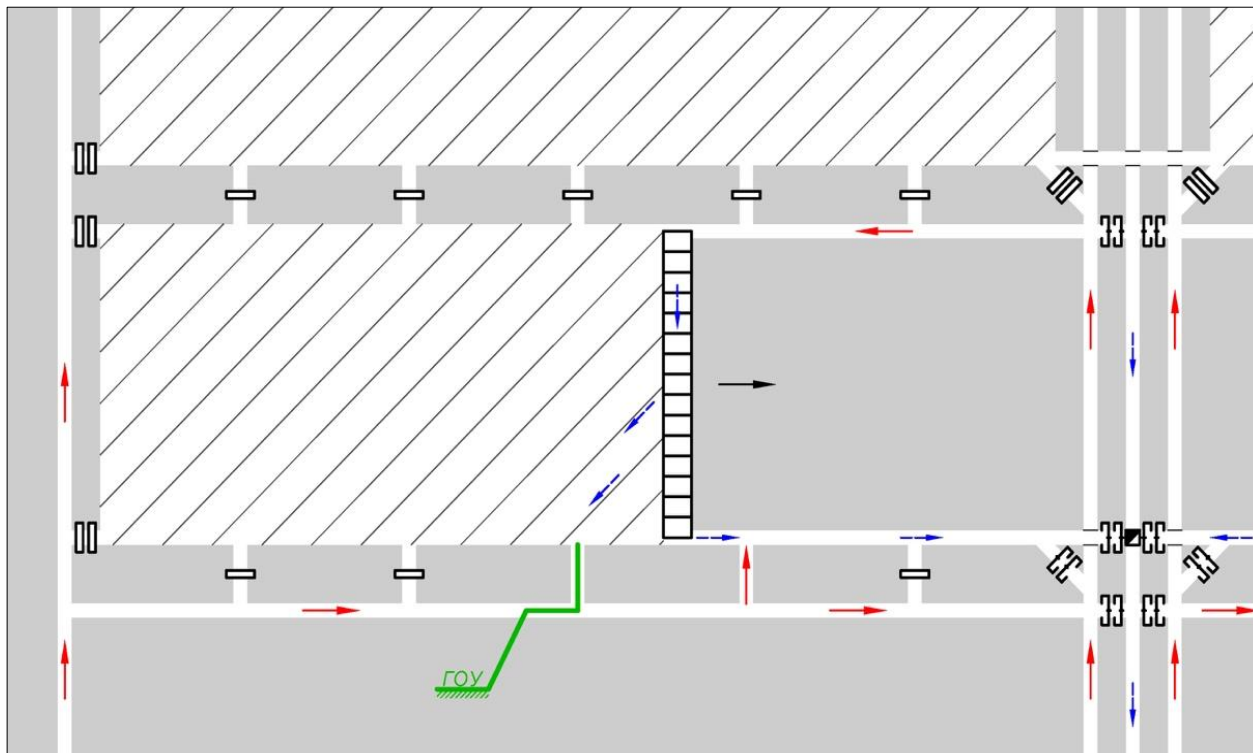


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема системы разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками и оставлением целиков в выработанном пространстве (базовая технология)

Проект предусматривает отработку запасов с применением базовой технологии, представленной на рисунке 1.1. План горных выработок показан на рисунке 1.2 [30]. Максимальные параметры выемочных столбов — 300 x 2500 м. Схема проветривания — комбинированная.

Пласт Полысаевский II отрабатывается с применением механизированной крепи TAGOR-24/50, очистного комбайна SL-500, скребкового конвейера DBT PF-4/1032, перегружателя DBT PF-4/1132 и дробилки DBT SK 1111. Для отработки запасов пласта Надбайкаимский предусмотрено применение механизированной крепи МКЭ 2Ш-13/27, выемочного комбайна Eickhof SL-300, лавного конвейера DBT PF-4/1032, перегружателя DBT PF-4/1132 и дробилки DBT SK 11/11.

Средняя вынимаемая мощность пласта Польшаевский II составляет 4,6-5 м, пласта Надбайкаимский — 2,4-2,7 м. Производственная мощность шахты — 5,5 млн. тонн угля в год (3 млн. тонн — с участка «Магистральный», 2,5 млн. тонн — с участка «Красноярский»).

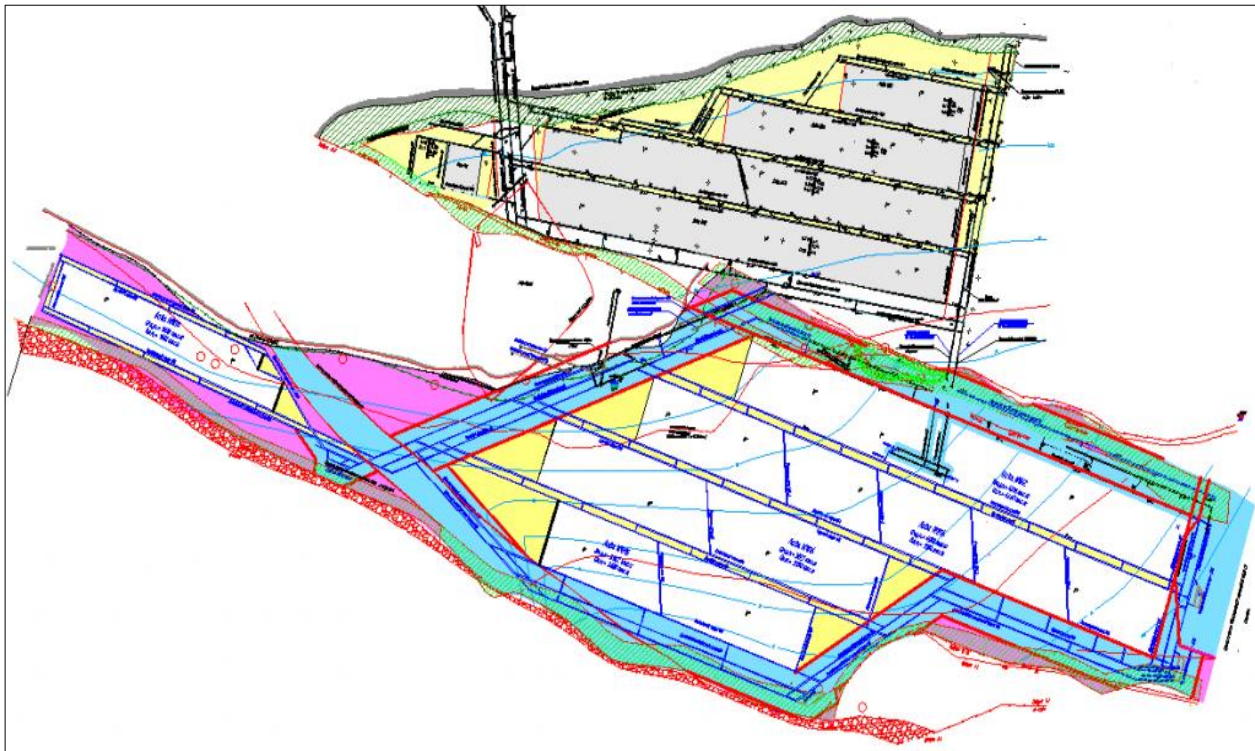


Рисунок 1.2 – План горных выработок по пласту Польшаевский II  
(шахта им. А.Д. Рубана) [30]

Доставка угля из очистного забоя по выработкам и до поверхности осуществляется ленточным конвейером.

Шахта «Галдинская-Западная-2». В середине 2017 года для доработки запасов в 4 млн. тонн пласта 70 введена в эксплуатацию лава №70-10, после завершения работы которой в отработку будет принят пласт 69.

Выемочные столбы отработываются с применением базовой технологии, представленной на рисунке 1.1. Максимальные параметры выемочных столбов — 300 x 3000 м. Схема проветривания — комбинированная.

Отработка производится высокопроизводительным механизированным комплексом JOY RS25/55, включающим очистной комбайн Eickhof SL-500, скребковый конвейер DBT PF-4/1132, перегружатель DBT PF-4/1142 и дробилку DBT SK 1111.

Средняя вынимаемая мощность пласта 70 составляет 4,2 м, мощность пласта 69 составляет 5,5 м. Диапазон раздвижки секции крепи составляет от 2,5 до 5,5 м и позволяет применять имеющийся на шахте механизированный комплекс для отработки запасов пласта 69.

Шахта «им. В. Д. Ялевского». Шахта образована путем объединения сети горных выработок шахт, ранее входивших в шахтоуправление «Котинское». Горный отвод шахты включает в себя мощные пологие пласты Соколовского угольного месторождения — 50, 51, 52.

Шахта неоднократно устанавливала мировые рекорды по месячной производительности одного очистного забоя: в августе 2016 года из лавы 50-02 был добыт 1 млн. 50 тыс. тонн угля, в мае 2017 года из лавы 50-03 был добыт 1 млн. 407 тыс. тонн угля, а в августе 2018 из лавы 50-04 был добыт 1 млн. 627 тыс. тонн угля.

Добиваться рекордной производительности удавалось при реализации базовой технологии, представленной на рисунке 1.1. План горных выработок показан на рисунке 1.3 [8].

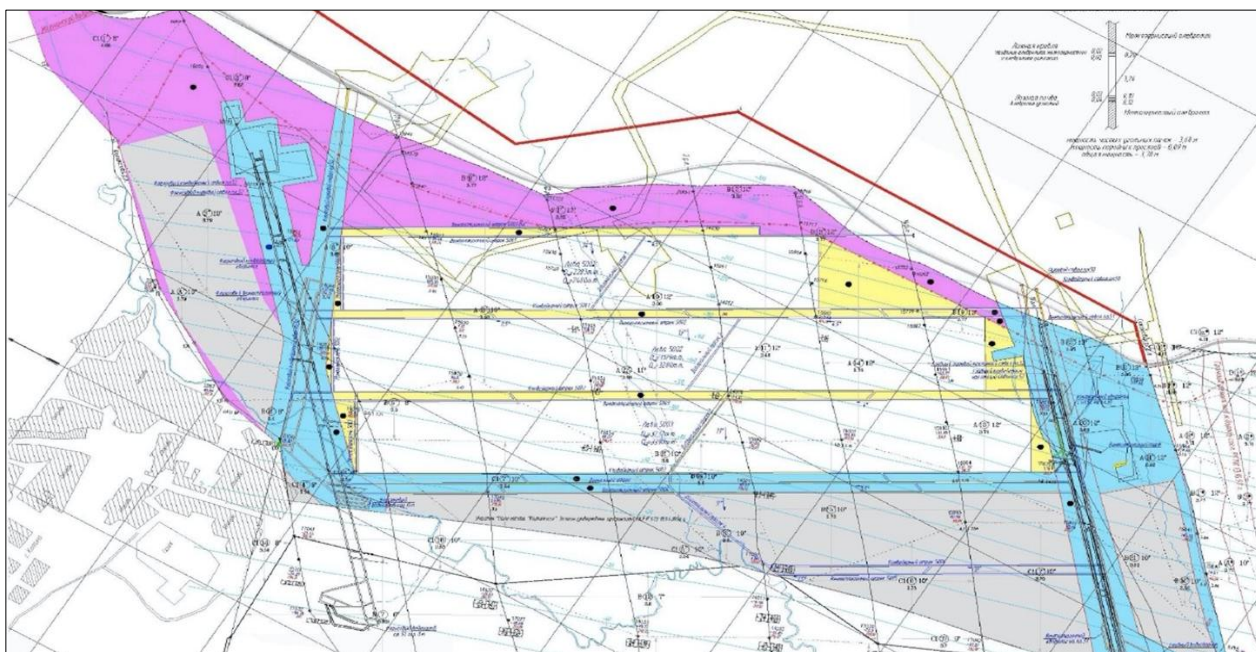


Рисунок 1.3 – План горных выработок по пласту 50  
(шахта им. В. Д. Ялевского) [8]

Максимальные параметры выемочных столбов — 400 x 3500 м. Схема проветривания — комбинированная.

Выемочные столбы обрабатываются с применением механизированной крепи DBT 220/480 и 2400/5000, очистного комбайна Eickhof SL-500, скребкового конвейера DBT PF-6/1142, перегружателя DBT PF-6/1342 и дробилки DBT SK 1114.

Доставка угля из очистного забоя по выработкам и до поверхности осуществляется с использованием ленточных конвейеров 4ЛЛТ-1400 и 5ЛЛТ 1600СД.

Средняя вынимаемая мощность пластов 50 и 52 составляет 3,8 и 4,5 м соответственно. Производственная мощность шахты — 9 млн. тонн угля в год.

Анализируя опыт работы действующих шахт, обрабатывающих пласты угля, склонного к самовозгоранию, можно сделать вывод, что подготовка выемочных столбов в подавляющем большинстве случаев производится сведенными выработками: одна из них погашается за лавой, а вторая используется при отработке смежного столба [21, 81]. Таким образом, в границах шахтного поля между выемочными столбами остаются ленточные целики, показанные на рисунке 1.3, способные не разрушаться при воздействии на них веса вышележащих горных пород.

При применении базовой технологии, представленной на рисунке 1.1, удастся наиболее эффективно управлять газовыделением на выемочном участке известными в настоящее время средствами дегазации (скважинами с поверхности и из горных выработок применительно к выработанному пространству, обрабатываемому пласту и пластам-спутникам), а также использовать прогрессивную схему проветривания выемочного участка с изолированным отводом части метановоздушной смеси через выработанное пространство с помощью газоотсасывающих установок (далее — комбинированная схема проветривания). Возможность использования указанных средств газуправления позволяет практически исключить влияние газового фактора на работу очистного забоя, что, в свою очередь, положительно отражается на ее стабильности и производительности.

Кроме того, оставление целиков дает возможность крепить участковые подготовительные выработки на весь срок службы только анкерной крепью, что положительно сказывается на скорости и стоимости их проведения.

Совокупность указанных факторов и наличие тенденции к увеличению размеров выемочных столбов позволяют реализовать принцип «шахта-лава» как основу формирования топологии шахт, при котором вся добыча производится в одном очистном забое. Этот принцип характеризуется высоким уровнем пространственной концентрации горных работ и минимальными издержками производства.

При этом существенно возрастают требования к стабильной работе единственного очистного забоя, так как в случае его длительного простоя шахта не имеет возможности вести добычу на других участках и, как следствие, будет нести существенные убытки.

Основные недостатки базовой технологии, представленной на рисунке 1.1, связаны с оставлением в выработанном пространстве целиков угля.

*Эндогенная пожароопасность.* Очаги самовозгорания в шахтах чаще всего возникают в выработанном пространстве [41]. Условия, достаточные для формирования очагов самовозгорания, возникают в краевых частях целиков, воспринимающих воздействие опорного горного давления. Вследствие этого краевые части целиков разрушаются и образуют скопление массы раскрошенного угля. Так как одна из характеристик раскрошенного угля — это низкая теплопроводность, то тепло, выделяемое в процессе самонагрева угля, почти не отводится в окружающее пространство, благодаря чему температура очага самовозгорания постепенно повышается [46].

*Увеличение выбросо- и удароопасности сближенных пластов.* Целики угля, оставленные в выработанном пространстве, образуют зоны повышенного горного давления (ПГД). При отработке сближенных пластов свиты сформированные зоны ПГД могут повлиять на условия отработки надработанных и подработанных пластов [21]. Чаще всего влияние зон ПГД проявляется в снижении устойчивости выработок, а также в виде внезапных выбросов угля и газа или горных ударов.



*Эксплуатационные потери.* При глубине горных работ более 300 м ширина целиков угля между выемочными участками может превышать 40 метров. При этом глубина отработки пластов ежегодно увеличивается на 25-30 м [21], что приводит к увеличению ширины целиков. Кроме этого, сформированные зоны ПГД могут приводить участки сближенных пластов в состояние, при котором их отработка невозможна или нецелесообразна. Таким образом, оставление целиков в выработанном пространстве сказывается на увеличении потерь высококачественного угля ликвидных марок, которые могут достигать 15-20% от балансовых запасов.

## **1.2. Условия развития самовозгорания угля в шахтах**

Самовозгорание горючих материалов происходит посредством их окисления в условиях доступа к достаточному количеству кислорода. Для развития описанного процесса необходимы условия теплообмена, при которых материал вырабатывает большее количество тепла, чем теряет в окружающее пространство [60].

Очаги эндогенных пожаров в угольных шахтах чаще всего возникают в выработанном пространстве лав. Между отработанными участками остаются неизвлекаемые целики угля, оконтуривающие выемочный столб, на которые воздействует опорное горное давление, разрушая их краевые части. Вследствие описанного процесса вдоль целиков образуются скопления раскрошенного угля. Доступ кислорода к активным центрам таких скоплений обеспечивают неизбежные утечки воздуха из очистного забоя при применении комбинированной схемы проветривания. Минимальные потери тепла, выделяемого при нагревании угля, обеспечиваются его низким коэффициентом теплопроводности и ограниченным пространством, в котором формируются очаги самовозгорания. Постепенное повышение температуры приводит к переходу процесса самонагревания в процесс самовозгорания, при котором сформированный очаг может стать причиной взрыва метановоздушной смеси [14, 33, 46, 61, 69].

Склонность угля к самовозгоранию определяется его химическим составом и физическими свойствами, но анализ существующих исследований показывает, что к настоящему времени единое мнение о причинах самовозгорания угля еще не сформировано [11].

К основным причинам выделения тепла углем относят наличие в нем пирита и фенольных групп, а также процесс жизнедеятельности бактерий. Однако практический опыт работы угольных шахт и лабораторные эксперименты не подтверждают эти предположения. Так, известны случаи формирования очагов самовозгорания в скоплениях угля с низким содержанием пирита или в образцах с предварительно уничтоженными бактериями [27, 31, 68, 72].

Также неоднозначно влияние увлажнения угля на его склонность к самовозгоранию. Вода может служить катализатором химической активности угля за счет раскрытия трещин образцов угля при его разбухании и последующем высыхании [7, 36, 59, 82]. При этом установлено снижение скорости сорбции кислорода углем за счет заполнения его пор и образования на поверхности пленки из воды. Дополнительный эффект оказывает потеря углем тепла, выделяемого на испарение жидкости [71, 73]. При снижении температуры угля наблюдается снижение его химической активности, что показано на рисунке 1.4 [11], и закономерное увеличение инкубационного периода самовозгорания, что отражает рисунок 1.5 [33].

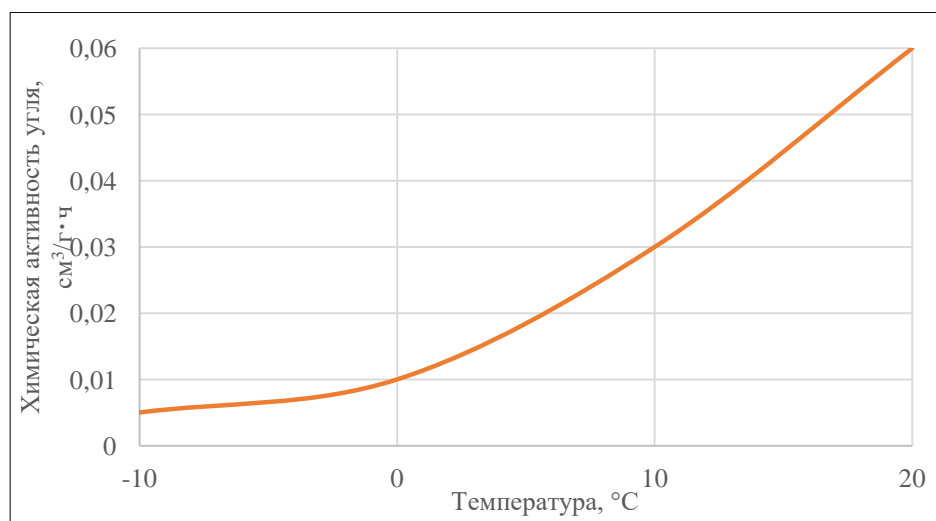


Рисунок 1.4 – График зависимости химической активности угля от температуры [11]

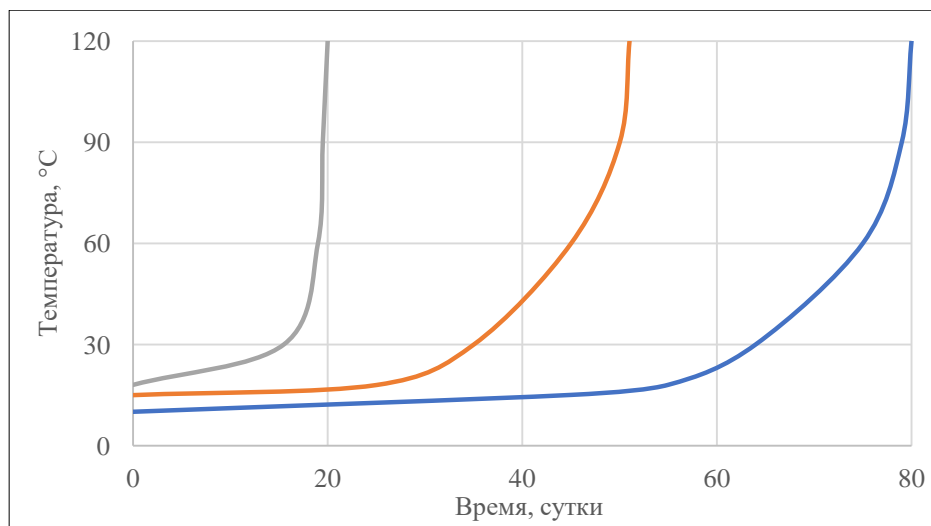


Рисунок 1.5 – График изменения температуры угля во времени в процессе самовозгорания [33]

К образованию пленки на поверхности угля, снижающей его сорбционную способность, помимо увлажнения приводит и длительный контакт с кислородом, при котором она формируется из продуктов окисления. Это характерно для угля в зонах выветривания у земной поверхности. В таком случае его увлажнение может стать причиной разрушения защитного слоя и возобновления контакта кислорода с углем, что, в свою очередь, увеличивает риск возникновения эндогенного пожара.

Помимо температуры, химическая активность угля может зависеть от степени его метаморфизма, пористости и наличия включений [31]. С увеличением степени метаморфоза сорбционная активность угля снижается. Угли с пористой структурой более активны, чем с плотной [11].

Также высокую химическую активность может иметь уголь в зонах, разгруженных от горного давления, таких как места геологических нарушений или горные выработки отработанных участков. Для описанных условий характерно наличие полостей от высвободившегося метана, представляющих собой поверхности угля с высокой пористостью.

Широкое применение комбинированной схемы проветривания обосновывается доступом кислорода к угольным скоплениям только на период меньше инкубационного [53]. При этом до настоящего времени нет единого мнения о влиянии скорости фильтрующегося через угольные скопления воздуха

на интенсивность формирования очага самовозгорания. Для каждого отдельного случая будет существовать скорость движения воздуха, при которой повышение температуры угля во времени будет максимальным. Отклонение в большую или меньшую сторону от нее будет тормозить процесс развития эндогенного пожара. Такое значение скорости движения воздуха будет зависеть от физико-химических свойств угля, температуры и размера его скоплений и других факторов.

В отдельных случаях очаг самовозгорания может развиваться только за счет молекулярной диффузии кислорода, в процессе которой достигается температура, достаточная для подвода воздушных потоков к очагу самовозгорания за счет тепловой депрессии [23].

Необходимо отметить тот факт, что при больших объемах или скоростях воздушных потоков, которые доставляют кислород к скоплениям раскрошенного угля, возрастает не только количество выделяемого тепла, но и его отвод от очагов самовозгорания, затормаживая таким образом процесс развития эндогенного пожара.

О влиянии глубины горных работ на эндогенную пожароопасность также существуют противоречивые мнения. Рост опасности формирования очагов самовозгорания с увеличением глубины горных работ может быть связан с повышением температуры угля и горных пород [3, 38]. Снижение опасности возникновения эндогенного пожара связывают с увеличением газоносности угольных пластов на более глубоких горизонтах, при котором уменьшается концентрация кислорода в выработанном пространстве лав. В таких условиях угольные скопления имеют низкую скорость окисления из-за отсутствия достаточного количества кислорода [74].

При увеличении мощности разрабатываемых пластов увеличиваются эксплуатационные потери угля и утечки воздуха в выработанное пространство лав, что может увеличивать опасность возникновения очагов самовозгорания.

С увеличением угла падения пласта и в местах геологических нарушений снижается скорость подвигания очистного забоя, что может также сказаться на повышении эндогенной пожароопасности.

При разработке сближенных пластов угля возрастает опасность образования аэродинамической связи между отработанными и действующим участками, из-за чего увеличивается опасность возникновения очагов самовозгорания.

В последние годы взрыв метана стал основным видом аварий на высокопроизводительных шахтах, отрабатывающих пласты угля, склонного к самовозгоранию, с применением системы разработки длинными столбами и комбинированной схемы проветривания. Часто источником воспламенения метана становятся искрение при трении обрушающихся пород кровли, поврежденные электрические кабели и другие случайные стечения обстоятельств. Очаги самовозгорания не рассматриваются как источник воспламенения метана, если авария произошла при относительно высокой скорости подвигания очистного забоя (более 90 метров в месяц) и отсутствии концентраций монооксида углерода выше ПДК в пробах воздуха на выходе из выработанного пространства [61].

Анализируя сложившуюся ситуацию, необходимо отметить тот факт, что при использовании комбинированной схемы проветривания через выработанное пространство отводится до 40% от всего количества воздуха, поступающего к очистному забою [69]. Это сказывается не только на увеличении опасности возникновения очагов самовозгорания в выработанном пространстве действующего очистного забоя, но и на разбавлении выделяющегося угарного газа при их формировании. Таким образом, датчики, анализирующие состав струи воздуха на выходе из выработанного пространства, могут некорректно оценивать содержание в пробе газа СО и других индикаторных газов. По этой причине очаги самовозгорания в выработанном пространстве зачастую не могут быть обнаружены на ранней стадии и проявляются только в виде взрывов метана.

На рисунке 1.6 [41] показано, что при использовании базовой технологии с подготовкой столбов сдвоенными выработками 1 и 2 и применении комбинированной схемы проветривания, очаги самовозгорания чаще всего формируются в целиках угля 3 в зонах у вентиляционных сбоек 4 и в краевых

частях со стороны выработанного пространства – в зоне хрупкого разрушения угля [61].

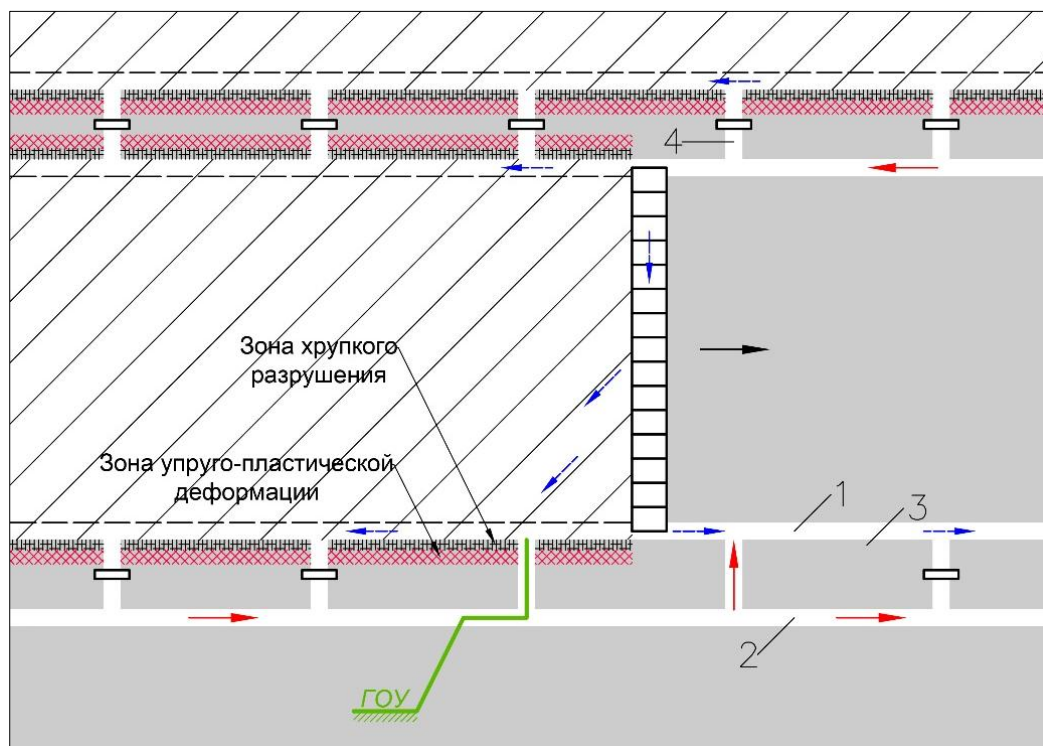


Рисунок 1.6 – Зоны формирования очагов самовозгорания в границах выемочного участка [41]

Очаги самовозгорания в краевых частях целиков чаще всего формируются из-за воздействия на них опорного горного давления, которое увеличивается со скоростью подвигания очистного забоя [65].

На рисунке 1.7 [41] показано, как под влиянием горного давления краевые части угольных целиков разрушаются, формируя скопления раскрошенного угля. Одновременно с этим температура угля в зоне упругой деформации целиков, удаленной от плоскости обнажения на 2,5-5,0 м, повышается на 25-35 градусов, относительно температуры окружающего массива [61]. Возникающая тепловая депрессия обеспечивает приток воздушных потоков и способствует развитию очага самовозгорания. Кроме того, нагретый уголь способен длительное время сохранять температуру, даже в условиях отсутствия кислорода.

В зонах у вентиляционных сбоек очаги самовозгорания чаще всего формируются из-за установления аэрологической связи между разделенными целиком угля воздухоподающей выработкой действующего выемочного участка и

выработанным пространством отработанного выемочного участка. Описанный процесс обусловлен формированием в массиве горных пород по контурам воздухоподающей выработки и вентиляционной сбойки зоны дезинтеграции [41]. В местах сопряжения штрека с вентиляционными сбойками происходит наложение зон дезинтеграции и по разупрочненному воздухопроницаемому массиву устанавливается аэрологическая связь, что показано на рисунке 1.8 [41].

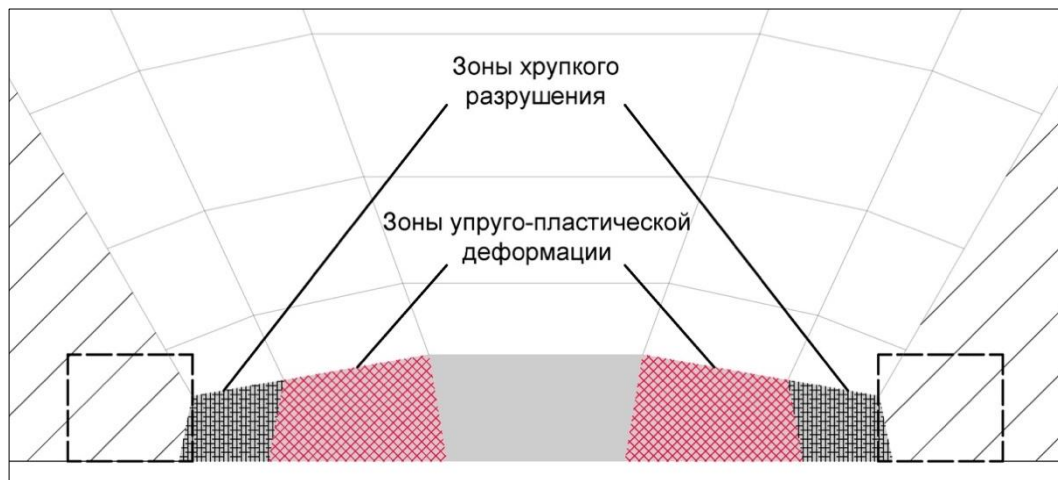


Рисунок 1.7 – Зоны деформаций и разрушения целика угля на границе с выработанным пространством [41]

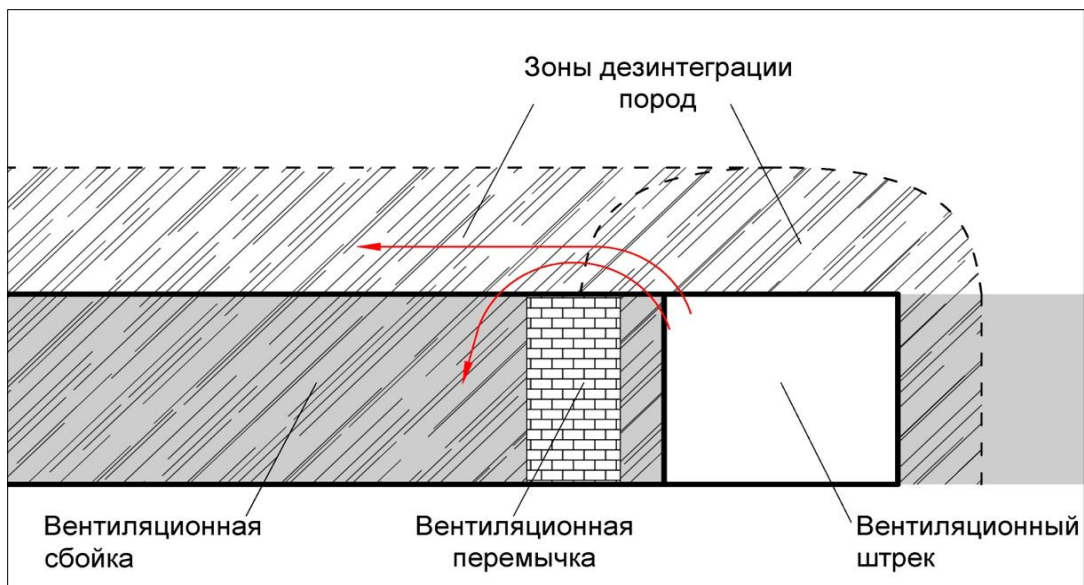


Рисунок 1.8 – Утечки воздуха на сопряжении воздухоподающей выработки и вентиляционной сбойки [41]

Таким образом, раскрошенные скопления угля краевых частей целиков и нагретый уголь в зонах упругой деформации обеспечиваются достаточным

количеством воздуха для окисления и формирования очагов самовозгорания, что отражено на рисунке 1.9 [41].

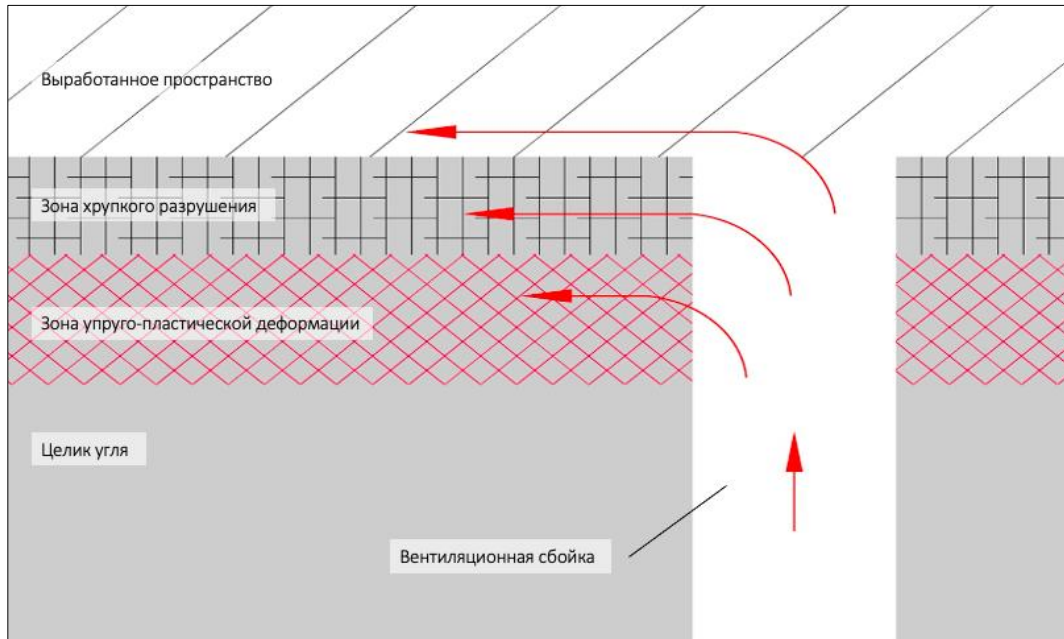


Рисунок 1.9 – Сопряжение сбойки с выработанным пространством [41]

Возникший очаг самовозгорания может развиваться в направлении поступающего воздуха и, достигнув внешней кромки целика в выработанном пространстве, может стать причиной взрыва метана.

Учитывая современную тенденцию к увеличению длины выемочных столбов и соответствующее увеличение числа вентиляционных сбоек между участковыми выработками, можно констатировать увеличение потенциально-опасных зон формирования очагов самовозгорания.

При этом наибольшую опасность составляют выемочные участки, на которых вентиляционные сбойки между штреками проводят по диагонали. На рисунке 1.10 показано, что в этом случае краевые части целиков угля в выработанном пространстве имеют остроугольную форму и больше подвержены влиянию горного давления.

Общими причинами возникновения очагов самовозгорания угля на действующих шахтах, случаи которых были расследованы и официально зарегистрированы как эндогенные пожары в последние годы, являются оставление целиков угля между выемочными участками, влияние на них горного давления и утечки воздуха по вентиляционным перемышкам между участковыми



штреками. Данные выводы подтверждаются результатами многочисленных шахтных и лабораторных исследований В. А. Скрицкого, В. Н. Опарина, В. А. Портолы, Ли Хи Уна и др [41, 42, 46, 61, 69].

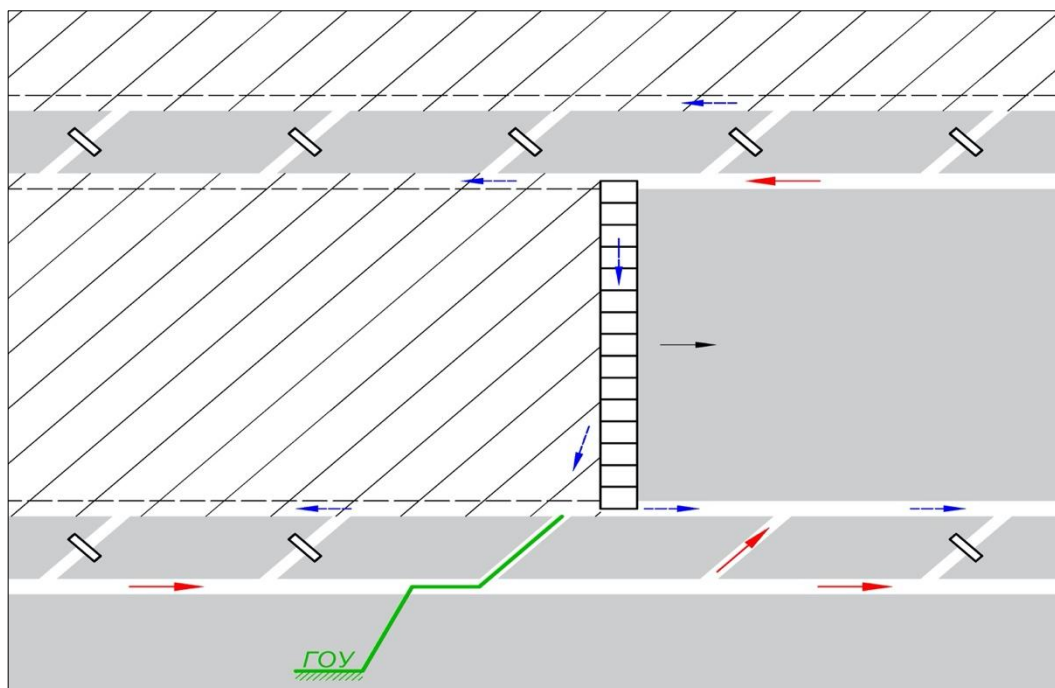


Рисунок 1.10 – Диагональные вентиляционные сборки между участковыми штреками

Причиной вспышки метана в выработанном пространстве на шахте «Распадская» 6.05.2013 г. стал очаг самовозгорания в краевой части целика. При расследовании аварии было выявлено наличие аэродинамического канала вдоль конвейерного штрека, по которому в выработанное пространство лавы поступал значительный объем воздуха.

Причиной взрыва метановоздушной смеси на шахте «Большевик» 28.07.2013 г. стал очаг самовозгорания угля в деформированной под воздействием горного давления краевой части целика у вентиляционной сбойки [69].

Эндогенный пожар у вентиляционной сбойки на шахте «им. В. И. Ленина» 07.04.2018 г. также был связан с утечками воздуха по трещинам в краевых частях целика к скоплениям раскрошенных масс угля.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что на опасность формирования очагов самовозгорания угля влияет большое количество факторов. Как показывает практический опыт современных шахт, применяющих

высокопроизводительные технологии подземной добычи угля, оставление целиков угля между выемочными участками увеличивает опасность возникновения эндогенных пожаров.

### 1.3. Оценка нормативных требований при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию

В условиях рыночной экономики важной задачей является повышение производительности действующих шахт путем увеличения нагрузки на очистной забой и концентрации горных работ при одновременном снижении аварийности и повышении безопасности. Следуя этой стратегии, начиная с 1993 года, по программе реструктуризации на территории Кузнецкого угольного бассейна были ликвидированы наиболее опасные шахты.

Анализируя статистику известных инцидентов, связанных с самовозгоранием угля на шахтах Кузнецкого бассейна, можно сделать вывод, что эффект от реструктуризации был практически исчерпан к 2001 году, что отражено на рисунке 1.11 [70].

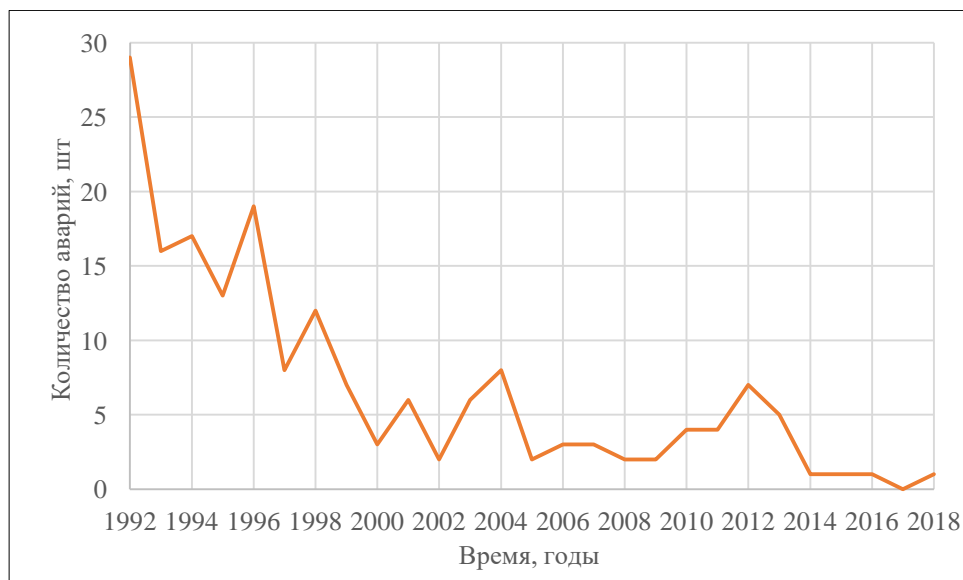


Рисунок 1.11 – Статистика инцидентов, связанных с самовозгоранием угля на шахтах Кузбасса [70]

Начиная с этого момента и по настоящее время, безопасность ведения горных работ по пластам угля, склонного к самовозгоранию, зависит от действующей нормативной базы и ее научного обеспечения.

Рост нагрузок на очистной забой сделал очевидной необходимость совершенствования существующих положений по предотвращению эндогенных пожаров в шахтах. Опыт работы Кузбасса показал, что меры снижения газового фактора и профилактики самовозгорания угля противоречат друг другу. Работе высокопроизводительной лавы сопутствует большое количество воздуха, подаваемое в очистные и подготовительные выработки, применяется газуправление через выработанное пространство и пропорционально скорости подвигания очистного забоя возрастает влияние горного давления на оконтуривающие выемочный столб целики угля. Эти и другие причины негативно сказываются на вероятности возникновения очагов самовозгорания в выработанном пространстве шахт.

Для снижения эндогенной пожароопасности на шахтах с высокопроизводительными очистными забоями в период с 2012 по 2016 год были разработаны новые и усовершенствованы существующие нормативные документы [70].

В 2012 году было издано «Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах» [48], регулирующее контроль рудничной атмосферы в целях обнаружения подземных пожаров. В Положении регламентируется методика расчета воздуха и выделяемого оксида углерода и методика определения индикаторных газов.

Отвод метановоздушной смеси из очистного забоя по выработанному пространству через газоотводящие сбойки и скважины был регламентирован также в 2012 с вступлением в действие «Инструкции по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок» [53].

Влияние утечек воздуха в выработанное пространство на эндогенную пожароопасность учитывается пунктом №78, которым устанавливается расстояние между газоотводящими сбойками и скважинами в зависимости от подвигания очистного забоя за инкубационный период самовозгорания угля. Определение инкубационного периода угля регламентируется Приложением №12

описанной инструкции. Такое требование призвано минимизировать время поступления кислорода к раскрошенным скоплениям угля краевых частей целиков и не позволить перейти низкотемпературному окислению в стадию самонагрева. Кроме того, инструкцией рекомендуется использование аэрозолей омагниченной воды, антипирогенов и других средств для дезактивации потерь угля в выработанном пространстве [53].

Также при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, пунктом №80 инструкции [53] регламентируется оставление целиков между выемочными участками.

С 2013 года определены общие правила установления склонности угля к самовозгоранию, которые регламентируются «Инструкцией по определению инкубационного периода самовозгорания угля» [51]. Начиная с этого момента, действие других аналогичных инструкций было отменено.

В 2016 году в инструкцию были внесены изменения и исключено понятие «уголь, весьма склонный к самовозгоранию». Это позволило однозначно трактовать требования федеральных нормативных документов по части выбора средств и способов профилактики эндогенных пожаров [70].

В 2015 году на смену утратившему актуальность «Руководству по изоляции отработанных участков, временно остановленных и неиспользуемых горных выработок в шахтах» 1977 года в действие была введена «Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах» [50].

Новая инструкция имеет федеральный статус и позволяет органам Ростехнадзора осуществлять контроль качества и своевременности изоляции по единому порядку для всех предприятий. Для контроля прочностных параметров взрывоустойчивых перемычек инструкцией предусмотрен неразрушающий контроль.

В действующие «Правила безопасности в угольных шахтах» от 2013 года [54] практически ежегодно вносятся изменения и дополнения. В 2015 году изменения коснулись вскрытия и подготовки пластов угля, склонного к

самовозгоранию, которые до этого момента, согласно пункту правил №478, было возможно осуществлять только полевыми выработками.

Изменения, вступившие в силу, снимают существовавшее ранее ограничение и позволяют осуществлять вскрытие и подготовку как полевыми, так и пластовыми выработками с применением мер, обеспечивающих безопасное ведение горных работ в части предупреждения эндогенных пожаров.

Необходимо отметить тот факт, что до вступления изменений в законную силу большое количество шахт не выполняло требования описанного пункта и проводило вскрывающие и подготовительные выработки по пластам.

Пунктами правил [54] №479 и №481 устанавливается необходимость оставления целиков между выемочными участками при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию.

Окончательное деление пластов на две основные категории «склонные к самовозгоранию» и «несклонные к самовозгоранию», а также право проводить пластовые вскрывающие и подготовительные выработки были закреплены в «Инструкции по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля» [52] 2016 года.

Инструкция получила общероссийский статус и отменила действие бассейновых инструкций [70]. Единые правила включили в себя комплекс эффективных мер по профилактике эндогенных пожаров. Одновременно с этим контролирующие органы предъявляют ко всем шахтам в стране, отрабатывающим пласты угля, склонного к самовозгоранию, единые требования по этапам прогноза, профилактики, обнаружения, локализации и тушению эндогенных пожаров.

Оставление целиков в выработанном пространстве лав регламентируется пунктом №10 инструкции [52].

#### **1.4. Направления совершенствования технологий обработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию**

При оценке направлений совершенствования технологий добычи угля следует учитывать государственную стратегию модернизации угольной отрасли. Ее основные положения отражены в «Программе развития угольной промышленности России на период до 2030 года» от 21.06.2014 г. [49]. Целевыми индикаторами этой программы являются повышение конкурентоспособности угольных компаний через увеличение производительности труда при одновременном повышении уровня промышленной и экологической безопасности. Исходя из этого, основные критерии при разработке новых и совершенствовании существующих технологий — это возможность обеспечения высокой нагрузки на очистной забой, снижение опасности возникновения эндогенного пожара и экономическая эффективность.

Базовая технология, представленной на рисунке 1.1, применяемая в настоящее время, обеспечивает высокую нагрузку на очистной забой благодаря эффективному управлению газовыделением на выемочном участке. Исключение влияния на работу очистного забоя газового фактора и наиболее полное использование потенциала современных механизированных комплексов обеспечивается оставлением неизвлекаемых целиков угля между выемочными участками. Кроме того, целики угля позволяют крепить участковые выработки анкерной крепью на весь срок службы, чем в совокупности с высокой производительностью и обусловлена экономическая эффективность применяемой базовой технологии.

Одновременно с тем, что целики угля являются основным инструментом в достижении высокой производительности и экономической эффективности применяемой базовой технологии, они же являются основной причиной формирования очагов самовозгорания, увеличения выбросо- и удароопасности сближенных пластов, а также составляют значительные эксплуатационные потери и негативно влияют на возможность обработки сближенных пластов. На рисунке 1.12 [21] показано, что при увеличении глубины ведения горных работ

увеличивается и ширина оставляемых целиков, что неизбежно сказывается на увеличении негативного влияния целиков по всем описанным аспектам [21].

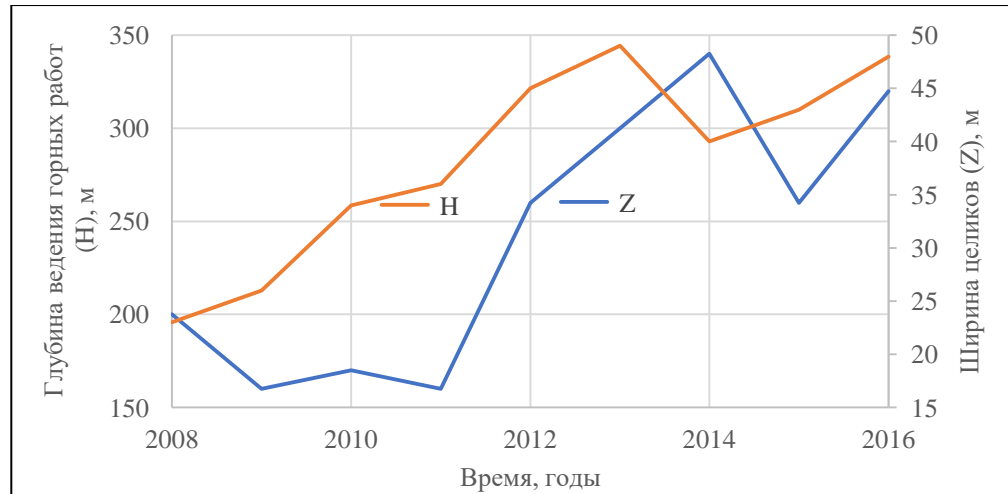


Рисунок 1.12 – График зависимости ширины межстолбовых целиков угля Z от глубины ведения горных работ H [21]

Перспективы развития и повышение конкурентоспособности угольных компаний связаны с эффективностью отработки ранее надработанных или подработанных пластов угля. Применяя существующую базовую технологию, представленную на рисунке 1.1, при этом сохраняя и увеличивая производительность, угольные шахты уже в ближайшие 5-10 лет неизбежно столкнутся с проблемой отработки пластов в зонах влияния целиков, оставленных в выработанном пространстве отработанных сближенных пластов [21].

Оставленные целики способствуют образованию зон повышенного горного давления на сближенных пластах. Работа на таких участках осложнена повышенным риском горных ударов и внезапных выбросов. Кроме того, в зонах ПГД осложняются условия обеспечения удовлетворительного состояния участковых выработок — повышенное горное давление часто проявляется в виде опускания кровли или пучения почвы выработок. Также разный характер проявления горного давления по длине выемочного столба осложняет управление кровлей при очистных работах. Все вышперечисленное негативно сказывается как на эффективности, так и на безопасности ведения горных работ.

Сформированные зоны ПГД приводят сближенные пласты в состояние, при котором их нецелесообразно обрабатывать. Так, до 64% балансовых запасов угля

на действующих шахтах Кузбасса в настоящее время признаны неперспективными для освоения [2, 42]. При этом эксплуатационные потери угля в самих целиках при увеличении глубины ведения горных работ могут достигать 15-20% от балансовых запасов [21].

Помимо риска формирования очагов самовозгорания, оконтуривание выемочных участков целиками при высоких скоростях подвигания очистных забоев, которые достигаются современными механизированными комплексами, создает условия для зависания пород кровли в выработанном пространстве на большой площади.

Динамическая осадка образовавшейся консоли может проявиться выделением больших объемов метана и угольной пыли в очистную и участковые выработки. Последствиями таких явлений могут стать крупные аварии.

Результаты анализа показывают, что для увеличения безопасности и доли извлекаемых запасов в границах шахтного поля необходимо применять бесцеликовые системы разработки. При этом именно оставление целиков угля позволяет обеспечивать высокую производительность очистного забоя и эффективно применять анкерную крепь в участковых выработках.

Таким образом, для снижения эндогенной пожароопасности, эксплуатационных потерь и негативного влияния целиков на сближенные пласты, приоритетными направлениями совершенствования базовой технологии, представленной на рисунке 1.1, являются отработка целика после выполнения им основных функций, сооружение конструкций из искусственных материалов, на которые будут возложены основные функции целика, или комплексное применение описанных мер.

### **1.5. Опыт применения бесцеликовых технологий для отработки пологих пластов угля**

Применение бесцеликовых технологий при отработке пластов угля длинными столбами подразумевает под собой отработку запасов без оставления между выемочными участками целиков угля. На рисунке 1.13 показано, что при



реализации бесцеликовых технологий участковая выработка, прилегающая к отработанному выемочному участку, используется повторно с применением охранных сооружений или пройдена вприсечку к выработанному пространству в зоне установившегося горного давления.

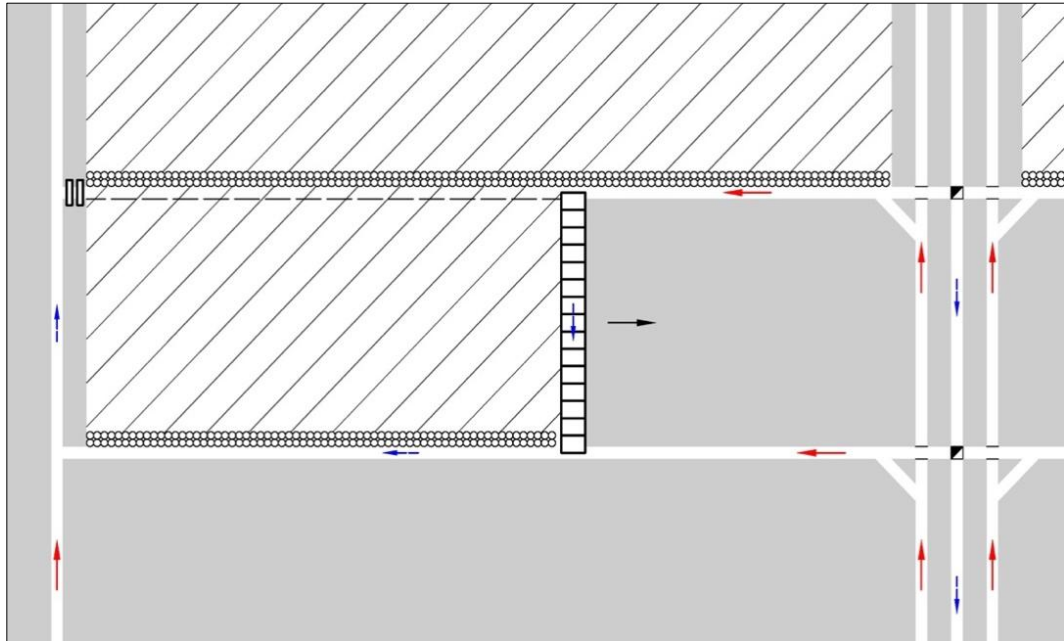


Рисунок 1.13 – Повторное использование выработок с применением охранных сооружений

Охранные сооружения предназначены для поддержания выработок в состоянии, при котором они обеспечивают нормальную работу очистного забоя на период отработки выемочного участка. Выбор способов охраны выработок при их повторном использовании основывается на минимизации негативного влияния горного давления на состояние выработки для конкретных горно-геологических условий [63].

Охрана выработок литыми полосами. Охрана выработки с применением литых полос, показанная на рисунке 1.14, основана на эффекте разгрузки массива путем переноса опорного горного давления на жесткую опору высокой прочности в виде литой полосы [57].

Основными достоинствами применения литых полос для охраны выработок являются высокий уровень механизации их возведения, высокая несущая способность, высокий уровень изоляции выработанного пространства и безопасность ведения работ на сопряжении с лавой.

Основным недостатком, сдерживающим широкое применение описанного способа, является высокая стоимость материалов для возведения литых полос. Кроме того, на пластах с низкой прочностью пород почвы может наблюдаться вдавливание литой полосы и пучение в охраняемой выработке.

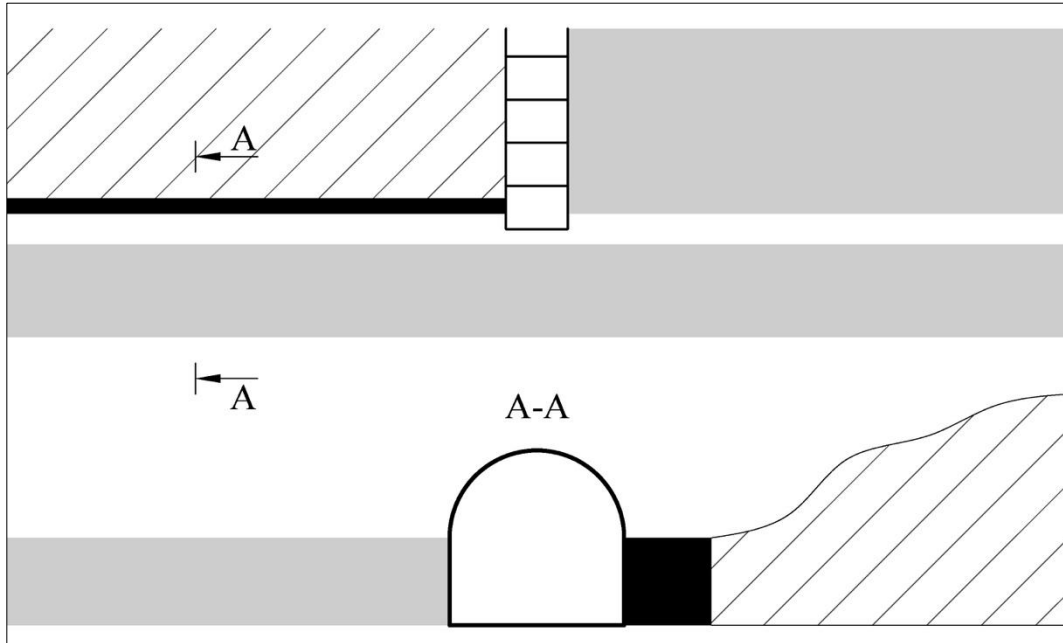


Рисунок 1.14 – Охрана выработки литой полосой

Для возведения литой полосы в выработанном пространстве из огранной крепи и других лесоматериалов формируется опалубка, которая заполняется твердеющим материалом. Для увеличения сроков набора полосой необходимой прочности возможна установка дополнительных рядов огранной крепи со стороны выработанного пространства.

Способ возведения литых полос без формирования опалубки успешно применялся на шахте «им. А. Ф. Засядько». Он заключается в выкладывании полосы из мешков с быстротвердеющей смесью «Текхард». Так как смесь обладает высокой гидрофильностью и не требует перемешивания, вода в мешки нагнетается через игольчатый иньектор и после затворения представляет собой высокопрочный бетон [19]. Описанный способ не получил широкого распространения из-за высокой стоимости смеси.

Альтернативным способом, позволяющим значительно снизить расход лесоматериалов при формировании опалубки, является применение прочных эластичных емкостей для заполнения твердеющим составом. Для этого в

выработанном пространстве на расстоянии равном ширине литой полосы устанавливается два ряда органной крепи. Шаг установки стоек определяется прочностью емкости и обычно не превышает 1 метра. Деревянные стойки соединяются между собой металлической сеткой, а в образовавшееся пространство помещают прочную эластичную оболочку — «мешок», который заполняют быстротвердеющим составом.

Охрана выработок породными полосами. Породную полосу для охраны горных выработок, показанную на рисунке 1.15, формируют в выработанном пространстве с использованием пневмозакладочных комплексов, скреперных установок или ручным способом.

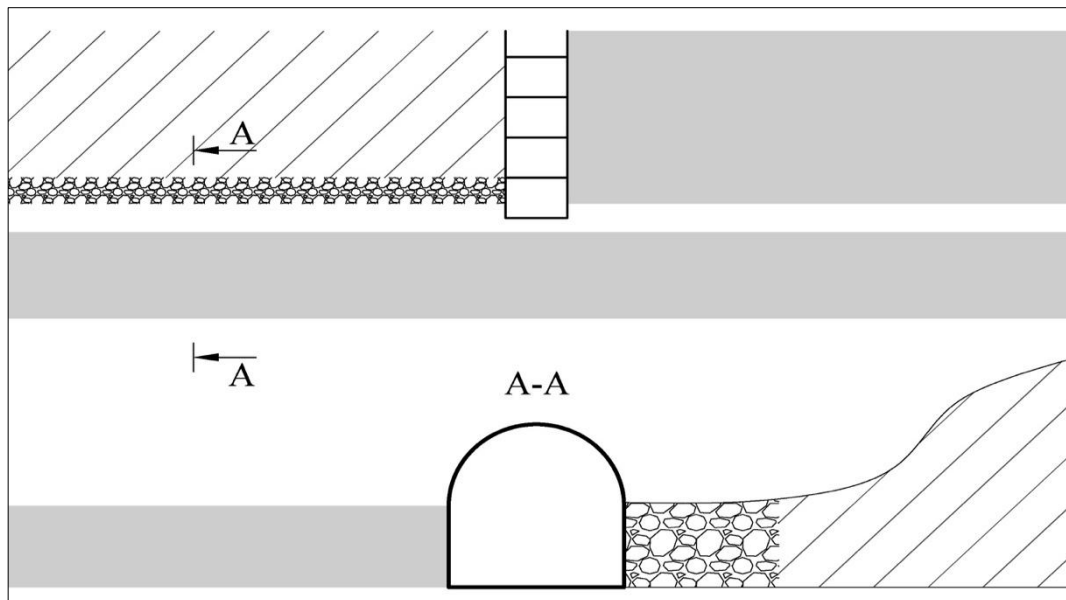


Рисунок 1.15 – Охрана выработки бутовой полосой

В зависимости от применяемого способа изменяется как скорость возведения породных полос, так и степень их усадки. Производительность пневмозакладочных комплексов достигает  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ , при этом усадка породных полос не превышает 25%. При использовании скреперных установок скорость возведения породных полос достигает  $15\text{-}20 \text{ м}^3/\text{ч}$ , но их усадка может достигать 40%. Усадка породных полос, возведенных вручную, составляет 50-60%, а производительность ручного труда при формировании породных полос зависит от множества факторов и применяется только в качестве дополнения к закладке с использованием пневмозакладочных комплексов и скреперных установок. С

увеличением усадки породной полосы возрастает опускание пород кровли над ней, что приводит к деформации охраняемой выработки.

Несмотря на низкую степень усадки, формирование породных полос с использованием известных в настоящее время дробильно-закладочных комплексов «Титан-1» и «Титан-1М» является дорогостоящим и сложным технологическим процессом, поэтому для возведения породных полос чаще применяются скреперные установки и ручной труд [19].

Снижение степени усадки породных полос возможно путем их формирования в выработанном пространстве с использованием гидродомкратов и исполнительных органов бульдозерного типа, которые устанавливаются на обратной стороне секций механизированной крепи и уплотняют породу в сформированной органной крепью емкости. Подача породы осуществляется конвейером со стороны охраняемого штрека [15, 39].

Основные способы увеличения прочностных параметров породных полос связаны с укладкой породы в ограничивающие емкости с применением твердеющих и расширяющихся заполнителей, а также с применением резиновых, тканевых и других прокладок между слоями породы [28, 29, 75].

В настоящее время известны различные способы формирования породных полос в выработанном пространстве при помощи буровзрывных работ. Их реализация предполагает отделение породы или породных блоков кровли и почвы отрабатываемого пласта. Обрушившиеся породы или блоки образуют породную полосу [17, 25, 32, 34, 35]. Однако процесс управления обрушением пород кровли является трудоемким. Кроме того, организация большого объема БВР оказывает негативное влияние и на экономическую эффективность применяемой технологии, и на безопасность ведения горных работ, особенно в условиях отработки газоносных пластов угля.

Охрана выработок породными полосами может быть эффективна при отработке пластов угля, мощностью до 1,5 метров, но даже в таких условиях процесс формирования породных полос является весьма трудоемким.

Охрана горных выработок кострами. На рисунке 1.16 показаны деревянные костры как способ охраны горных выработок. Они характеризуются низкой несущей способностью и достигают наибольшего сопротивления при усадке на 50%, что негативно сказывается на состоянии охраняемой выработки [25].

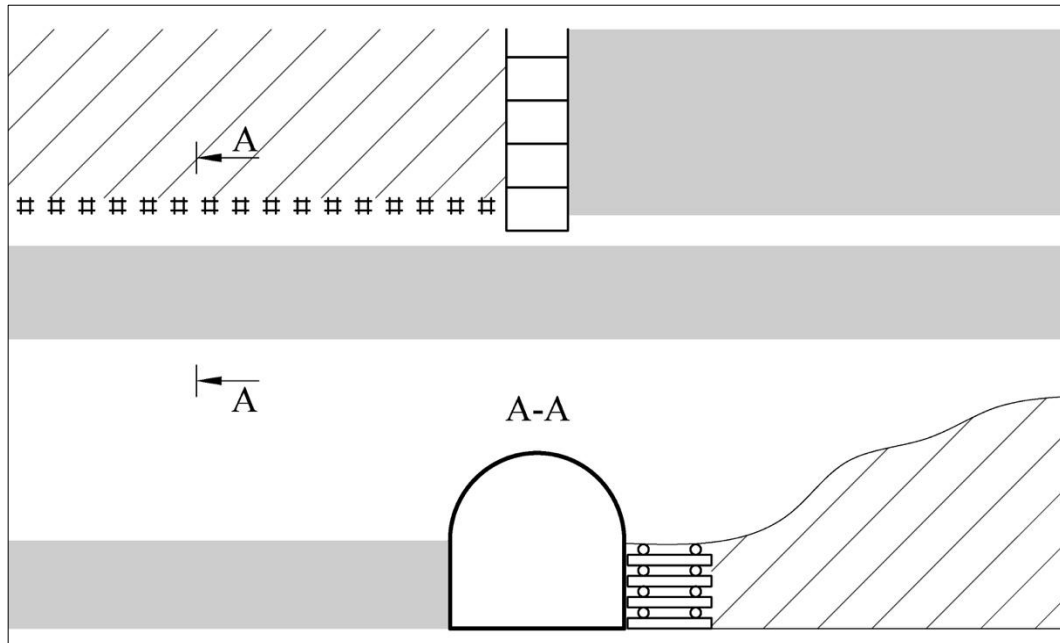


Рисунок 1.16 – Охрана выработки деревянными кострами

С учетом низкой несущей способности деревянные костры практически не применяются в чистом виде, а используются в качестве вспомогательного способа при охране горных выработок органной крепью или породными полосами.

Одним из наиболее распространенных вариантов сочетания деревянных костров и породных полос является заполнение породой полого пространства внутри костров. Сформированные таким образом бутокостры отличаются меньшей усадкой даже в сравнении с породными полосами, возведенными скреперной установкой. Преимуществом бутокостров перед органной крепью и литыми полосами является большая площадь опоры, которая позитивно сказывается на эффективности управления состоянием горного массива и состоянии охраняемой выработки. Следует отметить, что широкому применению бутокостров как способа охраны горных выработок препятствует значительная трудоемкость процесса их возведения.

В настоящее время известны различные способы увеличения несущей способности деревянных костров. Например, значительно снизить

конструктивную податливость возможно путем возведения костров из отрезков профиля СВП или железобетонных шпал при помощи ручных лебедок [6, 77]. Также на увеличении несущей способности положительно сказывается заполнение полого пространства внутри деревянных костров бетонными блоками призматической формы с использованием цемента как связующего вещества между ними [40, 43]. Кроме того, известны способы формирования накатных костров из отрезков высокопрочной рукавной ткани, заполненной породой или цементной смесью [24]. Также в качестве альтернативы деревянным кострам применяется выкладка на полную мощность пласта вдоль охраняемой выработки сплошной стены из шпального бруса [19]. Однако значительные трудозатраты на формирование таких охранных сооружений, высокая стоимость исходных материалов или совокупность этих причин не позволяют рассматривать описанные способы как перспективные.

Охрана горных выработок блоками и тумбами. В основу охраны горных выработок сооружениями из железобетонных блоков, аналогично охране литыми полосами, заложен эффект переноса опорного горного давления на жесткую опору — тумбу, что отражено на рисунке 1.17.

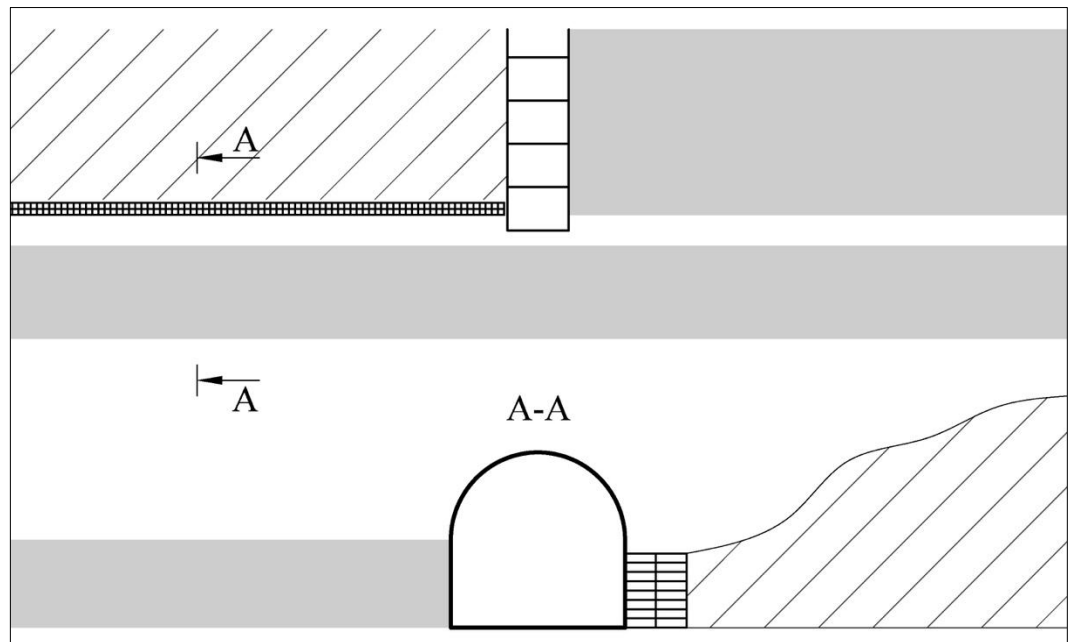


Рисунок 1.17 – Охрана выработки тумбами БЖБТ

Количество рядов БЖБТ определяется устойчивостью пород кровли обрабатываемого пласта, которая выражается шагом обрушения кровли и

величиной опорного горного давления. В отдельных случаях предусмотрено снятие первоначальной нагрузки с БЖБТ путем применения органной крепи со стороны выработанного пространства.

Податливость тумб может достигать 15%, но при слабых породах почвы и кровли возможно вдавливание в них тумб, что негативно сказывается на состоянии охраняемой выработки.

Наряду с высокой несущей способностью, способ охраны горных выработок с применением БЖБТ характеризуется высокой стоимостью материалов и трудоемкостью погрузочно-разгрузочных работ.

Одним из недостатков БЖБТ является возможность разрушения жесткой конструкции крепи с потерей несущей способности даже при небольших смещениях пород кровли и почвы. Для увеличения эффективности охраны горных выработок с применением БЖБТ возможно создавать между жесткими блоками прокладки из ДСП, распила, шпального бруса и других материалов, которые будут обеспечивать увеличение общей податливости охранной конструкции. В отдельных случаях увеличение податливости приводит к увеличению общей несущей способности конструкции в 2 раза [1].

Значительный вес блоков также негативно сказывается на экономической эффективности применения тумб из них как способа охраны горных выработок. Это выражается в высокой стоимости доставки материалов и трудоемкости погрузочно-разгрузочных работ. В целях решения задачи снижения веса блоков на шахтах применялись газобетонные, бетонокерамзитные и блоки из смеси бетона и деревянных опилок, а также золоцементные блоки из золошлаковых отходов и породные блоки, изготовленные из породы терриконов на поверхности шахты [18, 26, 62].

Снизить затраты на транспортировку блоков по выработкам шахты к месту формирования тумб возможно путем изготовления блоков из спрессованных пород с применением передвижного гидропресса в непосредственной близости от их использования. Однако для реализации описанного способа необходимо

обеспечить доставку породы к гидропрессу, также возникает высокая вероятность влияния таких работ на нормальное функционирование очистного забоя [39].

Одним из наиболее эффективных решений формирования охранных тумб в шахте является заполнение быстротвердеющей цементной смесью емкости, представляющей собой гибкую опалубку цилиндрической формы в виде «мешка», прочность и устойчивость которой обеспечивается армировкой пружинами и проволокой. При использовании данного способа значительно возрастает уровень автоматизации процесса, но необходимо учитывать затраты на гибкие «мешки», выполняющие роль опалубки, бетононасосы, которые закачивают цементную смесь в эту опалубку, затраты на саму цементную смесь и ее доставку.

Охрана горных выработок блоками является не только дорогостоящей и трудозатратной, но и осложнена необходимостью изготовления самих блоков, поэтому в настоящее время не может считаться перспективной. Формирование охранных тумб путем заполнения цементной смесью гибкой опалубки может быть эффективной в определенных горно-геологических условиях.

Охрана выработок органной крепью. При охране горных выработок органной крепью, показанной на рисунке 1.18, стойки являются жесткой крепью и выполняют обрезную функцию. Их устанавливают вручную вдоль охраняемой выработки рядами, количество которых определяется устойчивостью кровли.

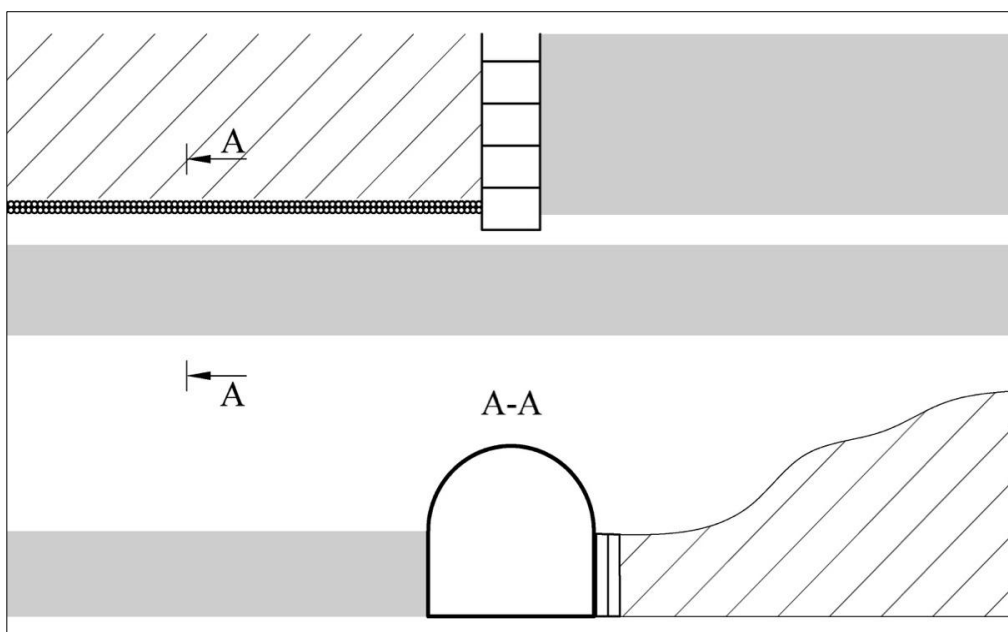


Рисунок 1.18 – Охрана выработки деревянной органной крепью



Нагрузка на стойки органной крепи распределяется неравномерно и при мягких породах кровли и почвы сегменты крепи могут вдавливаться в них. Во избежание эффекта вдавливания, который негативно сказывается на состоянии охраняемой выработки, стойки крепи устанавливают на деревянные лежни, обеспечивая таким образом конструктивную податливость охранной конструкции до 15% [19, 40].

Чаще всего деревянная органная крепь применяется в комплексе с другими охранными сооружениями.

Охрана горных выработок целиками. Охрана целиками подразумевает оставление вдоль выработок участков нетронутого массива, размеры которых определяются таким образом, чтобы обеспечить минимальное влияние на состояние охраняемой выработки горного давления и горных работ.

При подготовке сдвоенными штреками между ними оставляется целик угля, который обеспечивает охрану участков штрека на период отработки столба. На рисунке 1.19 показано, что реализация бесцеликовой системы разработки подразумевает отработку такого целика на одной линии с очистным забоем, после выполнения им охранной функции.

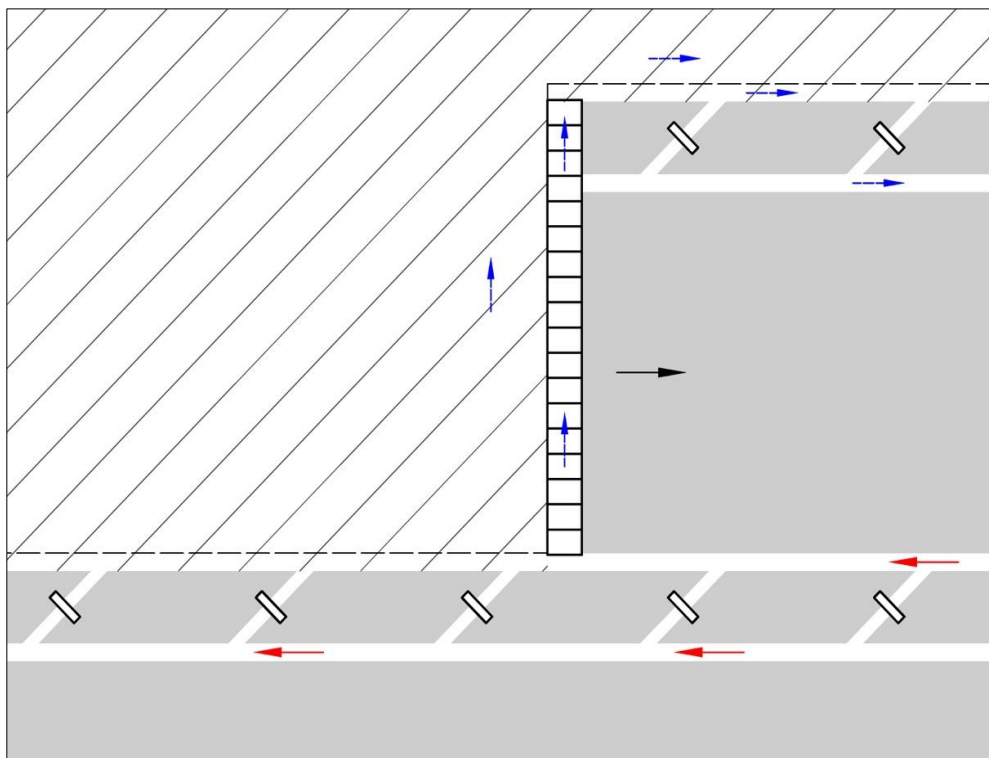


Рисунок 1.19 – Охрана выработки целиком угля

Подобная система разработки была реализована на шахте «Распадская». Основным недостатком описанной схемы является необходимость отвода по выработанному пространству части струи воздуха, предназначенной для проветривания тупика лавы. Такая необходимость противоречит пункту №243 действующих «Правил безопасности в угольных шахтах» [54], который запрещает отвод воздуха из очистных выработок через завалы и обрушения.

При отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, отвод воздуха по выработанному пространству создает высокую опасность формирования очагов самовозгорания, поэтому описанная система разработки в представленном виде не может считаться перспективной.

Проведение выработки вприсечку к выработанному пространству. В случае, когда при реализации бесцеликовых систем разработки длинными столбами повторное использование выработки с применением охранных сооружений для отработки смежного столба невозможно или неэффективно, вприсечку к ней проводят новую выработку. В зависимости от состояния массива, горно-геологических и горнотехнических факторов возможно проведение выработки вприсечку с частичным использованием погашенной выработки или с оставлением между ними целика угля размером 2-4 м (рисунок 1.20).

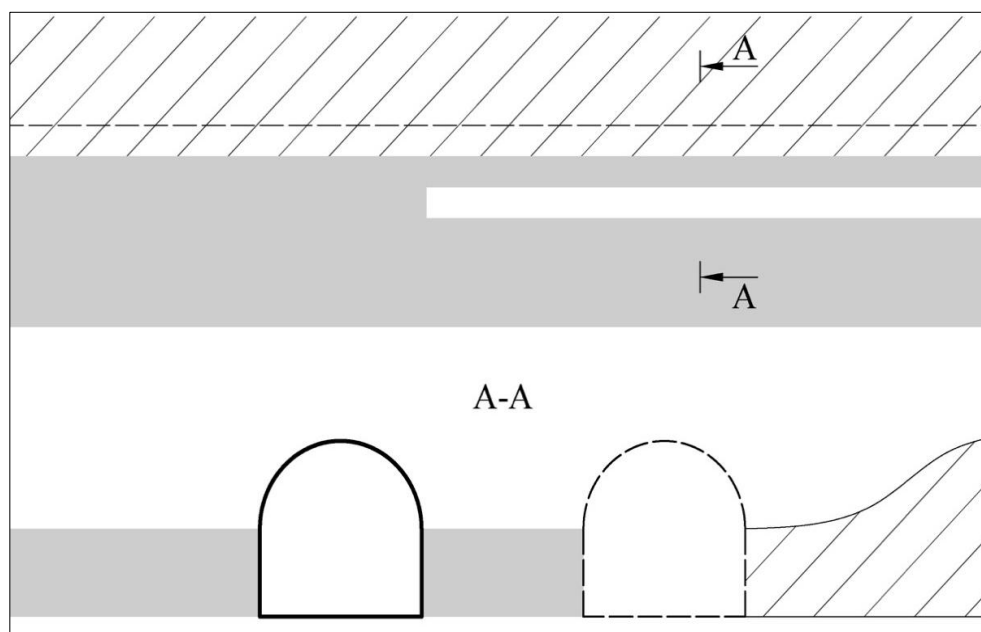


Рисунок 1.20 – Схемы проведения выработки вприсечку к выработанному пространству

Оставляемый целик не несет охранной функции, а предназначен для управления состоянием горного массива. Он не способен выдержать приходящееся на него опорное горное давление, которое, разрушая целик, смещается вглубь массива. При этом напряжение пород, вмещающих выработку, снижается, что положительно сказывается на условиях ее поддержания. Условия поддержания выработки, пройденной в полную присечку, напротив, осложнены не только опорным горным давлением, но и зоной повышенной трещиноватости, сформированной погашенной выработкой [57].

При проведении выработки в полную присечку или с частичным использованием погашенной выработки существует риск повреждения исполнительного органа проходческого комбайна элементами неизвлеченной крепи погашенной выработки. Кроме того, проходческие работы в таких условиях осложнены вероятностью высвобождения больших объемов метана, скопившихся в куполах обрушения над погашенной выработкой. Эти недостатки исключены при проведении выработки с оставлением податливого целика. Однако этот способ характеризуется значительными потерями балансовых запасов угля и не может быть применен при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, из-за высокой вероятности формирования очагов самовозгорания в скоплениях угля разрушенного целика [57].

В разное время на шахтах для управления состоянием выработок также применялись экспериментальные способы, не получившие широкого распространения, среди которых охрана горных выработок пневмобаллонной крепью, подвижной гидравлической бортовой крепью, резинопородными тумбами и другие способы [19].

Практический опыт показывает, что поддержание горных выработок с применением охранных сооружений целесообразно при разработке пластов мощностью до 2 м. Следует отметить, что при разработке пластов большей мощности поддержание выработок осуществляется способом оставления неразрушаемых горным давлением целиков угля, который в настоящее время на шахтах России применяется безальтернативно.

## Выводы по главе 1

В условиях современного рынка в угольной отрасли сформировалась тенденция к увеличению концентрации горных работ за счет повышения эффективности отработки запасов. Технические возможности современных высокопроизводительных механизированных комплексов, применяемых для подземной добычи угля, позволяют реализовывать прогрессивный принцип «шахта-лава», при котором вся шахтная угледобыча сконцентрирована в одном очистном забое. С учетом описанной тенденции, наиболее перспективным для освоения угольным бассейном в России является Кузнецкий бассейн. Это обусловлено горно-геологическими условиями залегания его пластов, половина из которых характеризуется выдержанной мощностью от 1,2 до 5 м при пологом залегании.

Рассматривая перспективу развития подземной добычи угля в Кузбассе, необходимо учитывать характерные для пластов бассейна осложняющие факторы, к основным из которых относятся высокая газоносность и склонность угля к самовозгоранию.

Несмотря на то, что меры по снижению газового фактора и предотвращению самовозгорания угля противоречат друг другу, в настоящее время при подземной добыче угля применяется базовая технология. Она подразумевает оставление в выработанном пространстве ленточных целиков, благодаря которым можно эффективно управлять газовыделением на выемочном участке и наращивать производительность очистного забоя. Одновременно с этим возрастает влияние опорного горного давления на оставленные целики, что выражается в образовании скоплений масс раскрошенного угля повышенной температуры. В условиях отвода части воздушной струи, предназначенной для проветривания выемочного участка, через выработанное пространство, к образовавшимся скоплениям раскрошенного угля поступает кислород, что значительно увеличивает риск возникновения эндогенного пожара. Таким образом, вспышки метана ограниченного объема в выработанном пространстве, источником воспламенения которых стали очаги самовозгорания, фиксируются

на шахтах практически ежегодно. Кроме того, значительные разрушения при авариях, связанных со взрывом метана, часто не позволяют объективно определить причину его воспламенения, а значит, существующая статистика случаев самовозгорания угля в шахтах может не в полной мере отражать реальную ситуацию.

Нормативные документы, регламентирующие отработку пластов угля, склонного к самовозгоранию, требуют оставления между пластовыми участковыми выработками неразрушаемых горным давлением целиков угля. Кроме того, оставление целиков обусловлено отсутствием альтернативных способов охраны участковых выработок при отработке пластов мощностью более 2 метров, а также возможностью эффективного управления газовыделением на выемочном участке. Однако проведенный анализ позволяет сделать вывод, что именно целики угля являются основной причиной формирования очагов самовозгорания в выработанном пространстве. Помимо этого, оставление целиков сказывается на увеличении эксплуатационных потерь угля ликвидных марок, а также на возрастании выбросо- и удароопасности сближенных пластов. Степень негативного влияния описанных факторов неизбежно возрастает с увеличением глубины ведения горных работ.

Одним из наиболее перспективных направлений совершенствования базовой технологии является отработка целиков угля после выполнения ими основных функций и сооружение конструкций из искусственных материалов, на которые будут возложены основные функции целиков.

## **ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ БЕСЦЕЛИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ, СКЛОННОГО К САМОВОЗГОРАНИЮ, С ВОЗВЕДЕНИЕМ ПОЛОС ИЗ ТВЕРДЕЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУ ВЫЕМОЧНЫМИ УЧАСТКАМИ**

### **2.1. Определение основных требований к бесцеликовым технологиям отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию**

При разработке новых технологий необходимо принимать во внимание передовые технологические решения, применяемые на современных шахтах. Новые разработанные технологии должны удовлетворять требованиям рыночной экономики и иметь сопоставимые технико-экономические показатели с применяемыми в настоящее время аналогами.

Как показывает анализ опыта работы современных угольных шахт России, базовая технология, представленная на рисунке 1.1, сегодня не имеет альтернативы и применяется практически в 100% случаев при отработке пологих пластов угля [22]. Для определения направлений совершенствования существующей технологии необходимо проанализировать основные принципы ведения горных работ при ее использовании.

На рисунке 2.1 показано, что при реализации указанной системы разработки шахтное поле делят по падению или простиранию пласта на выемочные столбы. Для подготовки выемочных столбов проводят два сдвоенных штрека — конвейерный 1 и вентиляционный 2, — взаимное влияние которых исключается оставлением между ними целика угля 3. Конвейерный штрек обеспечивает подготовку вышерасположенного выемочного столба, а вентиляционный штрек — нижерасположенного. Для обеспечения взаимного доступа между сдвоенными штреками проходят вентиляционные сбойки 4.

Отработку выемочных столбов производят лавами с полным обрушением кровли в выработанном пространстве. Вслед за лавой №1 погашаются все участковые выработки.

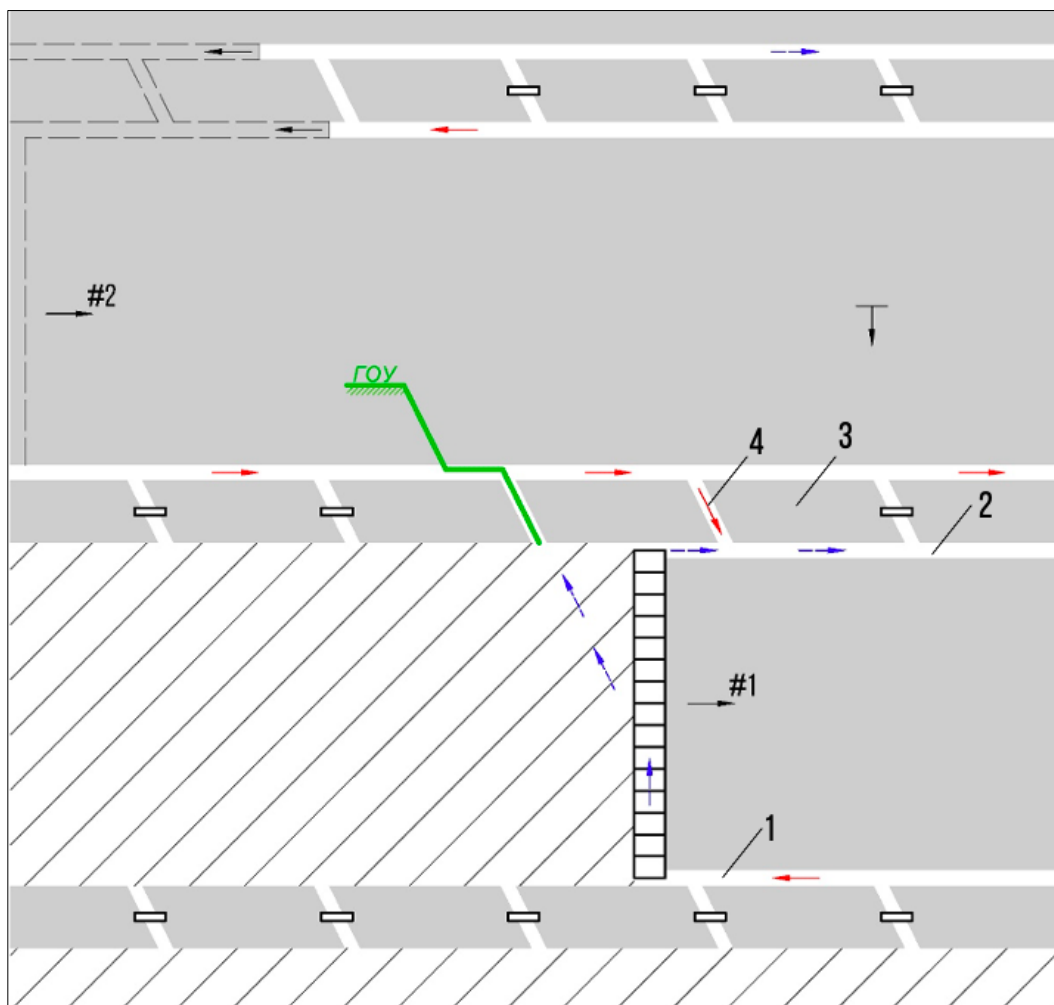


Рисунок 2.1 – Организация ведения горных работ по базовой технологии

Устойчивое состояние участковых выработок на весь срок службы обеспечивается их расположением между массивом и целиками угля. Как правило, в подобных условиях для поддержания кровли выработок достаточно применения анкерной крепи.

Свежая струя воздуха поступает в очистной забой по конвейерному штреку. Отработанная струя воздуха отводится по вентиляционному штреку до границы выемочного участка. Наличие целиков угля между выемочными столбами позволяет обеспечивать отвод части струи воздуха из очистного забоя через выработанное пространство в вентиляционную сбойку, откуда метановоздушная смесь поступает в газоотсасывающую установку, расположенную в конвейерном штреке смежного выемочного участка. После перемещения очистного забоя на расстояние, при котором отводить по вентиляционной сбойке часть воздуха через выработанное пространство нецелесообразно или небезопасно, она перекрывается

перемычкой, а газоотсасывающая установка подключается к следующей по ходу движения очистного забоя сбойке. В некоторых случаях метановоздушную смесь из выработанного пространства отводят через скважины, пробуренные в целике из конвейерного штрека смежного выемочного участка. Исходящая из очистного забоя струя воздуха, в свою очередь, может быть разбавлена в вентиляционном штреке подсвежающей струей, поступающей из конвейерного штрека смежного выемочного участка через вентиляционные сбойки.

Использование описанной схемы проветривания выемочного участка позволяет наиболее полно реализовывать потенциал современных очистных механизированных комплексов за счет исключения газового фактора, что подтверждается опытом работы современных высокопроизводительных шахт [12].

Помимо возможности применения изолированного отвода, оставление целиков угля также позволяет изолировать отрабатываемый выемочный участок от выработанного пространства смежного ранее отрабатанного столба, что положительно сказывается на производительности и стабильности работы очистного забоя.

Оценка выявленных факторов показывает, что высокая нагрузка на очистной забой обеспечивается именно оставлением целиков угля в выработанном пространстве. Это также позволяет сохранить устойчивость участковых выработок при использовании простой в установке и недорогой анкерной крепи. В то же время анализ направлений совершенствования существующих технологий показал, что для увеличения безопасности ведения горных работ при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, в первую очередь необходимо исключить оставление целиков в выработанном пространстве [78].

Учитывая преимущества и недостатки оставления целиков в выработанном пространстве, можно определить направления совершенствования базовой технологии, представленной на рисунке 1.1. Среди них: создание условий, допускающих отработку целика после выполнения им основных функций;



сооружение конструкций из искусственных материалов, на которые будут частично или полностью возложены основные функции целика; комплексное применение указанных мер. При этом разработанные технологии должны включать возможность использования схем проветривания с отводом части воздуха из очистного забоя по выработанному пространству, исключать негативное влияние выработанного пространства смежного выемочного участка на работу очистного забоя и позволять использовать анкерную крепь как основную крепь участковых выработок.

## **2.2. Технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем**

Одной из наиболее известных бесцеликовых технологий является технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем. С учетом особенностей организации работ по выемке пластов угля, склонного к самовозгоранию, был разработан «Способ подземной разработки угольных пластов» — Патент № 2441160 РФ [44]. Вариант бесцеликовой технологии, основанный на указанном способе, представлен на рисунке 2.2 [44].

При отработке выемочного столба с применением представленной технологии, на верхней границе выемочного столба вслед за очистным забоем №1 до погашения вентиляционного штрека на его почве укладывается вентиляционный трубопровод 1. На нижней границе выемочного столба на одной линии с очистным забоем отрабатывается целик угля 2.

Для отработки целика на одной линии с очистным забоем механизированный комплекс оснащается дополнительными секциями крепи, предназначенными для управления кровлей на тупиковом участке лавы (от воздухоподающего штрека до выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка), а отработка целика осуществляется тем же очистным комбайном, который производит отработку основных запасов выемочного столба.

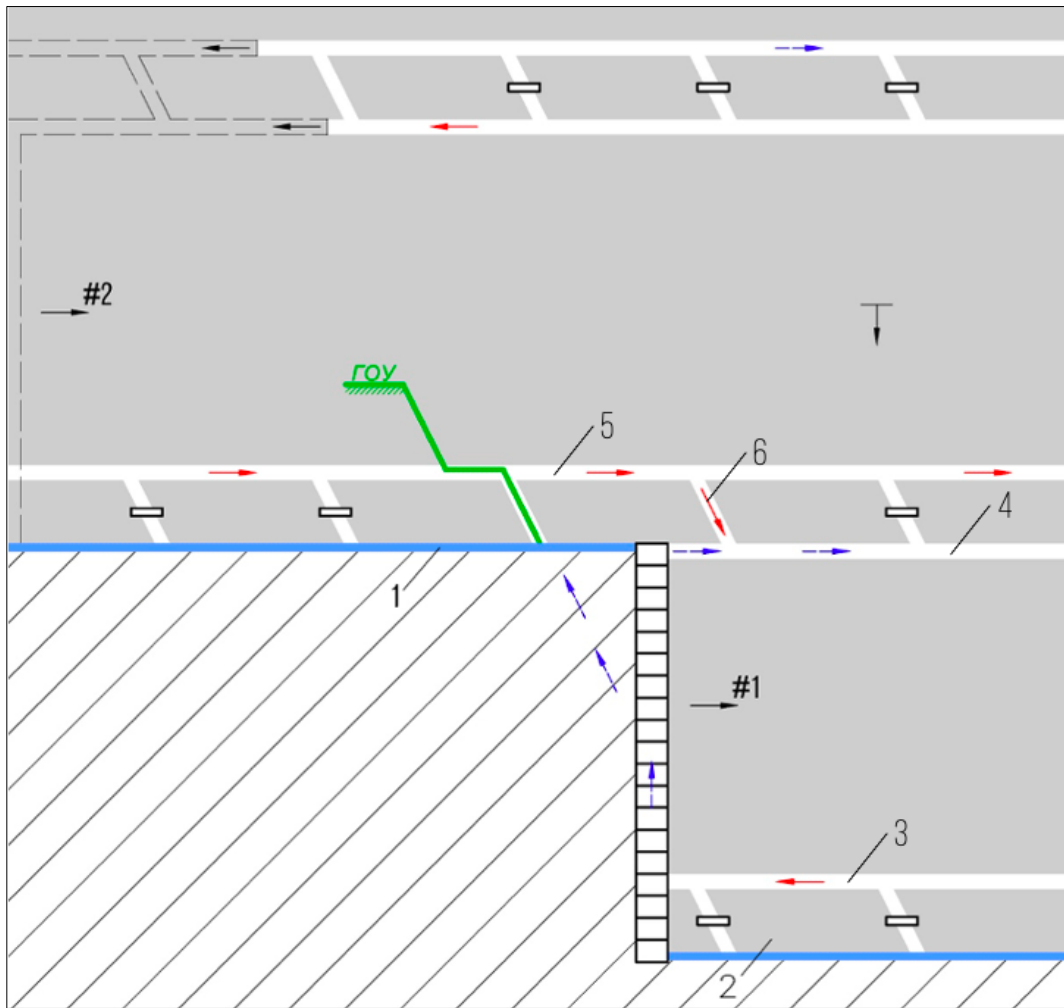


Рисунок 2.2 – Технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем [44]

Поступающая по воздухоподающему штреку 3 свежая струя разделяется на две части. Первая — проветривает тупиковую часть лавы и отводится по заблаговременно сформированному вентиляционному трубопроводу вдоль целика угля. Вторая — проветривает основной очистной забой и отводится частями через выработанное пространство и вентиляционный штрек 4, на который, в свою очередь, из воздухоподающего штрека 5 смежного выемочного участка через вентиляционные сбойки 6 поступает подсвежающая струя.

Таким образом, технология, при которой целик угля отрабатывается на одной линии с очистным забоем, позволяет обеспечить высокую нагрузку на лаву и снизить опасность формирования очагов самовозгорания в выработанном пространстве одновременно. Это обусловлено возможностью использования

комбинированной схемы проветривания при исключении потерь угля в выработанном пространстве в виде целиков.

Основным недостатком при реализации описанной технологии является неизбежное влияние выработанного пространства ранее отработанного смежного выемочного участка на работу очистного забоя. Обрушение кровли, выделение метана, очаги самовозгорания, локальные вспышки газа или пыли могут полностью остановить работу очистного забоя и привести к аварийной ситуации.

Также важно отметить, что при отводе отработанной струи воздуха из тупиковой части лавы по заблаговременно сформированному вентиляционному трубопроводу утечки воздуха в выработанное пространство неизбежны. При отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, увеличение количества кислорода в выработанном пространстве недопустимо, так как он может стимулировать развитие эндогенных пожаров.

Для снижения или полного исключения влияния выработанного пространства ранее отработанного смежного выемочного участка на работу очистного забоя, требуется обеспечить его изоляцию. С целью обеспечения изоляции очистного забоя необходимо разработать варианты бесцеликовой технологии с возведением охранной конструкции на границе выемочного участка.

### **2.3. Технология с отработкой целика угля с отставанием от очистного забоя**

Исключение влияния выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка на работу очистного забоя при реализации бесцеликовой технологии возможно путем отработки целика после выполнения им основных функций с отставанием от очистного забоя (рисунок 2.3).

При реализации указанной технологии изоляция очистного забоя №1 от выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка обеспечивается целиком угля 3 между ними, а работы по отработке целика производятся с отставанием в очистном забое №2.

Для обеспечения устойчивого состояния конвейерного штрека 1 за лавой, вслед за очистным забоем №1 на конечном участке лавы, прилегающем к отрабатываемому целику угля, за крайними секциями механизированной крепи в выработанном пространстве формируется полоса из твердеющих материалов 2. На время отработки целика угля полоса из твердеющих материалов должна сохранять несущую способность и обеспечивать условия для поддержания размера поперечного сечения конвейерного штрека, предназначенного для транспортирования угля, подачи свежего воздуха в очистной забой №2, а также для доставки материалов и прохода людей.

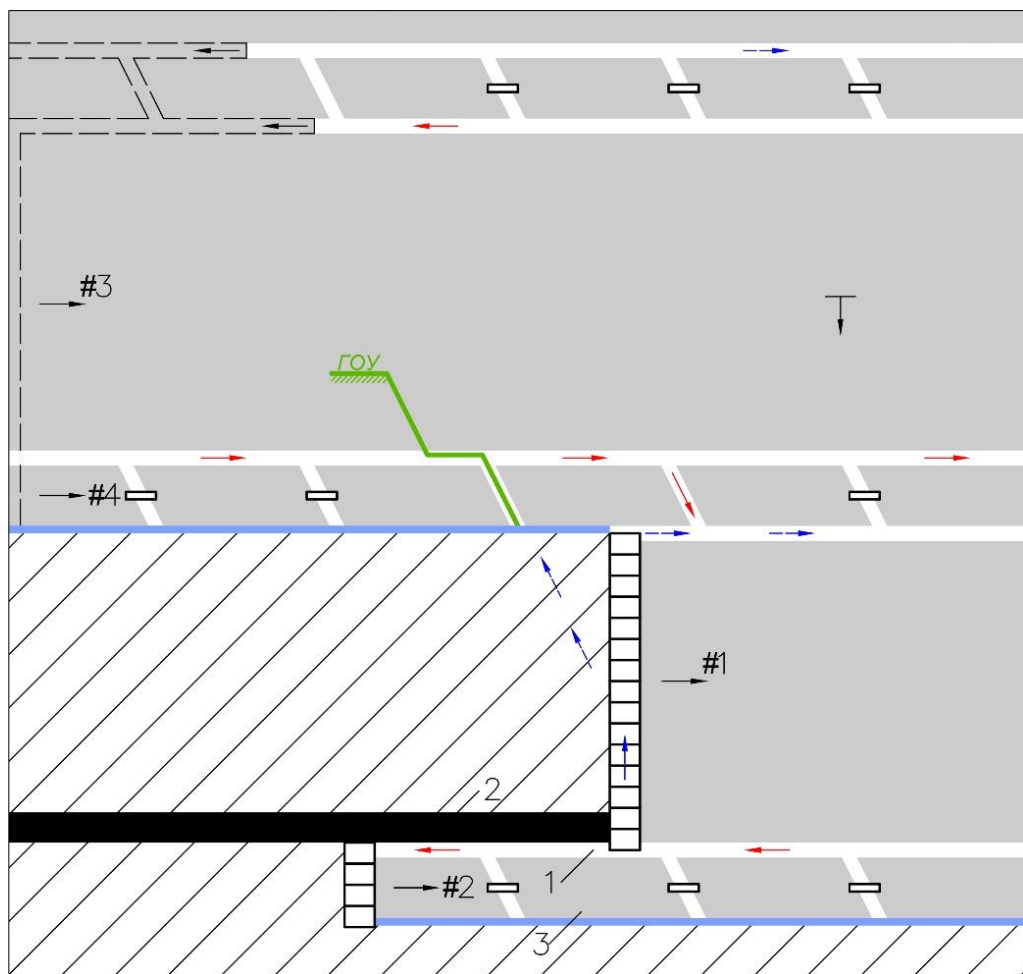


Рисунок 2.3 – Технология с отработкой целика угля с отставанием от очистного забоя

Управление кровлей в очистном забое №2 осуществляется механизированной или индивидуальной крепью. Выемка угля производится струговой установкой или проходческим комбайном.

Струя воздуха, поступающая по конвейерному штреку за лавой в очистной забой №2, как и при отработке целика угля на одной линии с очистным забоем, отводится по заблаговременно сформированному вентиляционному трубопроводу.

Анализируя описанные варианты бесцеликовых технологий, можно сделать вывод, что технологию с отработкой целика угля за очистным забоем от технологии с отработкой целика на одной линии с очистным забоем выгодно отличает возможность исключить влияние выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка на работу очистного забоя. Кроме того, при ее реализации сохраняется возможность использования комбинированной схемы проветривания и исключения потери угля в выработанном пространстве в виде целиков.

Основную сложность при реализации технологии с отработкой целика за очистным забоем составляет возведение полосы из твердеющих материалов за лавой. Учитывая, что породы кровли будут оказывать воздействие на полосу в выработанном пространстве уже в первые сутки, при ее формировании необходимо использовать быстротвердеющие смеси, способные набирать высокую прочность за короткий срок. Как правило, специальные быстротвердеющие смеси отличаются высокой стоимостью, а значит, затраты на возведение полос при реализации описанной технологии могут в значительной степени увеличить себестоимость добываемого угля.

Важно учитывать, что работоспособность технологии с отработкой целика за очистным забоем во многом определяется прочностью полосы из твердеющих материалов, а значит, зависит от качества поставляемого сырья и соблюдения технологии при выполнении работ по ее формированию. Учитывая высокую скорость подвигания очистного забоя при использовании современных высокопроизводительных механизированных комплексов, время на формирование полосы строго ограничено. Таким образом, формирование полосы из твердеющих материалов за лавой может стать причиной ограничения производительности основного очистного забоя.

Несмотря на охрану конвейерного штрека за лавой полосой из твердеющих материалов и целиком угля, условия его поддержания осложнены состоянием массива после перехода очистным забоем, формирующим по ходу движения опорное горное давление. По этой же причине осложнено поддержание кровли в очистном забое №2 и отработка целика, который, в свою очередь, также испытывает влияние опорного горного давления, формируемого на границе с выработанным пространством двух смежных выемочных участков.

Также при отработке целика угля за очистным забоем сохраняется проблема утечек воздуха в выработанное пространство при отводе отработанной струи из очистного забоя №2 по заблаговременно сформированному вентиляционному трубопроводу.

С целью обеспечения благоприятных условий отработки целика угля и исключения необходимости в сохранении конвейерного штрека за лавой требуется разработать вариант бесцеликовой технологии, при котором отработка целика и возведение охранной конструкции на границе выемочного участка производятся заблаговременно.

#### **2.4. Технология с отработкой целика угля с опережением очистного забоя**

Значительно снизить влияние на отработываемый целик угля опорного горного давления, формируемого на границе с выработанным пространством, и исключить необходимость в поддержании конвейерного штрека за лавой при реализации бесцеликовой технологии возможно путем отработки целика угля с опережением очистного забоя, как показано на рисунке 2.4.

При реализации указанной технологии работы по отработке целика производятся в очистном забое №2 с опережением очистного забоя №1 на расстояние не меньшее, чем зона влияния опорного горного давления, формируемого перед очистным забоем №1.

Охрану конвейерного штрека 2 на участке между очистными забоями №2 и №1 обеспечивает полоса из твердеющих материалов 1, формируемая за очистным забоем №2.

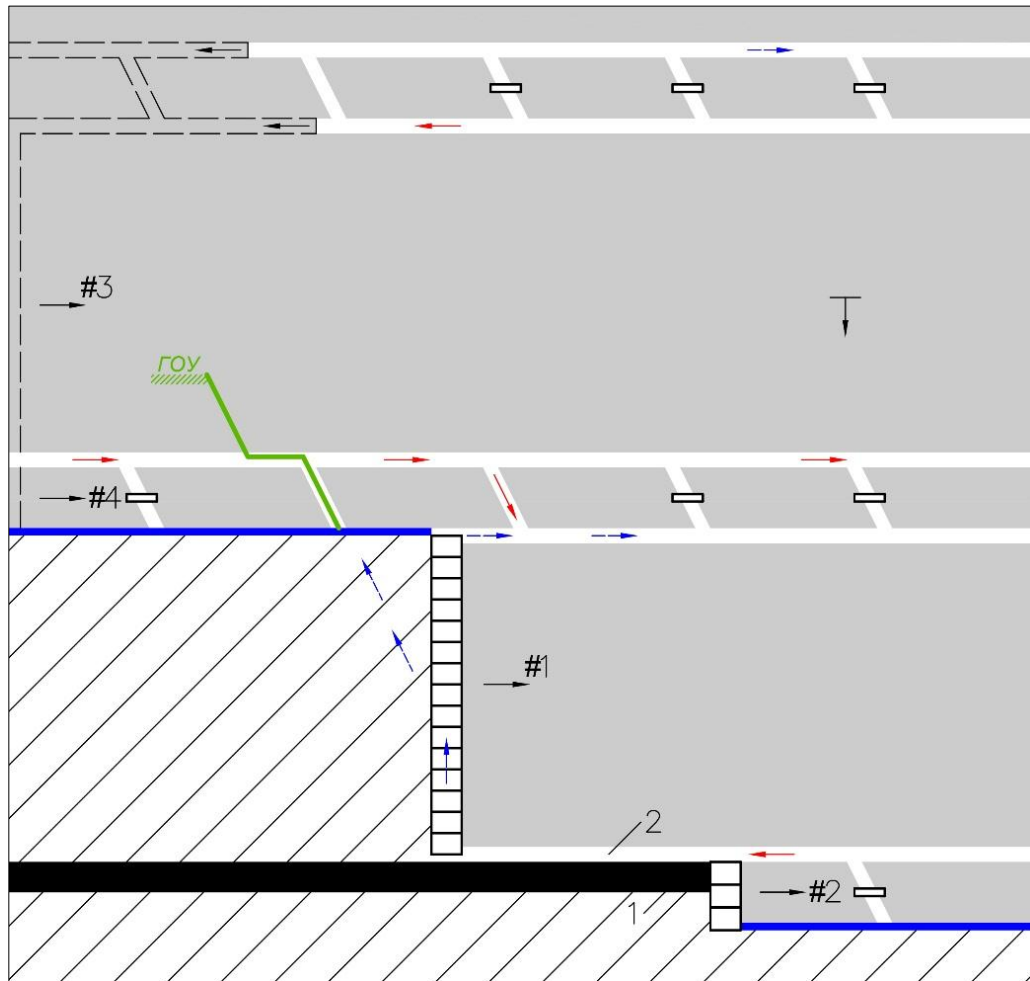


Рисунок 2.4 – Технология с отработкой целлика угля с опережением очистного забоя

В отличие от технологии с отработкой целлика за очистным забоем, при отработке целлика с опережением очистного забоя полоса из твердеющих материалов служит не только для поддержания необходимого размера поперечного сечения конвейерного штрека, но и для обеспечения изоляции очистного забоя №1 от выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка.

Оборудование, применяемое для управления кровлей и выемки угля в очистном забое №2, не отличается от принятого в технологии с отработкой целлика угля за очистным забоем — механизированная или индивидуальная крепь

и струговая установка или проходческий комбайн соответственно. Также не отличается способ отвода отработанной струи из очистного забоя №2 — по заблаговременно сформированному вентиляционному трубопроводу.

В сравнении с рассмотренными ранее вариантами бесцеликовых технологий, отработка целика угля с опережением очистного забоя позволяет исключить влияние выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка на работу очистного забоя, использовать комбинированную схему проветривания, исключить потери угля в выработанном пространстве в виде целиков и при этом вести отработку целиков в сравнительно благоприятных и безопасных условиях.

Основным недостатком описанной технологии является опасность взаимного влияния работы очистных забоев №1 и №2 в случае, когда расстояние между ними критически сокращается. Причинами подобного сокращения могут стать различные факторы. Учитывая высокую скорость подвигания современных очистных забоев, можно предположить, что при отработке целика с опережением очистного забоя скорость подвигания очистного забоя №1 может быть ограничена по фактору минимального срока набора прочности полосой из твердеющих материалов вне зоны влияния опорного горного давления, формируемого перед ним. В то же время при несоблюдении необходимой дистанции между очистными забоями опорное горное давление перед очистным забоем №1 будет оказывать влияние на полосу в период набора прочности, что может негативно сказаться на состоянии конвейерного штрека и привести к остановке очистных работ на выемочном участке.

Важно отметить, что во всех рассмотренных бесцеликовых технологиях используется одинаковый способ отвода отработанной струи воздуха из очистного забоя, предназначенного для отработки целика. Это обусловлено тем, что во всех рассмотренных случаях отработка целика предполагается на границе с выработанным пространством. Согласно ПБ для угольных шахт, отвод струи воздуха через обрушенные породы запрещен [54]. В таких условиях отвод струи воздуха по заблаговременно сформированному вентиляционному трубопроводу



является наиболее безопасным вариантом. Тем не менее, он не позволяет исключить утечки воздуха в выработанное пространство, что недопустимо при обработке пластов угля, склонного к самовозгоранию.

С целью значительного сокращения объема утечек воздуха в выработанное пространство и исключения влияния очистных работ по обработке основной части запасов выемочного столба и запасов, содержащихся в целиках, необходимо разработать вариант бесцеликовой технологии, при котором обработка целика и возведение охранной конструкции на границе выемочного участка производится при подготовке выемочного столба.

## **2.5. Технология с обработкой целика угля при подготовке выемочного столба**

Существенно сократить объем утечек воздуха в выработанное пространство и исключить влияние очистных работ по обработке основной части запасов выемочного столба и запасов, содержащихся в целиках, при реализации бесцеликовой технологии возможно путем обработки целика угля при подготовке выемочного столба, как показано на рисунке 2.5.

Обработка целика угля 1 согласно указанной технологии осуществляется в очистном забое №2 в процессе подготовки выемочного столба с отставанием от проходческого забоя на расстояние не меньшее, чем зона влияния опорного горного давления, формируемого перед очистным забоем №2, и длина участка  $L$  между вентиляционными сбойками 4 сдвоенных участковых штреков 5 и 6.

Вслед за очистным забоем №2 возводится полоса из твердеющих материалов 2, которая обеспечивает поддержание необходимого размера поперечного сечения примыкающих к ней конвейерного и вентиляционного штреков на протяжении всего срока их службы. Также полоса позволяет изолировать очистной забой №1 от выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка. Для обеспечения взаимного доступа между сдвоенными штреками полоса формируется с оставлением проходов (сбоек).

Управление кровлей в очистном забое №2, как и в технологиях с отработкой целика угля на границе с выработанным пространством, может осуществляться механизированной или индивидуальной крепью, а выемка угля — струговой установкой или проходческим комбайном.

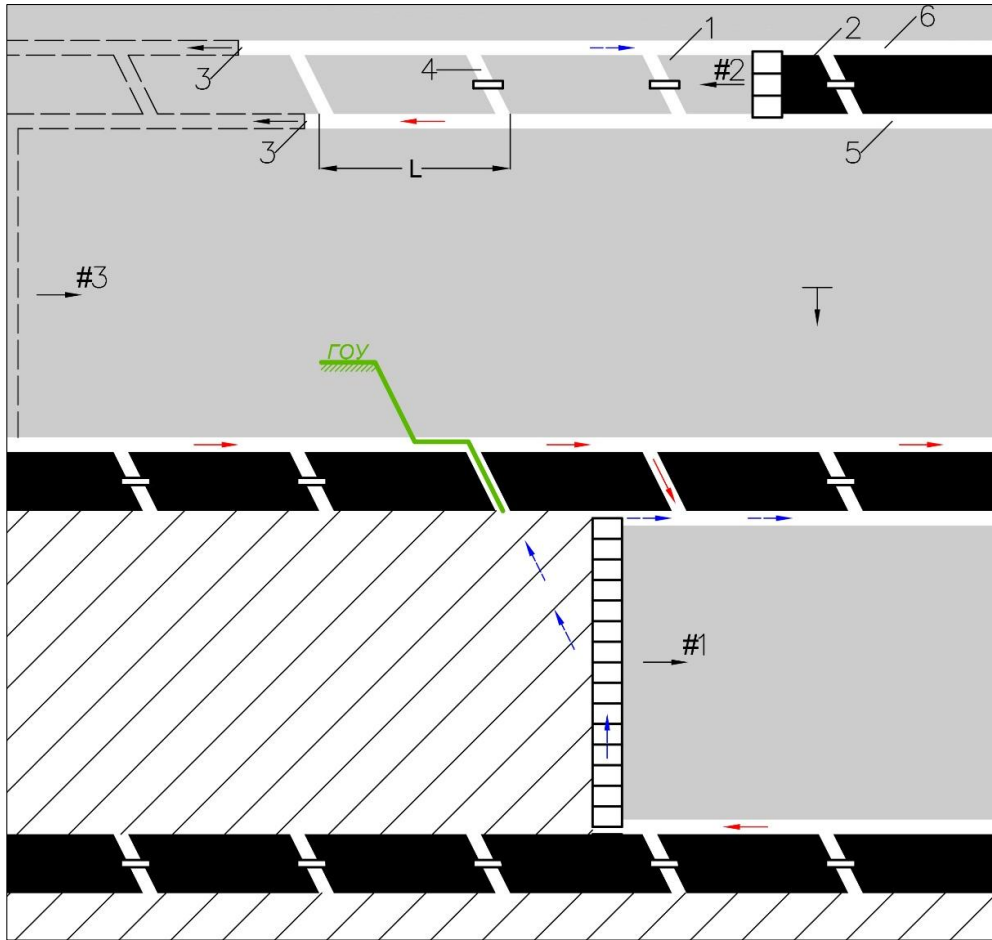


Рисунок 2.5 – Технология с отработкой целика угля при подготовке выемочного столба

При отработке целика угля в процессе подготовки выемочного столба очистной забой №2 располагается между участковыми штреками. Это выгодно отличает указанную технологию от технологий с отработкой целика на границе с выработанным пространством, так как не возникает необходимости в возведении вентиляционного трубопровода у контура выемочного участка для обеспечения проветривания тупикового очистного забоя. Таким образом существенно снижается объем утечек воздуха в выработанное пространство и, как следствие, опасность формирования в нем очагов самовозгорания.

Технология с отработкой целика в процессе подготовки выемочного столба позволяет при сохранении преимуществ технологий, включающих отработку целика на границе с выработанным пространством, существенно сократить объем утечек воздуха в выработанное пространство при проветривании очистного забоя, предназначенного для отработки целика угля, и исключить взаимное влияние очистных работ по отработке основной части запасов выемочного столба и запасов в целиках.

Основную сложность при реализации технологии с отработкой целика угля в процессе подготовки выемочного столба составляет возведение полосы из твердеющих материалов с такой несущей способностью, которая позволит обеспечить безремонтное поддержание участковых выработок на весь срок их службы, а также высокопроизводительную, бесперебойную и безопасную работу очистного забоя №1.

Важное значение имеет тот факт, что рассматриваемая технология предполагает набор прочности полосой из твердеющих материалов на протяжении длительного периода без ущерба для работы очистного забоя №1. Это обусловлено разнесением в пространстве и по времени работ по отработке основных запасов выемочных столбов и целиков. Кроме того, кровля в выработанном пространстве, сформированном при отработке целика, в период набора полосой из твердеющих материалов необходимой прочности охраняется массивом угля, что позволяет минимизировать влияние опорного горного давления на полосу.

Учитывая требования, предъявляемые к полосе из твердеющих материалов в рассматриваемой технологии, можно заключить, что она будет отличаться большой шириной и повышенными прочностными характеристиками. Затраты на формирование полосы при реализации технологии с отработкой целика в процессе подготовки выемочного столба существенно превысят затраты на формирование полосы при реализации технологий с формированием полосы за очистным забоем или с его опережением.

Важно отметить, что оставление в выработанном пространстве прочных широких полос из искусственных материалов может привести к формированию на границах отработанных выемочных участков зон повышенного горного давления, осложняющих условия отработки надработанных или подработанных сближенных пластов свиты.

С целью сокращения затрат на формирование полосы из твердеющих материалов, а также уменьшения или полного исключения формирования зон повышенного горного давления в выработанном пространстве необходимо разработать вариант бесцеликовой технологии, включающий в себя наиболее практичные технологические решения, выявленные при анализе рассмотренных технологий.

#### **2.6. Технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба**

Существенно сократить объем утечек воздуха в выработанное пространство, исключить взаимное влияние очистных работ по отработке запасов выемочного столба и запасов в целиках, сократить затраты на формирование полосы из твердеющих материалов, а также уменьшить или полностью исключить формирование зон повышенного горного давления в выработанном пространстве возможно путем отработки целика угля на одной линии с очистным забоем с предварительным возведением искусственной полосы в процессе подготовки выемочного столба. Технология показана на рисунке 2.6.

В указанной технологии принимается способ отработки целика угля на одной линии с очистным забоем, который, согласно сравнительному анализу рассмотренных бесцеликовых технологий, отличается высокой производительностью. Таким образом, отработка целика угля будет осуществляться тем же очистным комбайном, который производит отработку основных запасов выемочного столба, а для управления кровлей на участке лавы от воздухоподающего штрека до выработанного пространства смежного ранее

отработанного выемочного участка механизированный комплекс будет оснащаться дополнительными секциями крепи.

Так как при реализации технологии с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем существует угроза влияния выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка на работу очистного забоя, а также опасность возникновения очагов самовозгорания ввиду неизбежных утечек воздуха из очистного забоя в выработанное пространство, в рассматриваемой технологии предусмотрена изоляция очистного забоя от смежного выработанного пространства полосой из твердеющих материалов.

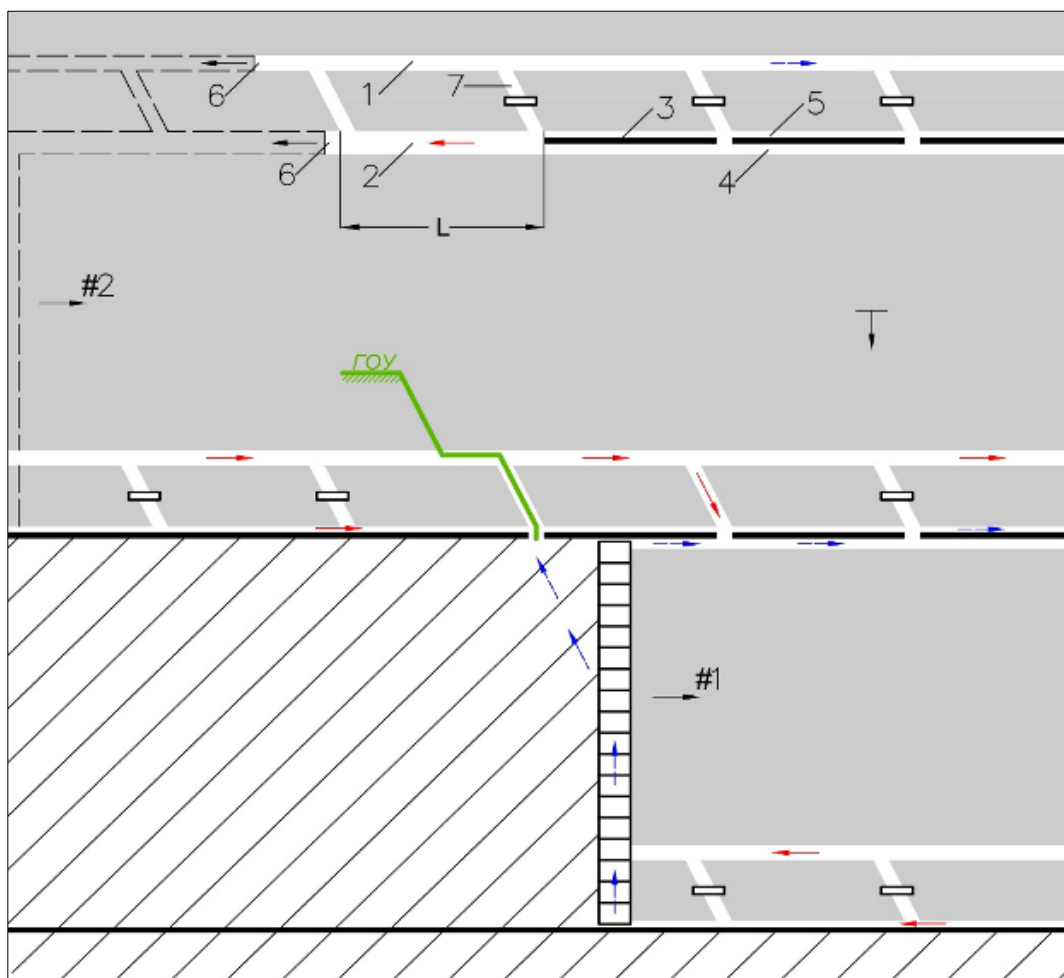


Рисунок 2.6 – Технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба

Для исключения влияния работ по формированию полосы из твердеющих материалов 3 на работу очистного забоя №1 в представленной технологии предусмотрено формирование полосы заблаговременно, в процессе подготовки

выемочного столба. Подготовка выемочного столба осуществляется сдвоенными штреками 1 и 2. На рисунке 2.7 показано, что площадь поперечного сечения нижнего штрека определяется не только габаритными размерами применяемого в нем оборудования, величиной зазоров, шириной проходов для людей и допустимой скоростью движения воздуха, но и габаритными размерами полосы из твердеющих материалов, которая формируется непосредственно в выработке.

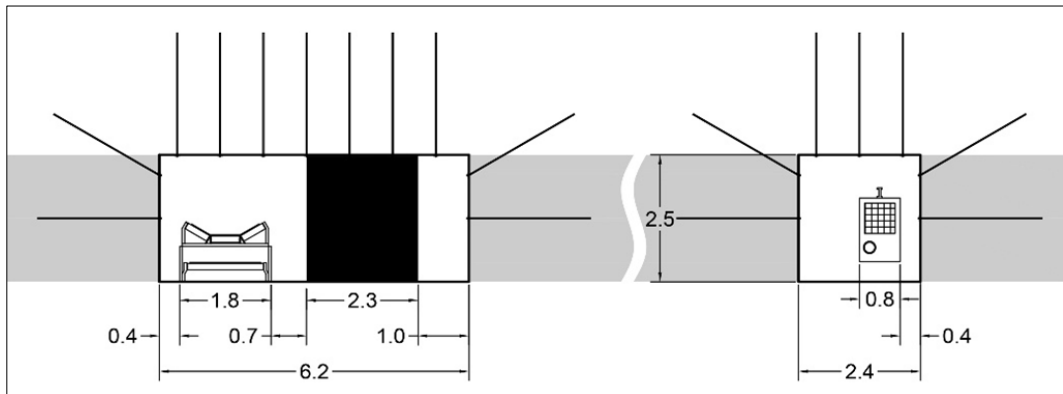


Рисунок 2.7 – Расположение искусственной полосы в конвейерном штреке

Формируемая полоса разделяет участковую выработку 2 на две обособленные части 4 и 5. Нижняя часть 4 (конвейерный штрек) предназначена для транспортирования угля из очистного забоя нижерасположенного выемочного участка, а верхняя 5 (вентиляционный просек) — для подачи дополнительной свежей струи воздуха в очистной забой вышерасположенного выемочного участка.

Работы по формированию полосы из твердеющих материалов в выработке производят с отставанием от проходческого забоя 6 на расстояние не меньшее, чем длина участка  $L$  между вентиляционными сбоями 7 участковых штреков. Для обеспечения взаимного доступа между штреками полоса формируется с оставлением проходов (сбоек).

Рассматриваемая технология предполагает, что на время набора нормативной прочности полоса из твердеющих материалов не испытывает значительной нагрузки от веса пород кровли.

При формировании полосы из твердеющих материалов ее ширина и прочность подбираются таким образом, чтобы обеспечить поддержание вентиляционного просека на весь срок отработки выемочного участка, а также

изоляцию очистного забоя от выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного столба.

Для проветривания выемочного участка по воздухоподающему штреку и вентиляционному просеку подается свежий воздух. Струя, поступающая по вентиляционному просеку, проветривает тупиковую часть лавы и соединяется с основной струей. Основная воздушная струя проветривает очистной забой и отводится частями через выработанное пространство и конвейерный штрек с вентиляционным просеком, на которые, в свою очередь, из воздухоподающего штрека смежного выемочного участка через вентиляционные сбойки поступает подсвежающая струя.

Работоспособность технологий с использованием охранных сооружений, таких как полосы из твердеющих материалов, во многом определяется качеством применяемого сырья и соблюдением технологии при выполнении работ по формированию охранных сооружений. Преимуществом описанной технологии является возможность контроля за соответствием фактических прочностных свойств полосы проектным свойствам до ввода охрannого сооружения в эксплуатацию. При необходимости сохраняется возможность мониторинга и обслуживания участков с ненадлежащим качеством полосы.

Важно отметить, что при реализации описанной технологии в выработанном пространстве остаются полосы из твердеющих материалов, ширина которых существенно меньше ширины целиков угля, оставляемых при традиционном способе отработки пологих пластов угля. Это позволяет существенно снизить размер зон повышенного горного давления, образующихся на границах отработанных участков. Кроме того, сохраняется возможность подбора параметров полос, при которых они будут полностью разрушаться в выработанном пространстве после выполнения основных функций и не способствовать формированию зон повышенного горного давления.

Основными недостатками описанной технологии являются затраты на формирование полос из твердеющих материалов и затраты на увеличение

площади поперечного сечения выработок, в которых необходимо разместить полосы.

Результаты сравнительного анализа разработанных технологий отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные характеристики разработанных технологий

Характеристики	Технология с возведением полосы			
	За очистным забоем	С опережением очистного забоя	В процессе подготовки	
			Вместо целика	В конвейерном штреке
<b>Преимущества</b>				
Изоляция выемочного столба	+	+	+	+
Комбинированная схема проветривания	+	+	+	+
Анкерная крепь в качестве основной	+	+	+	+
Обеспечение безопасных условий отработки целика	-	-	+	+
<b>Недостатки</b>				
Влияние на производительность очистного забоя	+	+	-	-
Влияние на производительность проходческого забоя	-	-	+	-
Сложные условия поддержания выработок	+	+	+	-
Способствует образованию зон ПГД	-	-	+	-
Потребность в быстротвердеющих смесях	+	-	-	-
Увеличение ширины участковых выработок	-	-	-	+

На основании полученных результатов сделан вывод о том, что технологии с отработкой целика угля и возведением полосы из твердеющих материалов за очистным забоем и с его опережением не могут быть рекомендованы к применению, так как при их реализации не обеспечиваются безопасные условия отработки целиков.

Технология с отработкой целика между штреками и формированием на его месте полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного



столба в сравнении с технологией с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в конвейерном штреке в процессе подготовки выемочного столба отличается рядом значительных недостатков, наиболее значимым из которых является негативное влияние на производительность проходческого забоя.

Исходя из вышеизложенного, для отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, рекомендуется использовать технологию с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в конвейерном штреке в процессе подготовки выемочного столба.

Учитывая, что главным недостатком рекомендуемой технологии является необходимость увеличения ширины участковой выработки, область ее применения может быть ограничена из-за невозможности поддержания выработки увеличенной ширины в период до формирования в ней полосы из твердеющих материалов в условиях, когда кровля пласта представлена неустойчивыми породами. В таком случае в качестве альтернативы рекомендуемой технологии может применяться технология с отработкой целика между параллельными штреками и формированием на его месте полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба. При этом планирование горных работ должно осуществляться с учетом всех выявленных недостатков указанной альтернативной технологии.

## **Выводы по главе 2**

В условиях рыночной экономики реальную альтернативу применяемым технологиям могут представлять только технологии с сопоставимыми технико-экономическими показателями. С точки зрения экономической эффективности основным требованием к альтернативным технологиям является возможность обеспечения высокой нагрузки на очистной забой. Также большое значение при выборе альтернативных технологий имеет возможность наиболее полного

извлечения запасов угля в границах шахтного поля, а также возможность использования анкерной крепи в качестве основной крепи участковых выработок.

С точки зрения повышения безопасности ведения горных работ при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, основными требованиями к альтернативным технологиям являются возможность отработки выемочных столбов без оставления целиков угля в выработанном пространстве и сокращение объема утечек воздуха в выработанное пространство.

В ходе работы было разработано несколько возможных вариантов бесцеликовых технологий отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, предполагающих выемку целика на разных стадиях отработки выемочного столба.

Большинство из разработанных вариантов предполагает возведение полос из твердеющих материалов в качестве охранных сооружений, на которые возлагаются отдельные функции целиков. Варианты отличаются назначением полос и стадиями их формирования в процессе подготовки или отработки выемочного столба.

Методом сравнения вариантов, как наиболее полно отвечающая предъявляемым требованиям, к дальнейшим исследованиям была принята технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба.

Высокая производительность очистного забоя при реализации разработанной технологии обеспечивается за счет применения комбинированной схемы проветривания, которая позволяет исключить ограничение нагрузки на очистной забой по газовому фактору и наиболее полно использовать потенциал современных очистных механизированных комплексов.

Возможное негативное влияние выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного участка (обрушение кровли, выделение метана, очаги самовозгорания, локальные вспышки газа или пыли) на работу очистного забоя при бесцеликовой технологии исключается за счет надежной изоляции

концевого участка лавы от выработанного пространства полосой из твердеющих материалов. Также наличие на границе с выработанным пространством смежного ранее отработанного выемочного участка полосы из твердеющих материалов при бесцеликовой технологии позволяет реализовать схему проветривания выемочного участка, при которой проветривание тупиковой части лавы не влечет за собой увеличение объема утечек воздуха в выработанное пространство.

На время отработки выемочного столба все основные участковые выработки охраняются массивом или целиками угля, что позволяет использовать анкерную крепь как основную для их крепления. Снижение опасности формирования очагов самовозгорания достигается за счет существенного сокращения потерь угля в выработанном пространстве путем полной отработки целиков. Также за счет отработки целиков значительно возрастает извлечение запасов угля в границах шахтного поля и практически исключается образование зон повышенного горного давления в выработанном пространстве.

К основным недостаткам разработанной технологии относятся затраты на проходку выработки большого сечения, необходимой для размещения в ней полосы из твердеющих материалов, а также затраты на формирование самой полосы. Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение параметров разработанной технологии с целью минимизации указанных затрат.

### **ГЛАВА 3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ С ВОЗВЕДЕНИЕМ ПОЛОС ИЗ ТВЕРДЕЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ВЫЕМОЧНОГО СТОЛБА**

#### **3.1. Основные принципы подготовки и отработки выемочных столбов**

Современные технологии ведения горных работ в опасных условиях, таких как на шахтах, разрабатывающих пласты угля, склонного к самовозгоранию, должны отвечать не только высоким требованиям безопасности, но и позволять обеспечивать уровень производительности, при котором шахта может оставаться конкурентоспособной в условиях рыночной экономики. При разработке новых технологий, отвечающих основным выявленным критериям, рационально использовать опыт существующих шахт и их передовые технологические решения, а также принимать во внимание результаты научных исследований последних лет в области разработки месторождений угля подземным способом.

Наиболее распространенным способом подготовки выемочных столбов на шахтах Кузбасса последние 20 лет является способ подготовки сдвоенными участковыми штреками с оставлением между ними целика угля [22]. Этот способ получил распространение с увеличением доли использования системы разработки длинными столбами, разделенными целиками угля для снижения негативного влияния выработанного пространства смежных столбов [21].

При подготовке выемочных участков указанным способом от бремсберга или уклона проводят сдвоенные штреки, разделенные целиком угля. Для реализации схем проветривания при проходческих и очистных работах, а также для обеспечения дополнительного прохода для людей штреки соединяют между собой вентиляционными сбойками [67].

К основным преимуществам способа подготовки сдвоенными участковыми штреками относятся возможность использования для крепления проводимых выработок анкерной крепи, что обеспечивается благоприятными условиями

поддержания проводимых выработок в массиве угля, а также отсутствие длинных тупиковых призабойных участков проводимых выработок.

Ширина целика угля между участковыми штреками определяется таким образом, чтобы исключить взаимное влияние между сдвоенными выработками, а также исключить влияние выработанного пространства на состояние участковой выработки и очистной забой смежного выемочного участка после отработки выемочного столба на границе с целиком. В таких условиях охрана выработок главным образом обеспечивается массивом и целиком угля, а использование анкерной крепи обеспечивает устойчивость кровли и боков выработок. Кроме того, затраты на крепление выработок анкерной крепью существенно ниже, чем затраты на крепление металлической арочной податливой крепью, которую часто применяют при системах разработки с повторным использованием выработки, что также выгодно отличает способ подготовки сдвоенными участковыми штреками с оставлением между ними целика угля.

Наличие вентиляционных сбоек между сдвоенными штреками позволяет на этапе подготовки выемочного участка реализовать схему проветривания тупиковых забоев, при которой струя свежего воздуха за счет общешахтной депрессии поступает по одной из проводимых выработок к месту установки вентиляторов местного проветривания (обычно ВМП устанавливают на расстоянии не менее 10 м от ближайшей к забою вентиляционной сбойки), которые подают воздух непосредственно к забоям. На рисунке 3.1 показано, что отработанный воздух отводится по второй выработке также за счет общешахтной депрессии.

Разделение свежей и отработанной струй воздуха обеспечивается возведением глухих перемычек в вентиляционных сбойках по ходу проведения выработок.

Описанная схема проветривания для современных шахт, длина выемочных столбов и, соответственно, длина участковых выработок которых достигает и превышает 4000 м, является предпочтительным вариантом. Она характеризуется высокой надежностью и безопасностью, а также позволяет стабильно доставлять

необходимое количество свежего воздуха в забой, что имеет большое значение для шахт, характеризующихся опасными условиями работы.

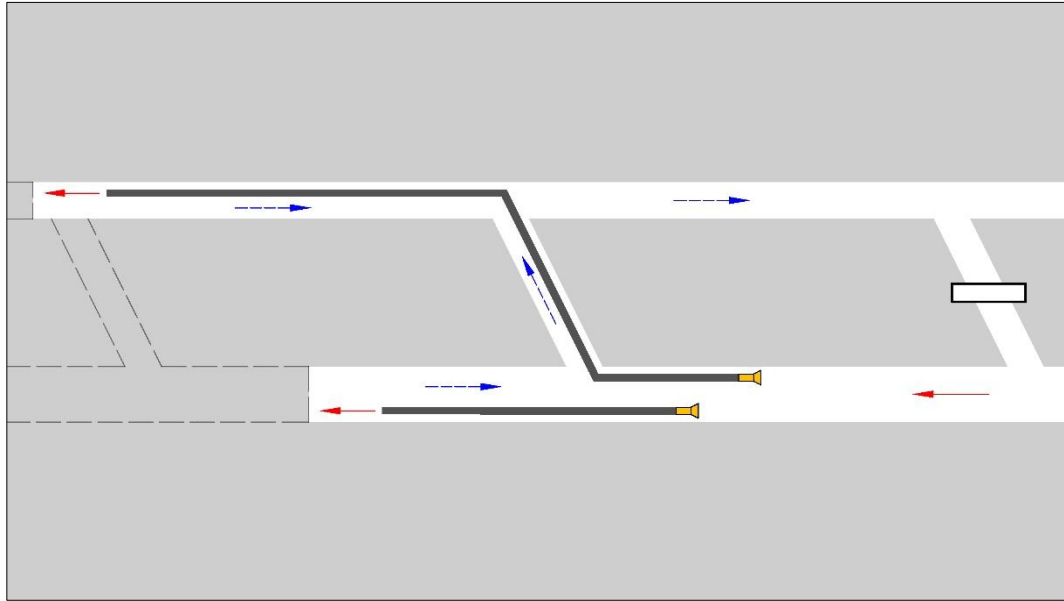


Рисунок 3.1 – Схема проветривания проходческих забоев при подготовке выемочных столбов сдвоенными штреками

В совокупности возможность эффективного применения анкерной крепи и стабильная схема проветривания проходческих забоев позволяют достигать высокой скорости проходки выработок. Для современных шахт, нацеленных на высокую концентрацию горных работ, скорость подготовки выемочных столбов является одним из основных факторов, определяющих выбор технологии.

Недостатками описанного способа являются большой объем проходческих работ и высокие потери угля в целиках. Однако стоимость проведения дополнительных выработок частично компенсируется попутной добычей угля, так как подготовка на современных шахтах, даже на пластах угля, склонного к самовозгоранию, преимущественно пластовая. Кроме того, безопасность подготовительных работ, высокая скорость проходки, возможность применения анкерной крепи и возможность управления газовыделением на выемочном участке при очистных работах за счет наличия на границах выемочных участков целиков угля в конечном счете положительно сказываются на производительности и экономической эффективности применения технологии. Высокие эксплуатационные потери, связанные с оставлением между сдвоенными

выработками целиков угля, нивелируются последующей отработкой таких целиков на одной линии с очистным забоем после выполнения ими основных функций, согласно разработанной технологии.

Исходя из этого, в разработанной технологии принимается способ подготовки сдвоенными участковыми штреками с оставлением между ними целика угля.

Для реализации выбранного способа могут быть применены различные варианты организации работ, которые могут отличаться типом применяемого оборудования, количеством единиц техники, задействованной в одновременной или последовательной работе, взаимным положением забоев и другими факторами. Рекомендуемый вариант технологической схемы проходки сдвоенных штреков представлен на рисунке 3.2.

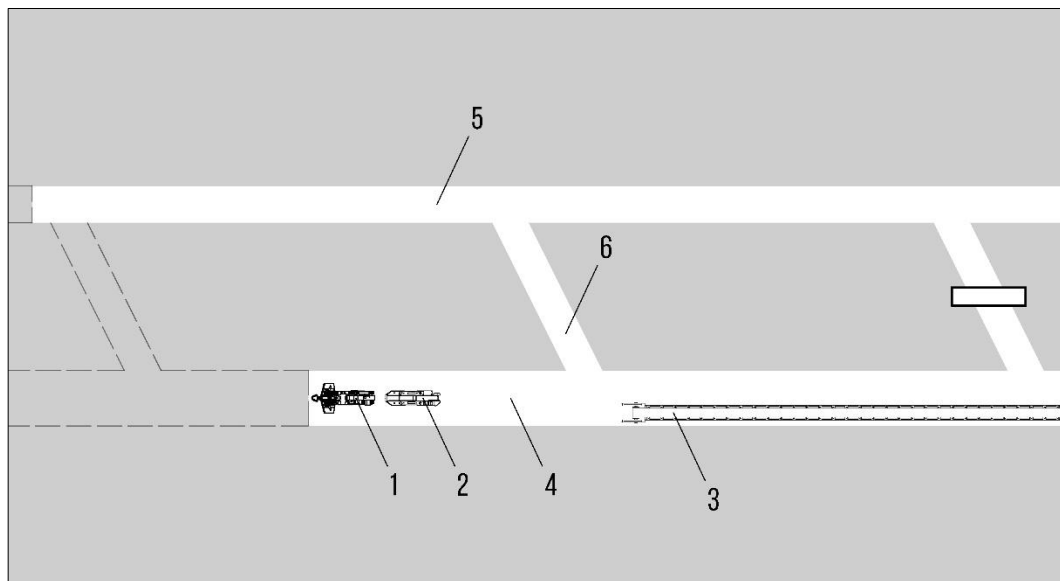


Рисунок 3.2 – Технологическая схема проходки сдвоенных штреков

(1 – проходческий комбайн; 2 – самоходный вагон; 3 – ленточный конвейер; 4 – конвейерный штрек; 5 – вентиляционный штрек; 6 – вентиляционная сбойка)

Для проведения сдвоенных штреков используется комплект оборудования, который включает в себя проходческий комбайн и самоходный вагон, которые обслуживают каждый из забоев, и ленточный телескопический конвейер, который транспортирует горную массу из обоих забоев. Ленточный конвейер в процессе проходки устанавливают в выработке, которая будет выполнять транспортную функцию при отработке подготавливаемого выемочного столба. Также в штреке с

ленточным конвейером монтируется подвесная монорельсовая дорога, предназначенная для доставки материалов к месту складирования, от которого они могут быть доставлены до забоев самоходным вагоном.

В процессе работы проходческий комбайн отбивает и перегружает горную массу в самоходный вагон, который перемещает ее до ленточного конвейера. При увеличении длины проводимой выработки на величину, равную расстоянию между вентиляционными сбойками, комбайн перемещается в забой параллельного штрека для обеспечения его проходки на аналогичную длину. Далее тупиковые части выработок объединяются между собой вентиляционной сбойкой, которая проходится из забоя проводимой выработки в забой параллельного штрека. После наращивания ленточного конвейера алгоритм действий повторяется.

Для установки в проводимой выработке анкерной крепи используется оборудование, являющееся составной частью современных проходческих комбайнов.

По аналогии с известными способами отработки выемочных столбов на современных высокопроизводительных шахтах, в разработанной технологии принимается способ отработки длинными очистными забоями с применением механизированных комплексов.

Такие комплексы состоят из механизированной крепи, очистного комбайна и забойного скребкового конвейера, а также включают в себя различное гидро- и электрооборудование, установку для орошения, многофункциональные датчики и другие вспомогательные средства.

В настоящее время широкое распространение получили механизированные крепи поддерживающе-оградительного типа, которые позволяют поддерживать кровлю и надежно ограждать очистной забой от обрушающихся в выработанном пространстве пород кровли. В то же время поддерживающе-оградительные крепи отличаются большим пространством, свободным для размещения оборудования и прохода людей, а также для проветривания лавы, что имеет большое значение для достижения высокой нагрузки на очистной забой.



Как показывает опыт работы наиболее производительных шахт Кузнецкого угольного бассейна, предпочтительным способом управления кровлей является полное обрушение в выработанном пространстве. Такой способ предполагает обрушение части пород непосредственной кровли сразу вслед за передвижкой секций механизированной крепи и обрушение основной части пород непосредственной кровли, а также пород основной кровли под действием собственного веса после прохождения лавой расстояния, равное шагу обрушения. Разрушенная порода непосредственной кровли образует породную «подушку» на оградительной части механизированной крепи, которая значительно снижает негативное воздействие посадки основной кровли в выработанном пространстве. Исходя из этого, в разработанной технологии принимается способ управления кровлей полным обрушением.

подавляющее большинство современных шахт для отработки длинных выемочных столбов применяет узкозахватные комбайны. Это наиболее прогрессивный способ в настоящее время, так как он позволяет одновременно вести выемку в зоне естественного отжима угля, образуемой опорным горным давлением перед лавой, что повышает скорость подачи и эффективность использования очистного комбайна, а также дает возможность наиболее полно использовать потенциал забойного скребкового конвейера за счет исключения его недостаточной загруженности. Совокупность этих факторов позволяет организовать надежную поточную систему с высокой производительностью.

При реализации разработанной технологии могут быть использованы различные типы оборудования и варианты организации работ. Рекомендуемая технологическая схема отработки выемочного участка (рисунок 3.3).

Большинство современных шахт производят работы на выемочном участке круглосуточно в 4 смены, 3 из которых добычные, и 1 ремонтно-подготовительная. В разработанной технологии рекомендуется использовать именно такой принцип организации работ. Ремонтная смена предназначена для регулярного обслуживания оборудования добычного участка, выполнения ремонтных, профилактических и других вспомогательных работ.

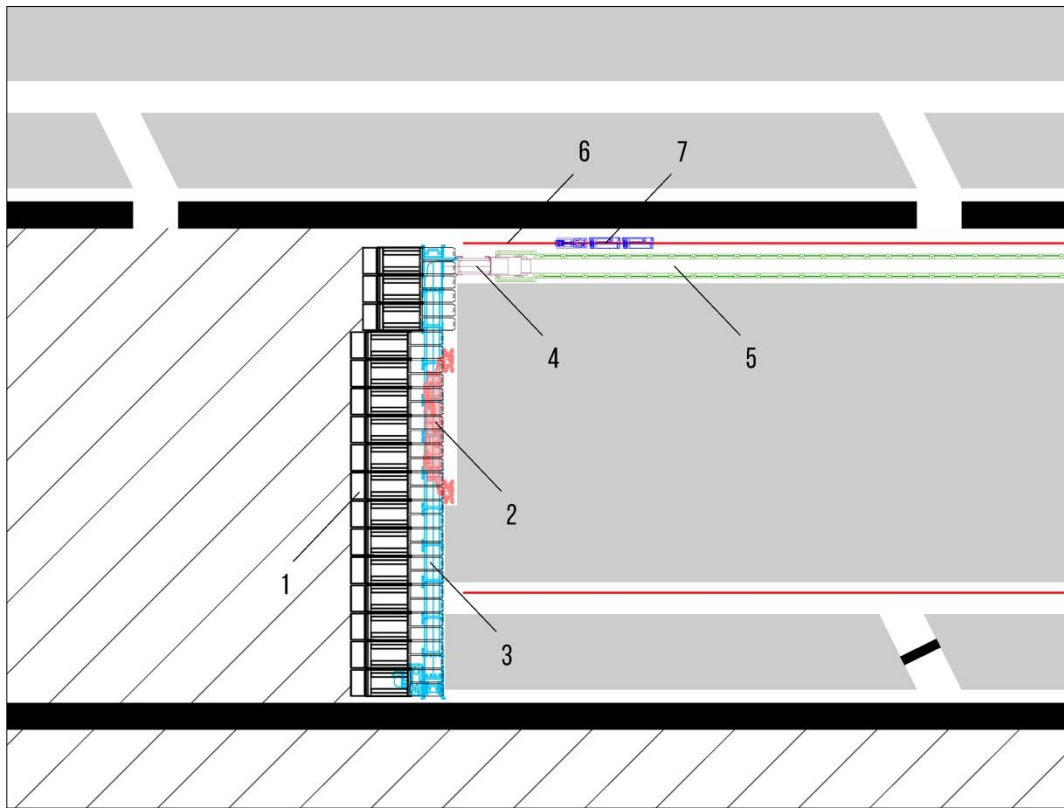


Рисунок 3.3 – Технологическая схема отработки выемочного участка (1 – секции механизированной крепи; 2 – очистной комбайн; 3 – забойный скребковый конвейер; 4 – конвейер-перегрузатель; 5 – ленточный конвейер; 6 – ось монорельса; 7 – энергопоезд)

Основной набор оборудования для отработки и транспортировки запасов выемочного участка включает в себя крепь поддерживающе-оградительного типа, узкозахватный очистной комбайн, забойный скребковый конвейер, штрековый конвейер-перегрузатель и ленточный конвейер. Также вентиляционный и конвейерный штреки оснащаются подвесной монорельсовой дорогой, которая используется для доставки материалов и людей дизелевозами.

В зависимости от мощности и угла падения обрабатываемого пласта может быть выбрана односторонняя или челноковая схема работы очистного комбайна. На пластах мощностью до 3 м и углах падения до  $12^\circ$  чаще используется челноковая схема, когда выемка производится в обоих направлениях движения комбайна, а при углах падения более  $12^\circ$  применяется односторонняя схема, когда выемка производится в направлении движения комбайна по падению, а в обратном направлении комбайн осуществляет только зачистку почвы лавы [55].

Учитывая сложные условия работы в нижней части лавы, обусловленные негативным влиянием опорного горного давления выработанного пространства смежного выемочного участка на обрабатываемый целик угля и полосу из твердеющих материалов, а также ограниченное пространство для выполнения концевых операций на сопряжении лавы с вентиляционным просеком, в разработанной технологии рекомендуется использовать одностороннюю схему работы комбайна с зарубкой в верхней части лавы косыми заездами.

В зависимости от способа вскрытия месторождения и подготовки шахтного поля добытый уголь поступает по ленточному конвейеру из участкового штрека в бремсберг, уклон или наклонный ствол, откуда выдается на поверхность по существующей транспортной системе шахты.

В отдельных случаях увеличение эффективности использования транспортной системы шахты может быть достигнуто путем измельчения добываемого угля. Так, на большинстве современных шахт уголь из лавы по забойному скребковому конвейеру поступает в ударно-валковую дробилку, откуда, после измельчения, выдается через штрековый конвейер-перегрузатель на ленточный конвейер.

В условиях, когда поддержание участковых выработок на сопряжении с лавой и в зоне влияния опорного горного давления перед ней осложняет ведение очистных работ, необходимо использовать крепь-усиление, которая позволяет уменьшить смещение пород кровли и поддерживать работоспособное состояние участковых выработок на обозначенном участке.

В последние годы на шахтах Кузбасса широкое распространение получили канатные анкера в качестве крепи-усиления [58]. Способ, показанный на рисунке 3.4, основан на упрочнении неустойчивого массива горных пород в области влияния опорного давления за счет закрепления канатных анкеров в породах, расположенных выше нарушенной зоны.

Альтернативным способом повышения устойчивости участковых выработок в зоне влияния опорного горного давления является установка гидравлических стоек усиления. Однако установка таких стоек является трудозатратным

процессом, который может повлиять на работу очистного забоя, что недопустимо для шахт с высокой концентрацией горных работ. Кроме того, при его реализации значительно сокращается рабочее пространство в выработке и, соответственно, осложняется перемещение людей, а также размещение оборудования и материалов. Использование канатных анкеров в качестве крепи усиления позволяет избежать указанных недостатков. Кроме того, канатные анкера возможно устанавливать как непосредственно перед очистным забоем, так и заблаговременно, в процессе подготовки выемочного участка.

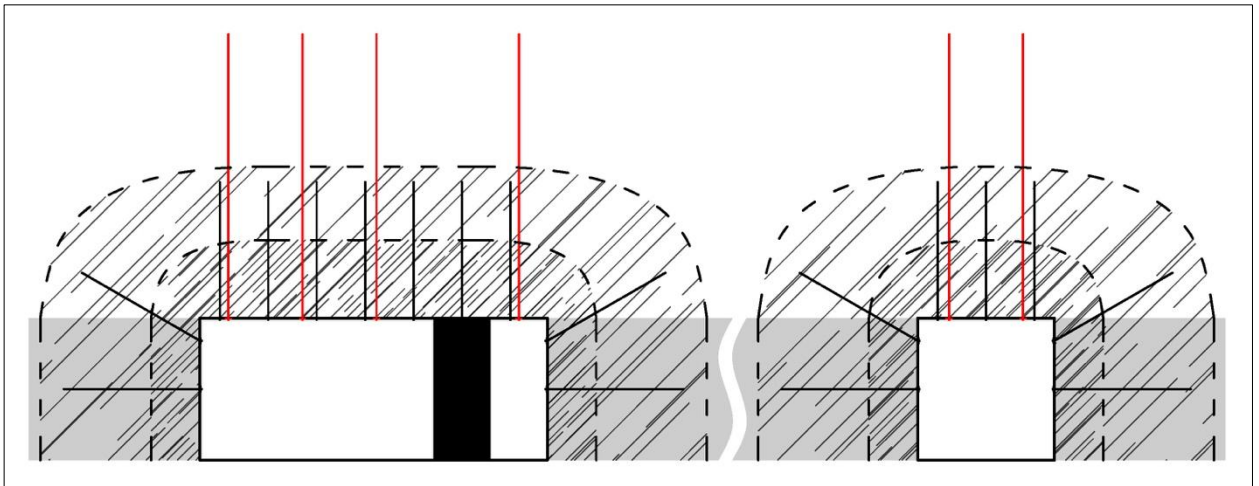


Рисунок 3.4 – Схема усиления участковых выработок канатными анкерами

При реализации разработанной технологии рекомендуется в качестве крепи усиления участковых выработок устанавливать канатные анкера. Установку канатных анкеров для охраны вентиляционного просека возможно производить при подготовке выемочного столба, так как на его состояние оказывает влияние не только опорное горное давление перед лавой, но и опорное горное давление выработанного пространства смежного выемочного участка.

### 3.2. Принципиальная схема проветривания выемочного участка

Опыт работы угольных шахт показывает, что при разработке месторождений Кузбасса существенную опасность представляет не только склонность угля к самовозгоранию, но высокая газоносность отрабатываемых пластов. При этом уровень газовыделения на выемочном участке напрямую влияет на работу очистного забоя.

Одним из основных критериев для современных технологий подземной разработки месторождений угля является возможность увеличения концентрации горных работ за счет увеличения производительности очистного забоя. Таким образом, в разработанной технологии необходимо использовать наиболее прогрессивные способы управления газовыделением на выемочном участке, которые подтвердили свою эффективность на действующих шахтах.

Одним из решений, получившим широкое распространение на шахтах Кузнецкого угольного бассейна в последние годы, является отвод части метановоздушной смеси из очистного забоя через выработанное пространство, для реализации которого необходимо оставлять целики угля между участковыми выработками отработываемого и подлежащего обработке выемочных участков. Рекомендуемая схема проветривания выемочного участка представлена на рисунке 3.5.

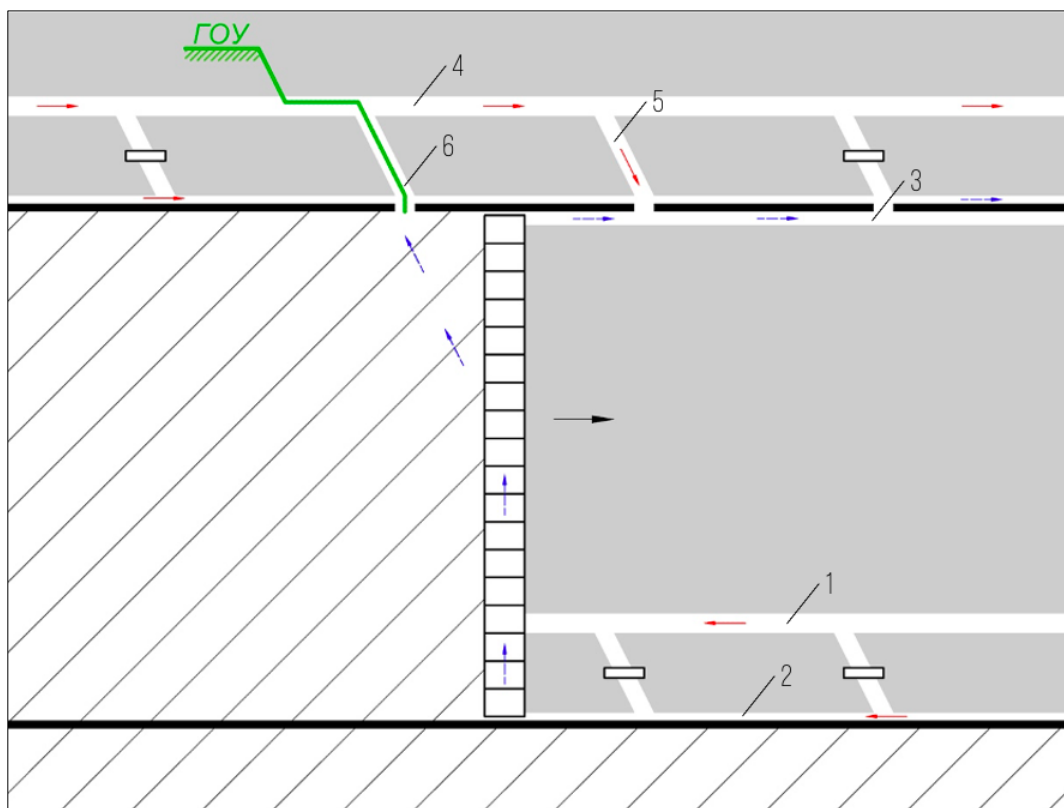


Рисунок 3.5 – Рекомендуемая схема проветривания выемочного участка

Для проветривания очистного забоя используется комбинированная схема с восходящим движением воздушной струи в лаве. Свежий воздух поступает в очистной забой по воздухоподающему штреку 1 и параллельному

вентиляционному просеку 2. Исходящая струя отводится до границы выемочного участка по конвейерному штреку 3. Из параллельного участкового штрека 4 вышерасположенного выемочного участка через вентиляционную сбойку 5 в конвейерный штрек 3 поступает подсвежающая струя воздуха.

Отвод метановоздушной смеси из выработанного пространства производится через ближайшую за лавой вентиляционную сбойку, в которую заводят трубопровод 6, размещенный в участковом штреке 4 вышерасположенного выемочного участка. В указанную выработку проводят скважины с поверхности, которые подключают к трубопроводу, и при помощи газоотсасывающей установки по скважинам на поверхность откачивают метановоздушную смесь из выработанного пространства действующего очистного забоя.

После перехода лавой следующей по ходу движения вентиляционной сбойки, трубопровод газоотсасывающей установки размещают в ней, а предыдущая вентиляционная сбойка перекрывается глухой перемычкой. Аналогичным образом, после подключения газоотсасывающей установки на поверхности к следующей по ходу движения скважине, отработанная скважина погашается.

Также для снижения объема метана, поступающего в очистной забой в процессе его работы, необходимо осуществлять дегазацию выработанного пространства, так как именно оно является основным источником газовыделения на выемочном участке. Опыт работы современных шахт Кузбасса показывает, что оптимальным способом дегазации выработанного пространства является размещение 1-2 рядов вертикальных скважин, пробуренных с поверхности в купол обрушения пород, в верхней части выемочного участка, которая является наиболее опасной зоной естественного скопления метана.

При необходимости дополнительного снижения объема метана, выделяющегося в процессе ведения очистных работ, разработанная технология может быть дополнена дегазацией пластов-спутников или отрабатываемого

пласта скважинами, пробуренными с поверхности или из горных выработок, а также другими способами дегазации.

Отвод метановоздушной смеси из выработанного пространства также может производиться с использованием сбоечных скважин за лавой, которые пробуривают в целике из участкового штрека вышерасположенного выемочного участка и подключают к газоотсасывающему трубопроводу. Преимуществом использования сбоечных скважин является сокращение расстояния между очистным забоем и точкой всасывания метановоздушной смеси в выработанном пространстве, так как расстояние между сбоечными скважинами может быть существенно меньше, чем расстояние между вентиляционными сбоями. Это позволяет снизить утечки воздуха в выработанном пространстве, что имеет значение при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию. Также возможность одновременного подключения нескольких сбоечных скважин может позволить увеличить эффективность всасывания метановоздушной смеси.

Однако, принимая во внимание, что для использования сбоечных скважин в разработанной технологии необходимо при формировании искусственной полосы оставлять отверстия для подключения к газоотсасывающему трубопроводу, что существенно осложняет процесс и увеличивает стоимость возведения искусственной полосы, в разработанной технологии отдается предпочтение использованию отвода метановоздушной смеси по сбоям за лавой.

### **3.3. Способ формирования полосы из твердеющих материалов**

Разработанная технология предполагает возведение полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба. Причем формирование полосы производится с отставанием от проходческого забоя, в то время как охрана выработок обеспечивается массивом и целиком угля. Это позволяет разделить указанные технологические процессы и исключить влияние работ по формированию полосы на скорость проведения выработок [13].

Согласно разработанной технологии, полосу из твердеющих материалов возводят непосредственно в одной из проводимых выработок (нижней), разделяя

ее полосой на две обособленные части, как показано на рисунке 3.6. Для этого ширину проводимой выработки необходимо увеличивать на величину, равную ширине полосы из твердеющих материалов.

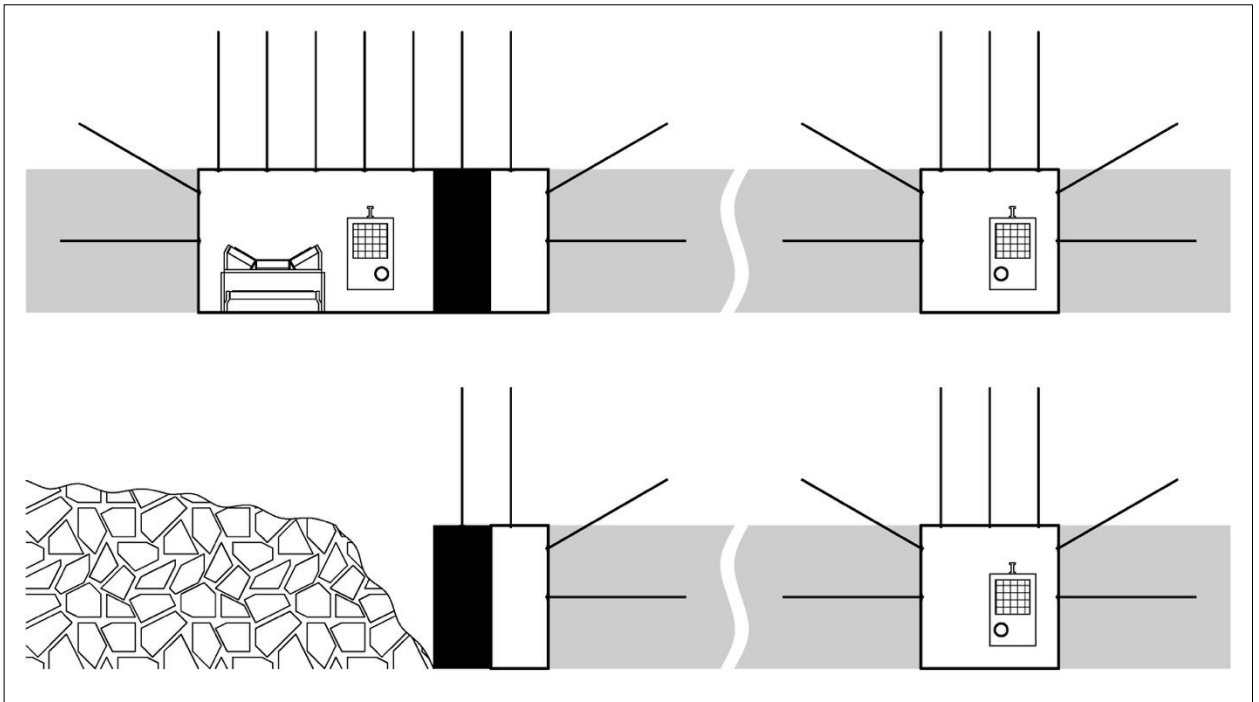


Рисунок 3.6 – Схема расположения искусственной полосы в выработке

Для предотвращения образования аэрологической связи между обрабатываемым выемочным участком и выработанным пространством ранее отработанного участка полосу из твердеющих материалов необходимо возводить на полную высоту выработки. В таких условиях в процессе конвергенции пород кровли и почвы в месте установки полосы происходит их уплотнение, что позволяет обеспечить необходимую изоляцию обрабатываемого выемочного участка.

Формирование полосы из твердеющих материалов в выработке позволяет применять способ, основанный на использовании многоразовой сборно-модульной опалубки, показанный на рисунке 3.7, который в сравнении со способами, основанными на использовании механизированной конструктивно-технологической опалубки, органной крепи, металлической сетки, а также на выкладывании полос из мешков с гидрофильной быстротвердеющей смесью, отличается низкими трудоемкостью и расходом материалов.



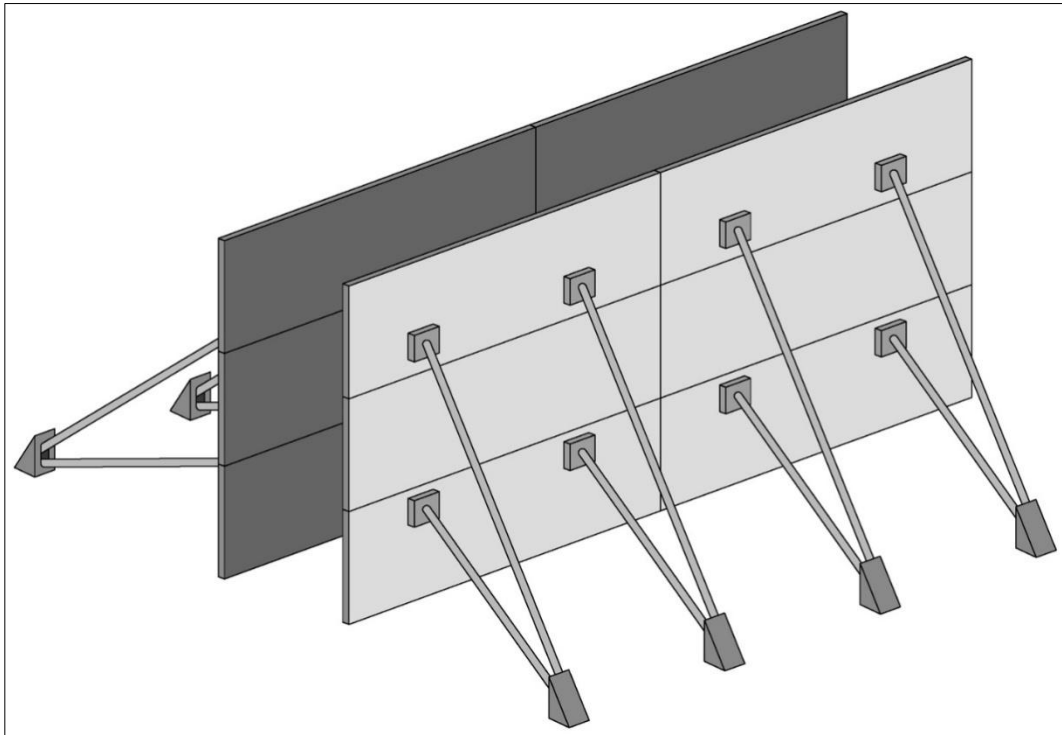


Рисунок 3.7 – Конструкция сборно-модульной опалубки

Сборно-модульная опалубка состоит из каркаса, щитов (палубы), крепежных материалов (замков и стяжек), а также удерживающих стоек (подкосов). При монтаже сборной опалубки щиты устанавливаются на раму при помощи замков. Для сохранения герметичности конструкции на раме имеются пазы для соединения с соседними щитами. При необходимости собранная конструкция может быть закреплена стяжками. До заливки твердеющей смеси конструкция усиливается подкосами, которые также закрепляются на раме замками. После полного застывания твердеющей смеси конструкция разбирается, элементы конструкции очищаются и складываются для повторного использования.

Для формирования полосы из твердеющих материалов в выработку по монорельсовой дороге доставляют поддоны с мешками твердеющей смеси, которые складываются у вентиляционной сбойки. Операции по формированию полосы производят с отставанием от тупиковой части проводимой выработки на расстояние не меньшее, чем длина участка между вентиляционными сбойками сдвоенных участковых штреков.

Порядок работ: сборка модульной опалубки; приготовление раствора в пневматическом бетоносмесителе-дозаторе и его подача по трубопроводу в опалубку; демонтаж и складирование элементов конструкции опалубки после застывания твердеющей смеси.

Искусственная полоса формируется сегментами с оставлением проходов, предназначенных для обеспечения доступа к вентиляционным сбойкам на время отработки нижерасположенного выемочного участка, как показано на рисунке 3.8.

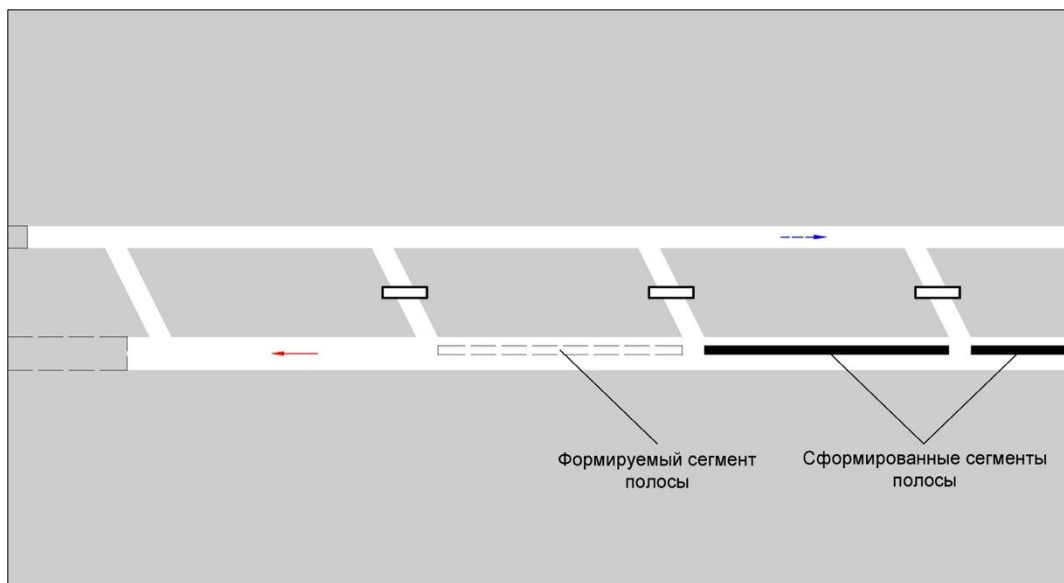


Рисунок 3.8 – Технологическая схема возведения искусственной полосы

В случае необходимости увеличения производительности работ могут быть использованы несколько одновременно работающих пневматических бетоносмесителей-дозаторов или доставка твердеющей смеси по трубопроводу с поверхности. Однако, учитывая высокую надежность пневматического способа доставки твердеющей смеси по трубопроводу ограниченной протяженности, он является предпочтительным при реализации разработанной технологии.

### Выводы по главе 3

Для повышения производительности горных работ при реализации технологии с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба для отработки пологих пластов угля, склонного к

самовозгоранию, необходимо использовать ряд технологических решений, показавших высокую эффективность на действующих производительных шахтах.

Обеспечить стабильность, безопасность и высокую производительность при подготовке выемочных столбов позволяет способ проходки сдвоенными участковыми штреками с оставлением целика угля между ними. Оставление целика и проведение в нем вентиляционных сбоек между сдвоенными выработками позволяет ограничить длину тупиковых частей проводимых выработок и использовать для крепления участковых выработок анкерную крепь, что делает указанный способ предпочтительным при подготовке выемочных столбов большой протяженности.

Для обеспечения высокой нагрузки на очистной забой выемочные участки необходимо отрабатывать с использованием механизированных комплексов, оснащенных крепью поддерживающе-оградительного типа, узкозахватным очистным комбайном и забойным скребковым конвейером. Для транспортирования угля из очистного забоя до границы выемочного участка необходимо использовать штрековый конвейер-перегрузатель и ленточный конвейер. Для доставки людей и материалов участковые штреки оснащаются подвесной монорельсовой дорогой.

С учетом осложненных условий работы в нижней части лавы, которые обусловлены влиянием опорного горного давления, формируемого как на границе с выработанным пространством, так и перед очистным забоем, рекомендуется устанавливать канатную анкерную крепь в качестве крепи усиления вентиляционного просека при подготовке выемочного столба. С учетом осложненных условий работы в нижней части лавы и ограниченного пространства для выполнения концевых операций на сопряжении лавы с вентиляционным просеком, рекомендуется использовать одностороннюю схему работы комбайна с зарубкой в верхней части лавы косыми заездами.

Для снижения влияния газового фактора на работу очистного забоя выемочный участок рекомендуется проветривать с использованием комбинированной схемы. Также для снижения объема метана, поступающего в

очистной забой в процессе его работы, рекомендуется осуществлять дегазацию выработанного пространства скважинами, пробуренными с поверхности в купол обрушения пород в верхней части выемочного участка.

Для исключения влияния работ по формированию полосы из твердеющих материалов на скорость проведения выработок операции по формированию полосы производят с отставанием от тупиковой части проводимой выработки на расстояние не меньшее, чем длина участка между вентиляционными сбойками сдвоенных участковых штреков.

Для обеспечения доступа к вентиляционным сбойкам на время отработки нижерасположенного выемочного участка искусственная полоса формируется сегментами с оставлением проходов.

Для снижения трудоемкости процесса и расхода материалов при формировании искусственных полос рекомендуется использовать многоразовую сборно-модульную опалубку.

При необходимости увеличения производительности работ по формированию полос из твердеющих материалов могут быть использованы несколько одновременно работающих пневматических бетоносмесителей-дозаторов или доставка твердеющей смеси по трубопроводу с поверхности.

## **ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШАХТ КУЗБАССА**

### **4.1. Экспериментально-аналитические исследования процесса отработки пологого пласта угля с применением разработанной технологии**

Для оценки возможности использования разработанной технологии необходимо определить напряженно-деформированное состояние полос из твердеющих материалов, целиков угля и других элементов технологии на разных этапах отработки выемочного столба.

Одним из наиболее эффективных методов исследования процессов разрушения массива горных пород в ходе ведения горных работ является метод конечных элементов, который представляет собой мощное вычислительное средство и получил широкое распространение с развитием программного обеспечения для компьютерной техники. Метод конечных элементов часто используют в геомеханике и геотехнике, так как он позволяет получать решения различных нелинейных задач.

Интерпретация результатов расчетов при использовании метода конечных элементов отличается своей достоверностью, так как аппроксимация объекта исследования на конечное число элементов имеет хорошо выраженную физическую природу. Кроме того, метод конечных элементов позволяет оценивать изменения напряжений в модели, состоящей из тел с различными физико-механическими свойствами.

Принимая во внимание широкие возможности и высокую достоверность результатов метода конечных элементов в вопросах определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород, он принят в качестве основного метода исследований.

Для реализации принятого метода в работе используется компьютерное моделирование в программной системе конечно-элементного анализа «ANSYS».

Для определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в исследуемой области в качестве исходных данных задавались глубина расположения исследуемых объектов, размер объектов в заданном масштабе, физико-механические свойства породных слоев, слагающих массив, и другие характеристики, влияющие на прочностные и деформационные свойства (коэффициент структурного ослабления, обводненность и др.).

Моделирование производилось с целью оценки возможности использования полосы из твердеющих материалов в качестве средства изолирования выемочного участка от выработанного пространства смежного ранее отработанного участка. Расчетная схема исследуемой области, включающая смежные отработанный, отрабатываемый и подлежащий отработке выемочные участки, представлена на рисунке 4.1.

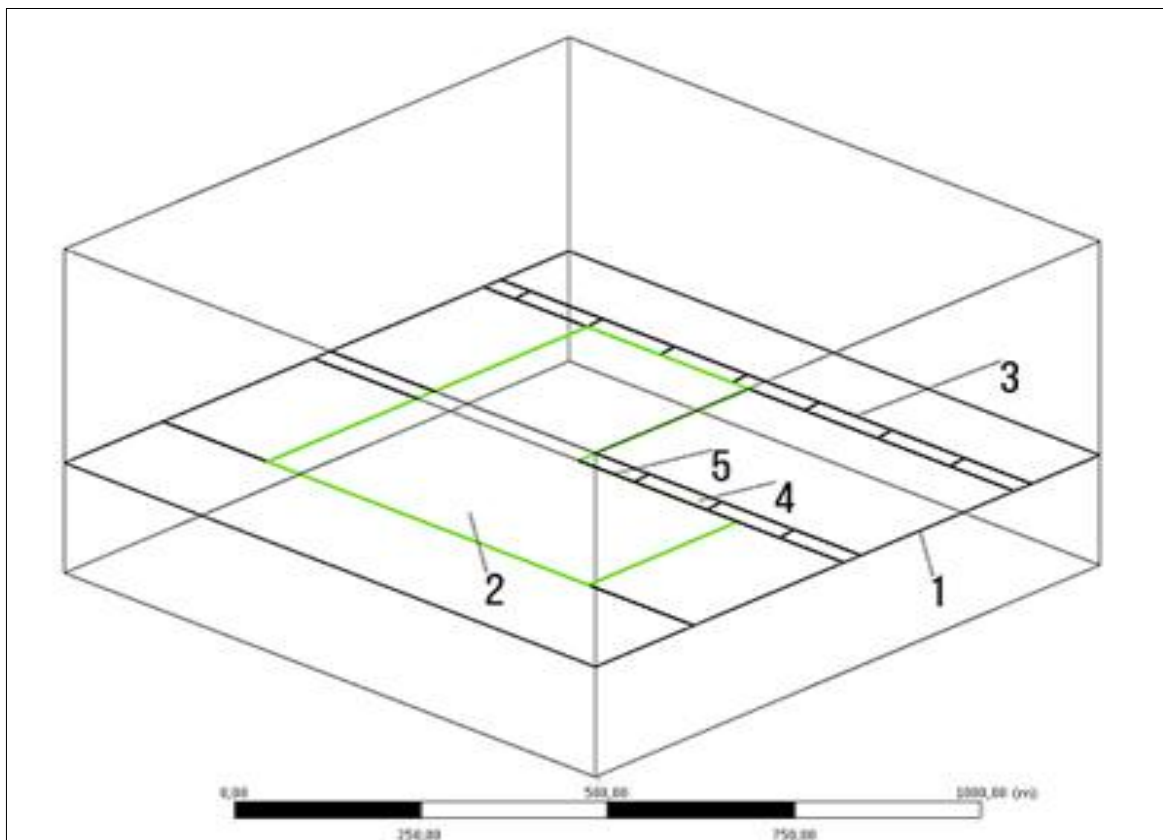


Рисунок 4.1 – Каркас объемной модели

Трехмерная модель включает в себя: 1 – пласт угля; 2 – выработанное пространство; 3 – участковые выработки; 4 – целики угля; 5 – полосы из твердеющих материалов.

Параметры модели: глубина ведения работ — 350 м, мощность пласта — 2,5 м, длина лавы — 300 м, ширина целика — 25 м, ширина полосы из твердеющих материалов — 1 м, высота полосы из твердеющих материалов — 2,5 м. Физико-механические свойства материалов, используемых в модели, представлены в таблице 4.1 [80].

Таблица 4.1 – Физико-механические характеристики материалов [80]

Характеристики	Уголь	Вмещающие породы	Полоса (бетон, класс В50)
Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	10	33	64
Предел прочности на растяжение, МПа	0,8	4,5	6,4
Плотность, т/м <sup>3</sup>	1,35	2,5	2,5
Модуль упругости (Юнга), МПа	3 000	30 000	39 000
Коэффициент Пуассона	0,1	0,25	0,15

Нагрузка модели производилась весом вышележащих пород. Выработанное пространство моделировалось как заполненное обрушенными породами с использованием насыпной плотности пород и пониженных деформационно-прочностных характеристик. Участковые выработки моделировались как пустое пространство, крепь выработок не моделировалась.

В ходе исследований производился анализ изменений напряженно-деформированного состояния полос из твердеющих материалов, целиков угля и вмещающего угольный пласт массива горных пород в зависимости от положения очистного забоя при отработке выемочного участка с использованием разработанной технологии. Пример полученных результатов моделирования представлен на рисунке 4.2.

После выемки пласта угля на полную мощность в массиве горных пород над и под выработанным пространством формируются зоны разгрузки. Площадь зоны разгрузки в породах кровли значительно превышает площадь зоны разгрузки в породах почвы.

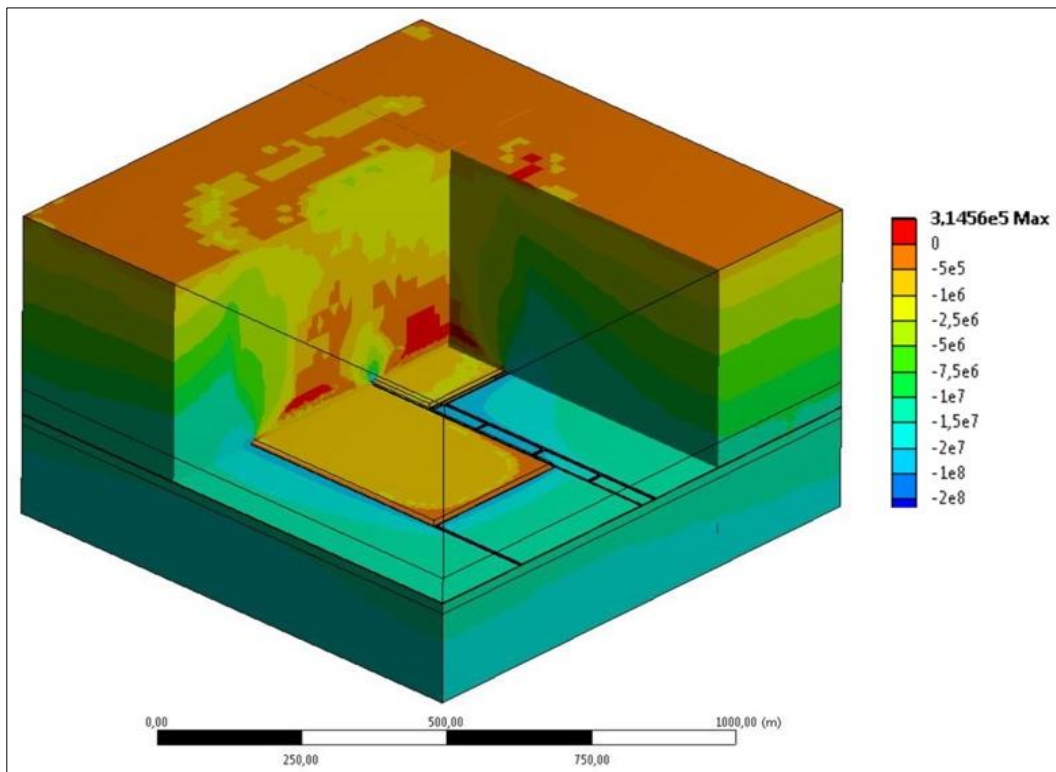


Рисунок 4.2 – Характер распределения напряжений в массиве горных пород и изолирующей полосе при использовании рекомендуемой технологии

По периметру выработанного пространства как ранее отработанного, так и обрабатываемого выемочного участков, формируются зоны влияния опорного горного давления. Площадь зоны влияния опорного горного давления от выработанного пространства каждого из выемочных участков по падению пласта практически не отличается. При этом площадь зоны влияния опорного горного давления от выработанного пространства ранее отработанного выемочного участка по простиранию существенно больше площади зоны влияния опорного горного давления от выработанного пространства обрабатываемого участка, что отражено на рисунке 4.3.

Важно отметить, что на стадии проведения сравнения размер выработанного пространства исследуемых выемочных участков по падению (длина лавы) идентичен, в то время как размер по простиранию (длина выемочного столба) отличается в 2 раза. Этот факт свидетельствует о существовании зависимости между размером выработанного пространства (выемочного столба) и площадью зоны влияния опорного горного давления в краевой части массива.



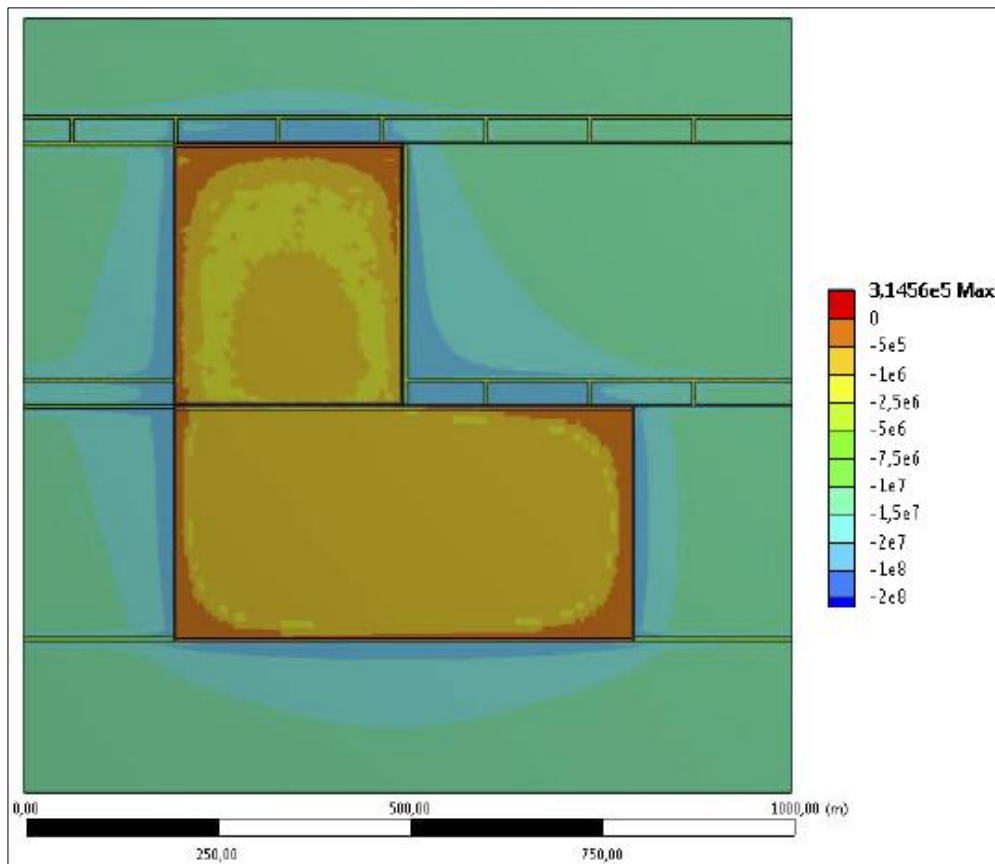


Рисунок 4.3 – Характер распределения напряжений в плоскости напластования на высоте 1 м от почвы пласта

При оценке полученных результатов необходимо учитывать тот факт, что краевая часть со стороны выработанного пространства длиной 600 м представляет собой нетронутый массив горных пород, в то время как краевая часть со стороны выработанного пространства длиной 300 м представляет собой массив с полостями в виде горных выработок, наличие которых сказывается на разупрочнении массива. Этим объясняется дополнительное увеличение зоны влияния опорного горного давления выработанного пространства обрабатываемого столба в рамках проведенного эксперимента.

В процессе отработки выемочного участка перед очистным забоем также формируется опорное горное давление. Согласно полученным результатам моделирования, площадь зоны влияния опорного горного давления перед очистным забоем изменяется в направлении падения пласта. Увеличение наблюдается от конечного участка лавы у границы с нетронутым массивом к

концевому участку лавы у границы с выработанным пространством ранее отработанного смежного выемочного участка.

Значительное увеличение влияния опорного горного давления перед очистным забоем на концевом участке лавы у границы с выработанным пространством ранее отработанного смежного выемочного участка обусловлено наложением зон влияния опорного горного давления — сформированными перед действующим очистным забоем и в краевой части массива на границе с выработанным пространством.

Анализ концентрации напряжений в целике угля и полосе из твердеющих материалов на границе с выработанным пространством показывает, что большая часть нагрузки от пород кровли распределяется по целику, что показано на рисунке 4.4. Это объясняется тем, что полоса из твердеющих материалов выполняет обрезающую функцию. После отработки пласта угля на полную мощность на границе с полосой из твердеющих материалов в выработанном пространстве происходит обрушение пород кровли. Полоса испытывает воздействие только части кровли над собой, в то время как основная нагрузка распределяется по целику и смежному массиву в зависимости от величины опорного горного давления.

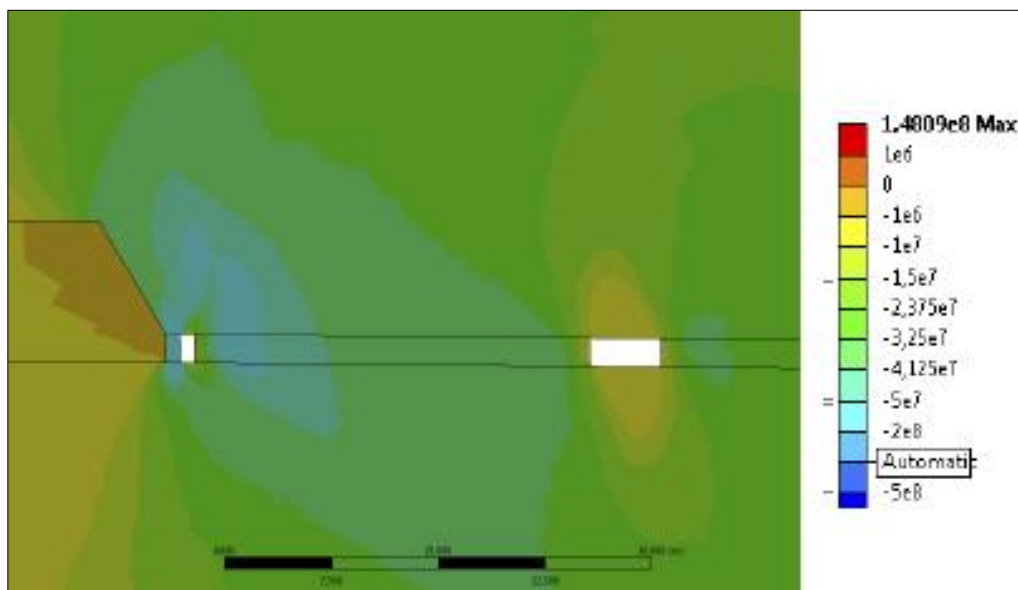


Рисунок 4.4 – Распределение напряжений на границе с выработанным пространством

Оценка зон предельного состояния массива горных пород в исследуемой области позволяет сделать вывод, что при реализации разработанной технологии и использовании полосы из твердеющих материалов необходимой прочности и ширины, при которых она способна выдержать возникающую нагрузку, остается опасность разрушения краевых частей целика, что показывает рисунок 4.5. Также воздействие опорного горного давления может оказать влияние на состояние участкового штрека, расположенного с противоположной стороны от целика угля.

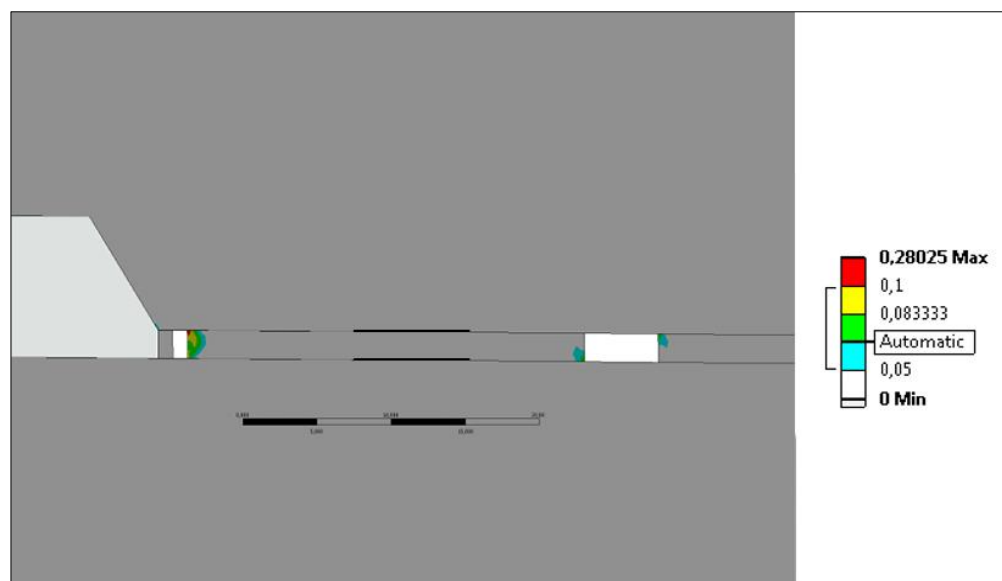


Рисунок 4.5 – Зоны предельного состояния (разрушения) массива горных пород на границе с выработанным пространством

Обеспечить устойчивость вентиляционного просека и воздухоподающего штрека возможно путем обработки боков выработок со стороны целика и массива угля полиуретановой инъекционной смолой. Она позволит предотвратить разрушение краевой части целика, а также исключить возможность фильтрации утечек воздуха по трещинам в целике, что имеет большое значение при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию.

На стадии, когда полосу из твердеющих материалов после отработки целика угля на одной линии с очистным забоем оставляют за лавой в выработанном пространстве между двух смежных выемочных участков, на нее начинает оказывать воздействие полный вес вышележащих пород кровли. На рисунке 4.6 показано, что при этом концентрация напряжений наблюдается как в самой полосе, так и в массиве горных пород над и под ней.

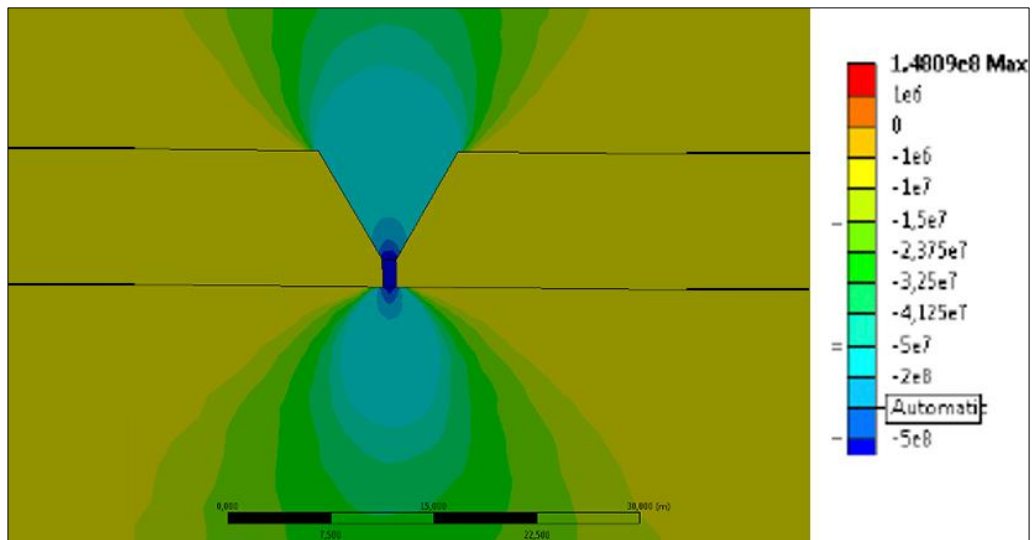


Рисунок 4.6 – Распределение напряжений в выработанном пространстве на границе между выемочными участками

Анализ предельного состояния исследуемого участка массива горных пород на указанной стадии показывает, что полоса из твердеющих материалов, способная выдержать нагрузку, воздействующую на нее в процессе, когда полоса находится в положении между выработанным пространством и целиком угля, разрушается при воздействии на нее нагрузки, возникающей в выработанном пространстве на границе двух смежных выемочных участков, что отражено на рисунке 4.7.

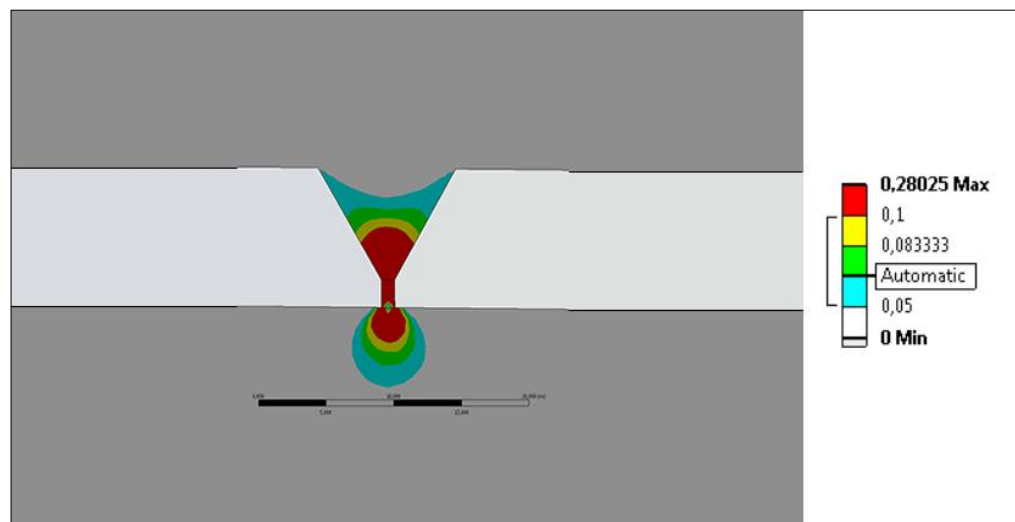


Рисунок 4.7 – Зоны предельного состояния (разрушения) массива горных пород в выработанном пространстве на границе выемочных участков

Важно отметить, что значительное напряжение, возникающее в породах кровли над полосой из твердеющих материалов и в породах почвы под ней на

стадии, когда полоса остается за лавой в выработанном пространстве после отработки целика угля на одной линии с очистным забоем, также приводит к их разрушению [80].

Независимо от последовательности разрушений в выработанном пространстве, изоляция выемочного участка обеспечивается уплотнением материалов полосы породами вмещающей толщи. Факт значительного снижения воздухопроницаемости разрушенных пород за счет их уплотнения под воздействием горного давления в выработанном пространстве убедительно подтвержден, в частности, шахтными исследованиями В.С. Елькина [20].

#### 4.2. Определение параметров разработанной технологии

При сравнении разработанной технологии с ее прототипом в виде базовой технологии можно отметить, что разработанную технологию главным образом отличает наличие полосы из твердеющих материалов на границе выемочных участков и отсутствие целиков угля в выработанном пространстве, что показано на рисунке 4.8.

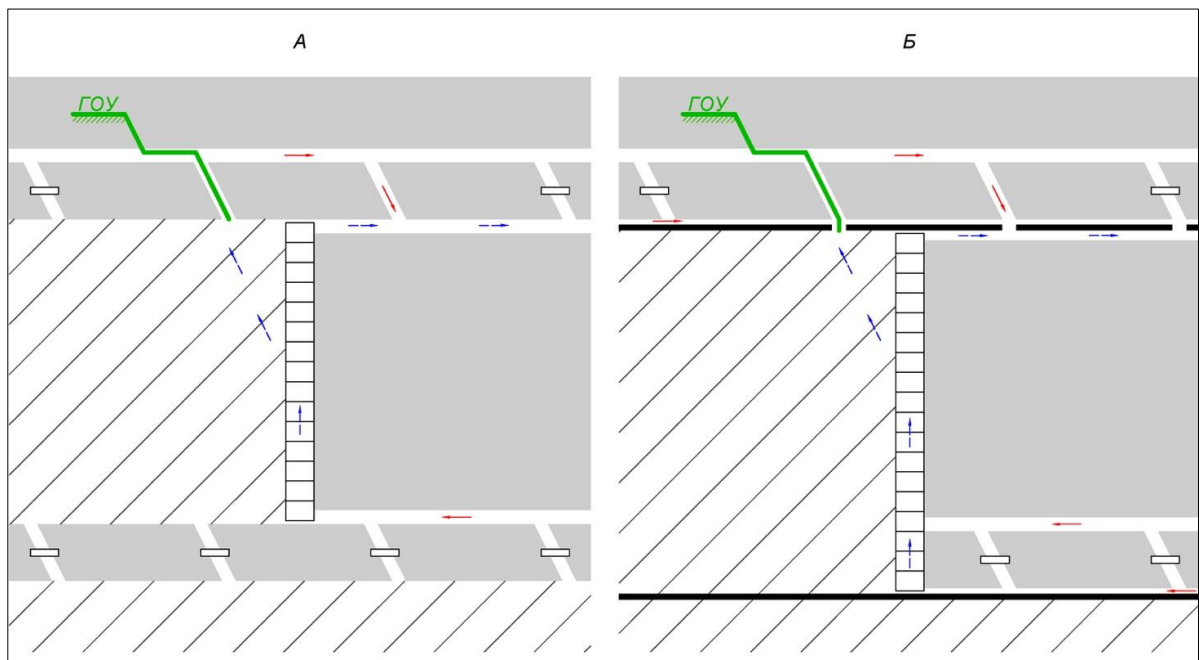


Рисунок 4.8 – Системы разработки: А – прототип; Б – разработанная технология

При этом для одинаковых горно-геологических условий длина выемочного столба, длина лавы, число подготовительных выработок в границах выемочного участка и другие параметры могут совпадать в обоих случаях.

Отдельно следует отметить изменения в схеме проветривания выемочного участка, которые связаны с возможностью подачи дополнительной подсвежающей струи воздуха по вентиляционному просеку при реализации разработанной бесцеликовой технологии, которая может позволить увеличить нагрузку на очистной забой и положительно сказаться на безопасности ведения горных работ.

Также при реализации разработанной технологии могут измениться площадь поперечного сечения участковых выработок и их назначение. Это связано с необходимостью размещения в штреке на верхней границе выемочного участка ленточного конвейера, монорельсовой дороги и полосы из твердеющих материалов. В то же время поперечное сечение штрека в нижней части выемочного участка может быть уменьшено, так как он будет служить только для подачи свежего воздуха и вспомогательных нужд.

С изменением горно-геологических условий схема проветривания останется неизменной, а размер поперечного сечения горных выработок будет определяться исходя из числа габаритных размеров применяемого оборудования с учетом требований Правил безопасности: по минимальной площади сечения выработок, минимальной величине зазоров между применяемым оборудованием и крепью, минимальным размерам проходов для людей, минимальной и максимальной скорости движения воздуха в выработке и др. В то же время размеры целиков угля и полос из твердеющих материалов в значительной степени определяются горно-геологическими условиями их использования. Исходя из этого, особый интерес представляет определение параметров полос из твердеющих материалов и целиков угля при отработке пологих пластов с использованием разработанной технологии на различной глубине и при различной мощности вынимаемого пласта.

Для расчета ширины целиков угля могут быть использованы те же методические рекомендации, инструкции и прочие документы, которые применяются в настоящее время при проектировании современных шахт для определения параметров базовой технологии, так как в обоих случаях целики

имеют одинаковое назначение. В настоящей работе ширина целиков угля определялась с использованием методических указаний ВНИМИ, согласно которым ленточные целики, оставленные в выработанном пространстве, испытывают нагрузку, оказываемую весом массива горных пород над целиком [37]. На рисунке 4.9 показано, что часть массива, вес которой необходимо учитывать при расчете нагрузки на целик, в сечении имеет форму трапеции, построение которой производится проведением двух отрезков от краевых частей целика до поверхности под углом  $\alpha$  (4.1) [37].

$$\alpha = 90^\circ - \varphi \quad (4.1)$$

где  $\varphi$  – угол полных сдвижений пород.

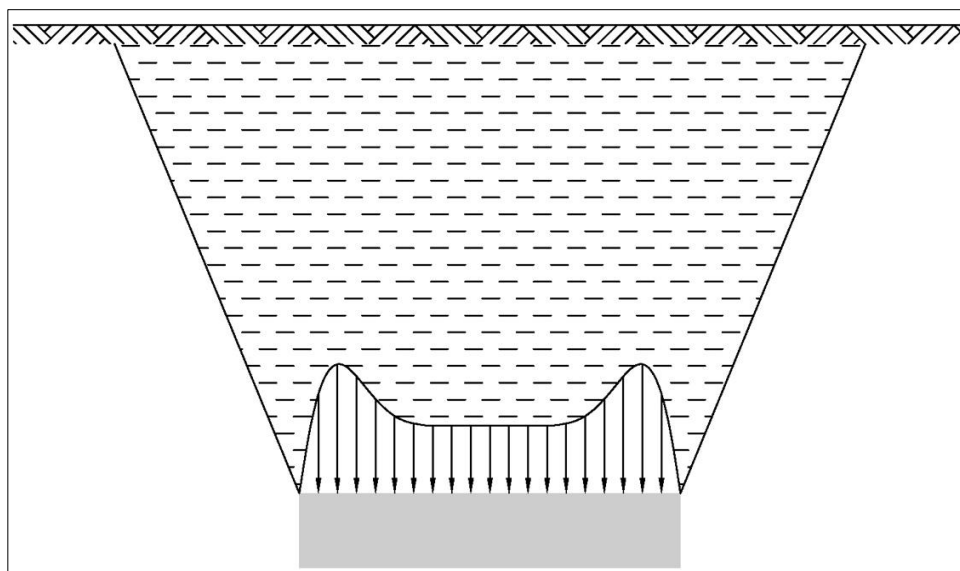


Рисунок 4.9 – Схема для определения нагрузки на целик угля

Целик угля начинает испытывать влияние полного веса указанной части массива горных пород над собой после проведения с двух сторон от него очистных работ с управлением кровлей полным обрушением в выработанном пространстве.

Ширина целиков определяется из равенства (4.2) [37]:

$$(B + H \cdot \operatorname{tg} \alpha)(d + l) \gamma \cdot H = R_c \cdot B \cdot l \left( 0,75 + 0,25 \frac{B - q}{m} \right) \quad (4.2)$$

где  $B$  – ширина целика угля, м;  $H$  – глубина ведения горных работ, м;  $d$  – суммарная ширина вентиляционных сбоек, м;  $l$  – длина целика, м;  $\gamma$  – объемный

вес пород, т/м<sup>3</sup>;  $R_c$  – кубиковая прочность угля на сжатие, тс/см<sup>2</sup>;  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м.

Расчет ширины целиков производился по усредненным физико-механическим свойствам горных пород Кузнецкого угольного бассейна. С целью определения влияния глубины ведения горных работ и мощности отрабатываемого пласта на ширину целиков расчеты проводились для глубины от 100 до 400 м с шагом в 100 м и для мощности отрабатываемого пласта от 1 до 5 метров с шагом в 0,5 м.

Согласно требованиям «Инструкции по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля», подготовка пологих и наклонных пластов горными выработками по углю должна осуществляться с оставлением целиков между выработками смежных столбов шириной не менее 20 м [52]. Исходя из этого, при расчетной ширине целика менее 20 м принималась минимальная ширина целика – 20 м.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчетов ширины целика угля при различной мощности пласта и глубине ведения горных работ

Мощность пласта, м	Глубина ведения горных работ, м			
	100	200	300	400
Ширина целика угля, м				
1	20	20	24	33
1,5	20	20	30	40
2	20	22	35	47
2,5	20	25	39	53
3	20	27	43	58
3,5	20	29	46	63
4	20	31	50	68
4,5	20	33	53	73
5	20	35	56	77

Зависимость ширины целика угля от глубины ведения горных работ и мощности отрабатываемого пласта представлена на рисунке 4.10.



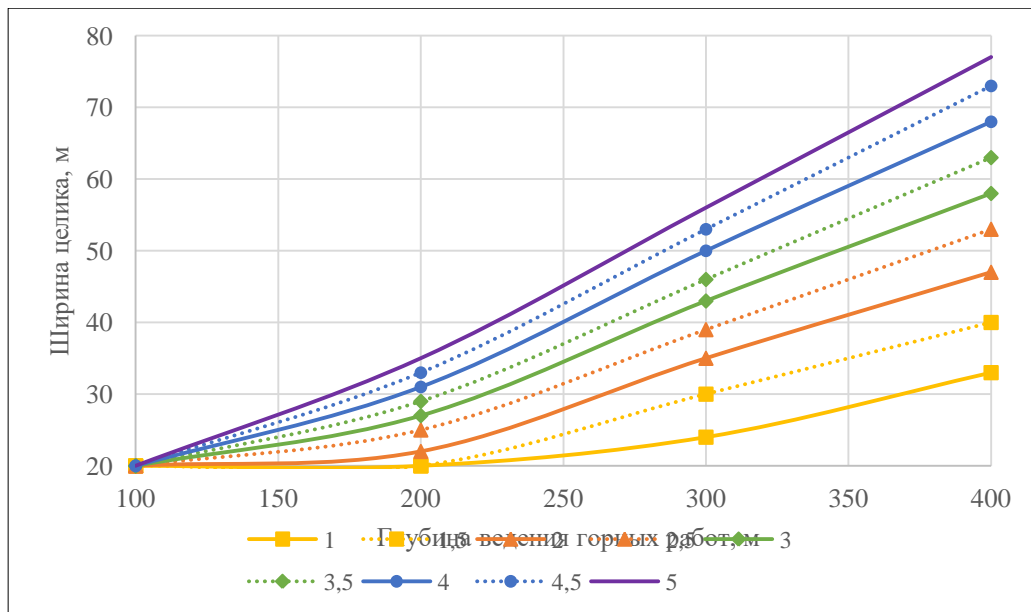


Рисунок 4.10 – График зависимости ширины целика угля от мощности пласта и глубины ведения горных работ

Полосы из твердеющих материалов успешно применялись в качестве способа охраны горных выработок на шахтах Германии и Донецкого угольного бассейна, а также являлись предметом многочисленных научных исследований. В настоящее время существует большое количество инструкций и методических рекомендаций по расчету их параметров [4, 5, 9, 16, 56, 64].

Анализ известных методов расчета параметров полос из твердеющих материалов показывает, что основным фактором, определяющим нагрузку на полосу, являются свойства непосредственной и основной кровли, а именно их прочностные и структурные характеристики, в то время как глубина ведения горных работ не имеет определяющего значения.

Блок пород непосредственной кровли над охраняемой выработкой удерживается целиком угля и полосой из твердеющих материалов, при том, что на границе с полосой в выработанном пространстве происходит полное обрушение пород непосредственной кровли пласта. Обрушенные породы в выработанном пространстве подбучивают зависающие породы основной кровли и принимают на себя часть нагрузки.

При определении нагрузки на полосу из твердеющих материалов также необходимо учитывать скорость подвигания очистного забоя и шаг обрушения

пород кровли. Указанные факторы определяют продолжительность периода, в течение которого со стороны выработанного пространства от полосы уже произведена выемка пласта, но еще не произошло обрушение пород непосредственной кровли на границе с полосой [79].

Согласно разработанной технологии, высота полосы из твердеющих материалов принимается равной высоте участковой выработки. Ширина полосы определялась с использованием инструкции по охране выемочных выработок полосами из твердеющих материалов, разработанной ИГД им. Скочинского [9].

Нагрузка  $P$  на 1 м полосы из твердеющих материалов определялась по формуле (4.3) [9]:

$$P = \frac{\gamma \cdot h_{\text{н}}(b + 2,5)(b + 0,4 \cdot h_{\text{н}} + 2,5) + \gamma \cdot l(10m - h_{\text{н}})(l + 0,4h_{\text{н}} + 4m)}{2b - m + 5} \quad (4.3)$$

где  $\gamma$  – средний объемный вес пород кровли, т/м<sup>3</sup>;  $h_{\text{н}}$  – мощность непосредственной кровли, м;  $b$  – ширина охраняемой выработки, м;  $l$  – шаг обрушения основной кровли, м;  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м.

Ширина полосы  $b_{\text{п}}$  из твердеющих материалов, на которую оказывается воздействие нагрузки  $P$ , рассчитывается по формуле (4.4) [9]:

$$b_{\text{п}} = \sqrt[3]{\frac{k_3^2 \cdot m \cdot P^2}{\sigma_{\text{сж}}^2}} \quad (4.4)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса (при ширине полосы  $\leq 1,5$  м – 1,5; при ширине полосы  $> 1,5$  м – 1,2);  $\sigma_{\text{сж}}$  – прочность материала полосы на одноосное сжатие, тс/м<sup>2</sup>.

Расчет ширины полос из твердеющих материалов, как и расчет ширины целиков угля, производился по усредненным физико-механическим свойствам горных пород Кузбасса. Принимая во внимание, что изменение глубины ведения горных работ не оказывает прямого влияния на изменение ширины полос из твердеющих материалов, а наиболее эффективным способом управления ее шириной является использование материалов с различной прочностью, расчет производился с целью определения влияния мощности отрабатываемого пласта и прочности используемых материалов на ширину полосы. Расчетные значения

определялись для мощности отрабатываемого пласта от 1 до 5 метров с шагом в 0,5 м и для бетона, имеющего класс прочности В22,5, В27,5, В30 и В35.

Согласно принятой методике расчета ширины полос из твердеющих материалов, минимальная ширина полосы должна составлять 0,7 от мощности отрабатываемого пласта [9]. В то же время, согласно рекомендациям [10], разработанным ИГД им. Скочинского, во всех случаях, кроме тех, когда охраняемая выработка проводится вприсечку к ранее погашенной выработке, минимальная ширина полосы из твердеющих материалов должна составлять не менее 1,0 м. Таким образом, наибольшее значение при сравнении полученных результатов расчета с указанными требованиями по минимальной ширине полосы принималось как итоговая ширина полосы.

Правила безопасности для угольных шахт устанавливают высоту части горизонтальной или наклонной выработки, предназначенной для передвижения людей, не менее 1,8 м [54]. Исходя из этого, высота участковой выработки, разделяемой полосой из твердеющих материалов на вентиляционный штрек и вентиляционный просек, и, соответственно, высота самой полосы на пластах мощностью 2 м и менее при расчетах принимались равными 2 м.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчетов ширины полосы из твердеющих материалов при различной мощности пласта и прочности используемых материалов

Мощность пласта, м	Класс прочности бетона			
	В22,5	В27,5	В30	В35
Ширина полосы из твердеющих материалов, м				
1	2	1,7	1,6	1,7
1,5	2	1,7	1,6	1,7
2	2	1,7	1,6	1,7
2,5	3	2,7	2,5	2,3
3	4,4	3,8	3,6	3,5
3,5	6	5,3	5	4,5
4	8,1	7,1	6,7	6
4,5	10,9	9,5	9	8,1
5	14,7	12,8	12,1	10,9

Зависимость ширины полосы из твердеющих материалов от мощности пласта и прочности используемых материалов представлена на рисунке 4.11.

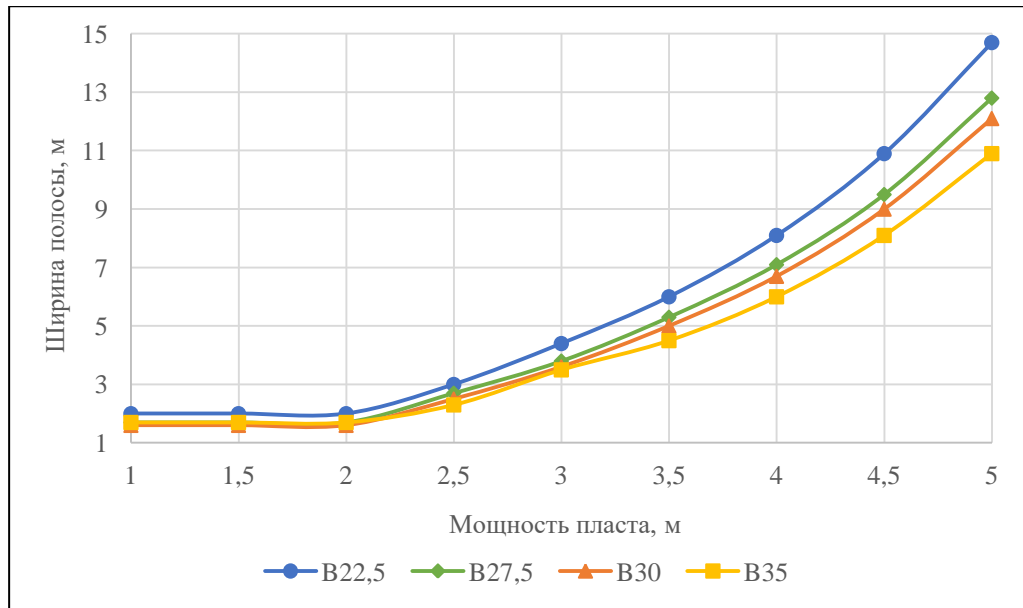


Рисунок 4.11 – График зависимости ширины полосы из твердеющих материалов от мощности пласта и прочности используемых материалов

#### 4.3. Оценка экономической эффективности разработанной технологии

Оценку экономической эффективности разработанной технологии необходимо производить на основании сравнительного анализа с ее прототипом – системой разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками и оставлением целиков угля в выработанном пространстве. Это обусловлено тем, что в настоящее время указанная система разработки применяется при отработке пологих пластов угля безальтернативно, а значит, сравнение с ней будет наиболее полно отражать экономическую эффективность внедрения разработанной технологии.

Расчет экономической эффективности применения разработанной технологии производился с использованием «Инструкции по планированию, учету и калькулированию себестоимости добычи и обогащения угля» [47]. Дополнительные затраты на реализацию разработанной технологии в сравнении с прототипом состоят из затрат на материалы, из которых формируется полоса, затрат на увеличение поперечного сечения штрека, в котором формируется полоса, затрат на оборудование для формирования полосы, а также отчислений на социальные нужды и затрат на оплату труда персонала, осуществляющего формирование полосы. В то же время при реализации разработанной технологии

за счет отработки целиков на одной линии с очистным забоем обеспечивается прирост объема добычи угля. В ходе сравнительного анализа производилась оценка возможности компенсации затрат на реализацию разработанной технологии за счет прироста объема добычи.

В качестве основного критерия экономической эффективности разработанной технологии была принята валовая прибыль, которая рассчитывается по формуле (4.5):

$$P_B = B - C, \quad (4.5)$$

где  $B$  – выручка, руб;  $C$  – себестоимость продукции, руб.

На себестоимость добываемого угля влияет не только принятая система разработки, но и значительное количество других факторов, в том числе таких как способ вскрытия и способ подготовки шахтного поля, которые невозможно учесть без привязки к горно-геологическим условиям ведения горных работ на определенной шахте.

Исходя из этого, расчет производился при известной (принятой) валовой прибыли с продажи 1 тонны угля, полученной при реализации системы разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками и оставлением целиков угля в выработанном пространстве, –  $P_B$ .

При анализе было выполнено сравнение валовой прибыли с продажи запасов выемочного столба, отработанного с применением системы разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками и оставлением целиков угля в выработанном пространстве, –  $P_{B1}$  (4.6), и валовой прибыли с продажи запасов идентичного выемочного столба, отработанного с применением разработанной технологии, –  $P_{B2}$  (4.7).

$$P_{B1} = P_B \cdot Q, \quad (4.6)$$

где  $P_B$  – валовая прибыль с продажи 1 тонны угля, руб;  $Q$  – объем запасов угля в границах выемочного столба, т.

$$P_{B2} = (P_B - \Delta C) \cdot (Q + \Delta Q), \quad (4.7)$$

где  $P_B$  – валовая прибыли с продажи 1 тонны угля, руб;  $\Delta C$  – увеличение себестоимости 1 тонны угля при реализации разработанной технологии, руб;  $Q$  –

объем запасов угля в границах выемочного столба, т;  $\Delta Q$  – прирост объема добычи угля за счет отработки целика на одной линии с очистным забоем, т.

Цены на материалы и стоимость различных видов работ принимаются по существующим на современном рынке. Для оценки экономической эффективности применения разработанной технологии в условиях изменения рыночных цен на уголь расчеты производились для усредненной валовой прибыли с продажи 1 тонны угля, а также для условий ее увеличения и уменьшения на 15%. Исходные данные для расчета показателей экономической эффективности разработанной технологии представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Исходные данные для расчета показателей экономической эффективности разработанной технологии

1	Длина выемочного столба, м	4000
2	Длина очистного забоя, м	300
3	Нагрузка на очистной забой, т/сут	20000
4	Ширина вентиляционного просека, м	1
5	Плотность угля, т/м <sup>3</sup>	1,36
6	Валовая прибыль с продажи 1 тонны угля, руб	1000; 1200; 1400
7	Цена увеличения сечения штрека на 1 м <sup>2</sup> , руб	5000

Увеличение себестоимости 1 тонны угля при реализации разработанной технологии определялось по формуле (4.8) [47]:

$$\Delta C = C_{\text{мат}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{А}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}}, \quad (4.8)$$

где  $C_{\text{мат}}$  – себестоимость 1 т угля по затратам на материалы, руб/т;  $C_{\text{пр}}$  – себестоимость 1 т угля по затратам на увеличение поперечного сечения штрека, руб/т;  $C_{\text{А}}$  – себестоимость 1 т угля по затратам на амортизационные отчисления, руб/т;  $C_{\text{зп}}$  – себестоимость 1 т угля по затратам на оплату труда, руб/т;  $C_{\text{соц}}$  – себестоимость 1 т угля по затратам на социальные отчисления, руб/т.

Затраты на материалы полосы рассчитываются по формуле (4.9):

$$Z_{\text{мат}} = m \cdot l_{\text{ст}} \cdot b_{\text{п}} \cdot P_{\text{м}}, \quad (4.9)$$

где  $m$  – мощность пласта, м;  $l_{\text{ст}}$  – длина выемочного столба, м;  $b_{\text{п}}$  – ширина полосы, м;  $P_{\text{м}}$  – цена 1 м<sup>3</sup> бетона, руб.

Значения ширины полосы из твердеющих материалов в зависимости от мощности обрабатываемого пласта представлены в таблице 4.3. Результат расчета затрат на производство 1 м<sup>3</sup> бетона различного класса прочности представлен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Затраты на производство 1 м<sup>3</sup> бетона различного класса прочности

Класс бетона	Пропорции материалов			Расход материалов, кг			Стоимость материалов, руб			Расчетная стоимость, руб	Принятая стоимость, руб	Дополнительные расходы, руб	Общая стоимость, руб
	Цемент	Песок	Щебень	Цемент	Песок	Щебень	Цемент	Песок	Щебень				
B22,5	1	2,4	4,3	319	766	1372	6,5	3,5	1	6125	6200	8000	14200
B27,5	1	1,9	3,6	386	733	1390				6466	6500		14500
B30	1	1,7	3,3	417	709	1376				6568	6600		14600
B35	1	1,4	2,9	469	657	1360				6707	6750		14750

Дополнительные расходы на производство 1 м<sup>3</sup> бетона включают в себя усредненные затраты на доставку необходимых материалов от производства до шахты и по горным выработкам к месту назначения. Результаты расчетов затрат на материалы полосы представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Затраты на материалы полосы

Мощность пласта, м	Класс бетона			
	B22,5	B27,5	B30	B35
	Затраты на материалы полосы, млн. руб			
1	227,2	197,2	186,8	200,6
1,5	227,2	197,2	186,8	200,6
2	227,2	197,2	186,8	200,6
2,5	426,0	391,5	365,0	339,2
3	749,7	661,2	630,7	619,5
3,5	1192,8	1075,9	1022,0	929,2
4	1840,3	1647,2	1565,1	1416,0
4,5	2786,0	2479,5	2365,2	2150,5
5	4174,8	3712,0	3533,2	3215,5

Себестоимость 1 т угля по затратам на материалы определяются по формуле (4.10) [47]:

$$C_{\text{мат}} = \frac{3_{\text{мат}}}{Q + \Delta Q}, \quad (4.10)$$

где  $Q$  (4.11) – объем запасов угля в границах выемочного столба, т;  $\Delta Q$  (4.12) – прирост объема добычи угля за счет отработки целика на одной линии с очистным забоем, т.

$$Q = l_{\text{ст}} \cdot l_{\text{оз}} \cdot m \cdot \gamma_{\text{уг}}, \quad (4.11)$$

$$\Delta Q = l_{\text{ст}} \cdot l_{\text{ц}} \cdot m \cdot \gamma_{\text{уг}}, \quad (4.12)$$

где  $l_{\text{ст}}$  – длина выемочного столба, м;  $l_{\text{оз}}$  – длина очистного забоя, м;  $l_{\text{ц}}$  – ширина целика, м;  $m$  – мощность пласта, м;  $\gamma_{\text{уг}}$  – плотность угля, т/м<sup>3</sup>.

Значения ширины целика угля в зависимости от глубины ведения горных работ и мощности отрабатываемого пласта представлены в таблице 4.2. Объем запасов выемочного столба с учетом прироста объема добычи за счет отработки целика на одной линии с очистным забоем представлен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Объем запасов выемочного столба с учетом прироста объема добычи

Мощность пласта, м	Глубина ведения горных работ, м			
	100	200	300	400
	Объем запасов выемочного столба, млн. т			
1	1,740	1,740	1,762	1,811
1,5	2,611	2,611	2,692	2,774
2	3,481	3,503	3,644	3,775
2,5	4,352	4,420	4,610	4,800
3	5,222	5,336	5,597	5,842
3,5	6,092	6,264	6,587	6,911
4	6,963	7,202	7,616	8,007
4,5	7,833	8,151	8,641	9,131
5	8,704	9,112	9,683	10,254

Результаты расчетов себестоимости 1 т угля по затратам на материалы представлены в Приложении А, таблице А.1.

Затраты на увеличение площади поперечного сечения штрека, в котором будет размещена полоса из твердеющих материалов, рассчитываются по формуле (4.13):

$$Z_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \cdot l_{\text{ст}} \cdot \Delta S, \quad (4.13)$$



где  $P_{\text{пр}}$  – цена увеличения сечения штрека на  $1 \text{ м}^2$ , руб;  $l_{\text{ст}}$  – длина выемочного столба, м;  $\Delta S$  (4.14) – площадь, на которую необходимо увеличить участковую выработку при реализации разработанной технологии.

$$\Delta S = m \cdot (b_{\text{п}} + b), \quad (4.14)$$

где  $m$  – мощность пласта, м;  $b_{\text{п}}$  – ширина полосы, м;  $b$  – ширина вентиляционного просека, м.

Значения ширины полосы из твердеющих материалов в зависимости от мощности отрабатываемого пласта представлены в таблице 4.3. Ширина вентиляционного просека для расчета принимается равной 1 м. Результаты расчетов затрат на увеличение площади поперечного сечения штрека представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Затраты на увеличение площади поперечного сечения штрека

Мощность пласта, м	Класс бетона			
	B22,5	B27,5	B30	B35
	Затраты на увеличение площади поперечного сечения штрека, млн. руб			
1	120,0	108,0	104,0	108,0
1,5	120,0	108,0	104,0	108,0
2	120,0	108,0	104,0	108,0
2,5	200,0	185,0	175,0	165,0
3	324,0	288,0	276,0	270,0
3,5	490,0	441,0	420,0	385,0
4	728,0	648,0	616,0	560,0
4,5	1071,0	945,0	900,0	819,0
5	1570,0	1380,0	1310,0	1190,0

Себестоимость 1 т угля по затратам на увеличение площади поперечного сечения штрека определяется по формуле (4.15):

$$C_{\text{пр}} = \frac{Z_{\text{пр}}}{Q + \Delta Q}, \quad (4.15)$$

где  $Q$  – объем запасов угля в границах выемочного столба, т;

$\Delta Q$  – прирост объема добычи угля за счет отработки целика на одной линии с очистным забоем, т.

Объем запасов выемочного столба с учетом прироста объема добычи за счет отработки целика на одной линии с очистным забоем представлен в таблице 4.7.

Результаты расчетов себестоимости 1 т угля по затратам на увеличение площади поперечного сечения штрека представлены в Приложении А, таблице А.2. Оборудование, необходимое для реализации разработанной технологии, будет использоваться не только в период отработки выемочного столба, а в течение всего срока службы. Следовательно, включать затраты на оборудование в себестоимость добычи запасов одного выемочного столба некорректно.

Исходя из срока службы применяемого оборудования определяется норма амортизации в год, которая должна быть включена в себестоимость добычи запасов, отработанных шахтой в течение года. При отсутствии данных о годовой производительности шахты, возможно определить суточную норму амортизации применяемого оборудования и включить ее в себестоимость добычи запасов выемочного участка. Таким образом, величина суточных амортизационных отчислений по каждому виду оборудования рассчитывается по формуле (4.16) [47]:

$$A_{\text{сут}} = \frac{n \cdot P_{\text{об}} \cdot N_a}{365}, \quad (4.16)$$

где  $n$  – количество единиц оборудования, м;  $P_{\text{об}}$  – цена единицы оборудования, руб;  $N_a$  – норма амортизации, %.

Список оборудования, необходимого для реализации разработанной технологии, представлен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Оборудование, необходимое для реализации разработанной технологии

Перечень машин и оборудования	Кол-во, шт	Цена, руб	Норма амортизации, % в год
Секции крепи	$n_{\text{кр}}$	5000000	20
Секции скребкового конвейера	$n_{\text{кон}}$	600000	33,3
Щитовая опалубка	$n_{\text{оп}}$	20000	25
Шахтный бетононасос	3	1500000	50

Количество секций механизированной крепи рассчитывается по формуле (4.17):

$$n_{\text{кр}} = \frac{l_{\text{ц}}}{b_{\text{кр}}}, \quad (4.17)$$

где  $l_{\text{ц}}$  – ширина целика, м;  $b_{\text{кр}}$  – шаг установки секций крепи вдоль очистного забоя, м.

Количество секций скребкового конвейера рассчитывается по формуле (4.18):

$$n_{\text{кон}} = \frac{l_{\text{ц}}}{b_{\text{кон}}}, \quad (4.18)$$

где  $l_{\text{ц}}$  – ширина целика, м;  $b_{\text{кон}}$  – длина секции рештака забойного конвейера, м.

Количество комплектов щитовой опалубки рассчитывается по формуле (4.19):

$$n_{\text{оп}} = 2 \cdot (l_{\text{сб}} + b_{\text{п}}) \cdot m, \quad (4.19)$$

где  $l_{\text{сб}}$  – расстояние между вентиляционными сбойками, м;  $b_{\text{п}}$  – ширина полосы, м;  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;

Для расчета затрат на амортизационные отчисления были приняты: шаг установки секций крепи — 2 м; длина секций рештака забойного конвейера — 2 м; расстояние между вентиляционными сбойками — 100 м.

Себестоимость 1 т угля по затратам на амортизационные отчисления определяется по формуле (4.20) [47]:

$$C_A = \frac{\sum A_{\text{сут}}}{Q + \Delta Q}, \quad (4.20)$$

где  $Q$  – объем запасов угля в границах выемочного столба, т;  $\Delta Q$  – прирост объема добычи угля за счет отработки целика, т.

Объем запасов выемочного столба с учетом прироста объема добычи за счет отработки целика на одной линии с очистным забоем представлен в таблице 4.7.

Результаты расчетов себестоимости 1 т угля по затратам на амортизационные отчисления представлены в Приложении А, таблице А.3.

Для оценки экономической эффективности разработанной технологии необходимо предусмотреть затраты на оплату труда работников, осуществляющих возведение полосы из твердеющих материалов. Расчет затрат на оплату труда представлен в таблице 4.10.

Себестоимость 1 т угля по затратам на оплату труда определяется по формуле (4.21) [47]:

$$C_{зп} = \frac{З_{зп}}{Q_{сут} * t}, \quad (4.21)$$

где  $З_{зп}$  – затраты на оплату труда, руб;  $Q_{сут}$  – суточная нагрузка на очистной забой, т;  $t$  – число дней в месяц по работе очистного забоя, дни.

Таблица 4.10 – Расчет затрат на оплату труда

Работники	Количество работников чел.	Зароботная плата одного работника, руб/мес	Тарифный фонд заработной платы, руб/мес
Оператор	1	110000	110000
Техник-бетонщик	1	100000	100000
Слесарь 5 разряда	1	80000	80000
Слесарь 4 разряда	1	70000	70000
Итого по участку	4	-	360000

Для расчета себестоимости 1 т угля по затратам на оплату труда число дней в месяц по работе очистного забоя принимается равным 25 из-за возможных непредвиденных остановок.

$$C_{зп} = \frac{360\ 000}{20\ 000 \cdot 25} = 0,72 \text{ [руб/т]},$$

Величина затрат на отчисления на социальные нужды складывается из: пенсионного страхования от суммы, выплаченной работникам — 22 %; медицинского страхования — 5,1 %; соцстрахования, за счет которого в дальнейшем оплачиваются больничные и отпуска по беременности и родам, — 2,9 %; обязательного медицинского страхования от несчастных случаев на производстве — 8,3%. Итого можно принять 38,5%.

Себестоимость 1 т угля по затратам на социальные отчисления определяется по формуле (4.22) [47]:

$$C_{соц} = \frac{З_{зп} \cdot 0,385}{Q_{сут} * t}, \quad (4.22)$$

где  $З_{зп}$  – затраты на оплату труда, руб;  $Q_{сут}$  – суточная нагрузка на очистной забой, т;  $t$  – число дней в месяц по работе очистного забоя, дни.

$$C_{\text{соц}} = \frac{360\,000 \cdot 0,385}{20\,000 \cdot 25} = 0,28 \text{ [руб/т]},$$

Результат расчета суммарного увеличения себестоимости 1 тонны угля по необходимым затратам на реализацию разработанной технологии представлен в Приложении А, таблице А.4. Учитывая, что сравнительный анализ экономической эффективности применения рассматриваемых технологий производится при одинаковых параметрах выемочных столбов, объем запасов, полученный при использовании системы разработки-прототипа, будет изменяться в зависимости только от мощности отрабатываемого пласта, что отражает таблица 4.11. Таблица 4.11 – Объем запасов выемочного столба при применении технологии-прототипа

Мощность пласта, м	Объем запасов, млн. т
1	1,632
1,5	2,448
2	3,264
2,5	4,080
3	4,896
3,5	5,712
4	6,528
4,5	7,344
5	8,160

Результат расчета валовой прибыли, получаемой с продажи запасов выемочных столбов, отработанных с применением системы разработки-прототипа в зависимости от мощности отрабатываемого пласта и при валовой прибыли с продажи 1 тонны угля 1200 руб. представлен в таблице 4.12.

Результат расчета валовой прибыли, получаемой с продажи запасов выемочных столбов, отработанных с применением разработанной технологии, в зависимости от мощности отрабатываемого пласта, глубины ведения горных работ, класса прочности применяемого бетона для формирования полос из твердеющих материалов и при валовой прибыли с продажи 1 тонны угля 1200 руб. представлен в Приложении А, таблице А.5.

Таблица 4.12 – Валовая прибыль, получаемая с продажи запасов выемочных столбов, обработанных с применением технологии-прототипа

Мощность пласта, м	Валовая прибыль, млн. руб.
1	1958,4
1,5	2937,6
2	3916,8
2,5	4896
3	5875,2
3,5	6854,4
4	7833,6
4,5	8812,8
5	9792

На основании полученных результатов расчетов были построены графики зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии в зависимости от различных факторов. График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от мощности обрабатываемого пласта и глубины ведения горных работ представлен на рисунке 4.12.

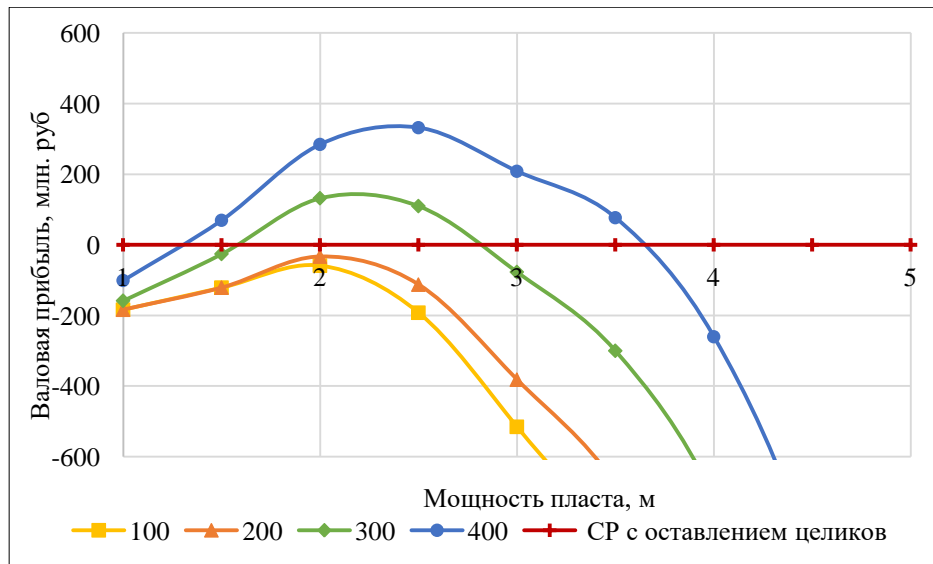


Рисунок 4.12 – График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от мощности обрабатываемого пласта и глубины ведения горных работ

График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от рыночной стоимости угля (рисунок 4.13).

График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от прочности материала для формирования полос представлен на рисунке 4.14.

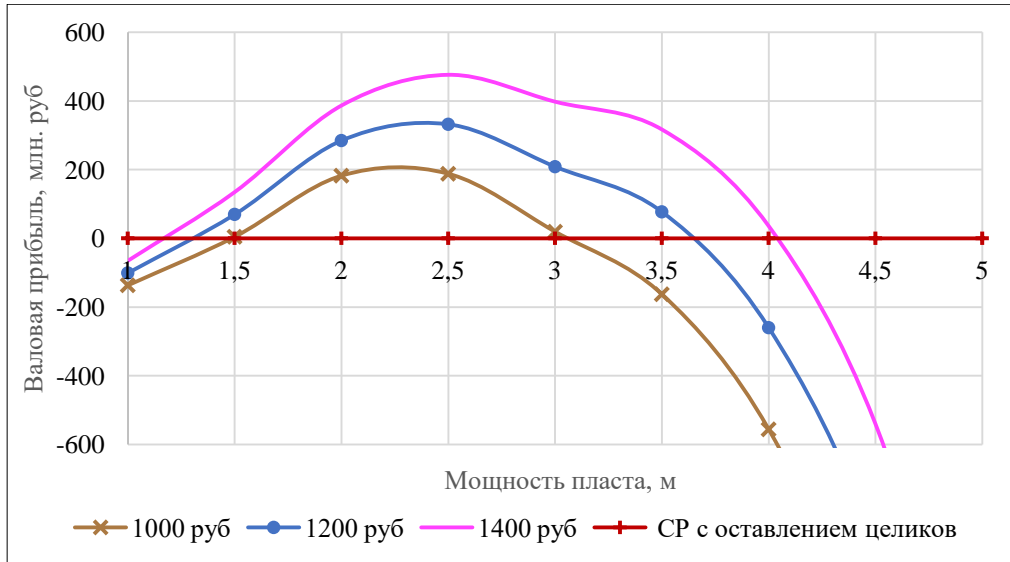


Рисунок 4.13 – График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от рыночной цены угля

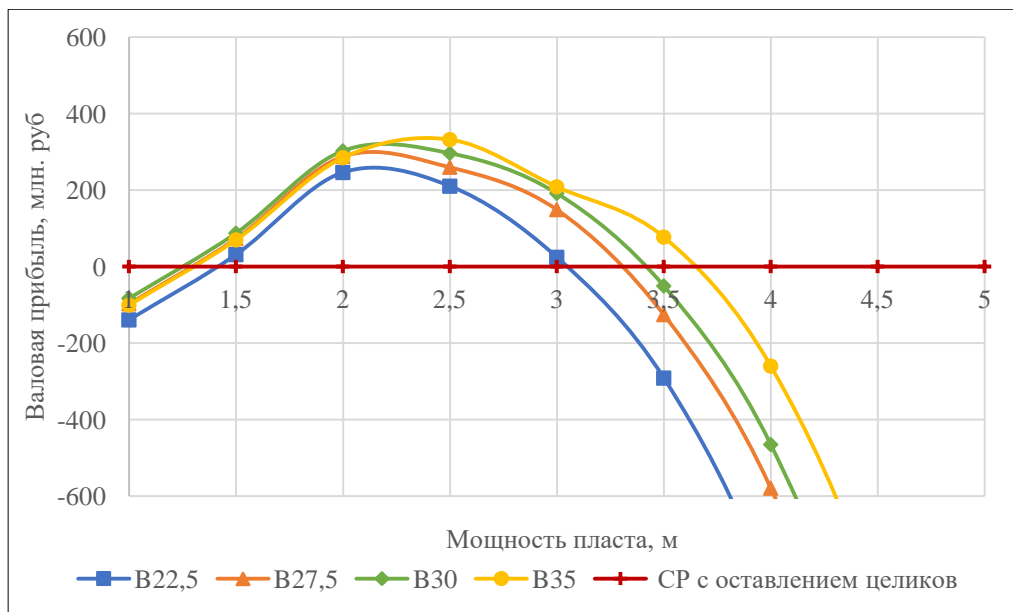


Рисунок 4.14 – График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от прочности материала для формирования полос

#### Выводы по главе 4

При отработке пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, с применением технологии с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба, устойчивость полосы из твердеющих материалов на протяжении всего срока службы обеспечивается распределением нагрузки от пород кровли между полосой и смежным с ней целиком угля. После отработки выемочного участка на границе с полосой из твердеющих материалов, породы кровли над полосой поддерживаются ей, а породы кровли за контуром полосы обрушаются в выработанном пространстве. При этом полоса из твердеющих материалов испытывает нагрузку только части пород кровли над собой, в то время как основное влияние опорного горного давления на границе с выработанным пространством оказывается на смежный с полосой целик угля.

Результаты моделирования показывают, что при выборе параметров и прочности полосы, достаточных для выполнения обрезающей и поддерживающей функции на границе с выработанным пространством без нарушения целостности, сохраняется опасность разрушения краевых частей целика как со стороны вентиляционного просека, так и со стороны участкового штрека, что может негативно сказаться на устойчивости указанных выработок. Предотвратить разрушение краевых частей целика возможно путем его обработки полиуретановой инъекционной смолой.

Согласно разработанной технологии, полоса из твердеющих материалов после отработки целика угля на одной линии с очистным забоем остается за лавой в выработанном пространстве, где на нее оказывается воздействие всего веса вышележащих пород кровли. Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что на указанной стадии как в самой полосе, так и в породах кровли и почвы концентрируется критическое напряжение, при котором они неизбежно разрушаются.

Анализ результатов моделирования позволил определить, что при реализации разработанной технологии величина опорного горного давления,



формируемого перед очистным забоем, увеличивается от концевой участка лавы у границы с нетронутым массивом к концевому участку лавы у границы с выработанным пространством ранее отработанного смежного выемочного участка. Это обусловлено наложением в нижней части лавы двух зон влияния опорного горного давления, сформированными перед очистным забоем и на границе с выработанным пространством. Этот фактор необходимо учитывать при определении параметров крепления участковых выработок.

Разработанную технологию от ее прототипа в виде базовой технологии отличает возможность отрабатывать целики угля на одной линии с очистным забоем и наличие полос из твердеющих материалов на границе выемочных участков. Расчет параметров целиков и полос показал, что ширина целиков угля возрастает с увеличением глубины ведения горных работ и мощности отрабатываемого пласта, а ширина полос из твердеющих материалов возрастает с увеличением мощности отрабатываемого пласта и с уменьшением прочности материалов, применяемых для их формирования. Также важно отметить, что значительными факторами, определяющими нагрузку на полосы, являются скорость подвигания очистного забоя, прочностные и структурные характеристики непосредственной и основной кровли, в то время как глубина ведения горных работ не имеет определяющего значения.

Произведенный сравнительный анализ использования разработанной технологии и системы разработки-прототипа для отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, в различных горно-геологических условиях показал, что наибольшей экономической эффективности с применением разработанной технологии удастся добиться при отработке пластов угля мощностью 2-2,5 м на глубине более 200-250 м.

С увеличением глубины ведения горных работ возрастает как экономическая эффективность применения разработанной технологии, так и область применения разработанной технологии по мощности отрабатываемого пласта. Также экономическая эффективность и область применения

разработанной технологии как по мощности, так и по глубине ведения горных работ возрастают с увеличением рыночных цен на уголь.

При отработке пластов угля мощностью более 2-2,5 м на глубине более 200-250 м экономически целесообразно использовать материалы с повышенными прочностными характеристиками, несмотря на их высокую стоимость. При отработке пластов мощностью менее 2-2,5 м на глубине более 200-250 м экономически целесообразно использовать сравнительно недорогие материалы, несмотря на их пониженные прочностные характеристики.

Важно отметить, что в большинстве случаев при отработке пластов угля любой мощности на глубине до 200 м экономически выгодно использование системы разработки-прототипа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи – разработаны ресурсосберегающие технологии отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, при подготовке столбов сдвоенными выработками, обеспечивающих снижение эксплуатационных потерь полезного ископаемого и опасности формирования очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. К числу основных недостатков применяемой в настоящее время для отработки пологих пластов угля базовой технологии относится оставление целиков угля в выработанном пространстве. Целики угля являются одной из основных причин возникновения очагов самовозгорания в выработанном пространстве, что подтверждается данными многочисленных шахтных и лабораторных исследований.

2. В соответствии с требованиями действующих нормативных документов, регламентирующих отработку пластов угля, склонного к самовозгоранию, для обеспечения изоляции смежных выемочных участков необходимо оставление между ними неразрушаемых горным давлением целиков угля. Учитывая, что целики угля в выработанном пространстве являются основной причиной формирования очагов самовозгорания, заслуживает внимания пересмотр данных требований для современных угольных шахт.

3. Для снижения опасности формирования очагов самовозгорания необходимо обеспечить изоляцию смежных выемочных участков искусственными охранными сооружениями – полосами из твердеющих материалов, что позволит производить полную отработку целиков угля, оставляемых при подготовке выемочных столбов сдвоенными выработками.

4. Разработанная технология отвечает требованиям по изоляции очистного забоя от выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного

участка и предусматривает отработку целика угля на одной линии с очистным забоем (патент №2726752 опубл. 15.07.2020, Бюл. №20). Исключение влияния процесса формирования полосы из твердеющих материалов на производительность очистного и проходческого забоев обеспечивается за счет возведения полосы в конвейерном штреке в процессе подготовки выемочного столба. Внедрение разработанной технологии обеспечивает возможность использования полного комплекса современных технологических решений, применяемых на действующих угольных шахтах.

5. Использование разработанной технологии позволяет: уменьшить эксплуатационные потери угля на 10-15% и более; снизить опасность самовозгорания угля в выработанном пространстве; исключить формирование в надработанном массиве зон повышенного горного давления.

6. При реализации разработанной технологии обеспечивается прирост объема добычи угля на выемочном участке за счет отработки целиков. Таким образом, затраты на формирование полос из твердеющих материалов частично или полностью компенсируются за счет прибыли, получаемой при продаже угля, содержащегося в отработанных целиках. Наибольшая экономическая эффективность применения разработанной технологии достигается при отработке пластов угля мощностью 2-2,5 м на глубине более 200-250 м. С увеличением глубины ведения горных работ экономическая эффективность применения разработанной технологии возрастает.

7. Результаты диссертации в дальнейшем могут быть использованы при проектировании шахт Кузнецкого угольного бассейна, разрабатывающих пологие пласты угля, склонного к самовозгоранию, мощностью до 2,5 м.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аксенов, А.В. Совершенствование бесцеликовых способов охраны подготовительных горных выработок / А.В. Аксенов, В.В. Васютина, Ю.А. Пивень // Наукові праці Укр НДМІ НАН України. – Донецьк: Укр НДМІ НАН України. – 2007. – Вип.1. – С. 94-101.
2. Анферов, Б.А., Кузнецова Л.В. Проблемы и перспективы комплексного освоения угольных месторождений Кузбасса // Кемерово: ИУУ СО РАН. – 2009. Кемерово. – 242 с.
3. Бессолицина, Г.Г. Изменение эндогенной пожароопасности с переходом на глубокие горизонты // Безопасность труда в промышленности. – 1973. – №7. – С. 41-42.
4. Бондаренко, А.П., Луганцев Б.Б., Беликов В.В. Руководство по управлению горным давлением на выемочных участках шахт Восточного Донбасса. – Шахты: ШахтНИУИ. – 1992. – 214 с.
5. Бондаренко, В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Черватюк В.Г., Снигур В.Г., Малыхин А.В. Технологический регламент крепления и охраны выемочных выработок на пологих пластах. – Днепр: Национальный горный университет. – 2017. – 108 с.
6. Борзых, А.Ф. Определение силовых характеристик костров из стальных специальных взаимозаменяемых профилей / А.Ф. Борзых, Е.В. Посохов // Сборник научных трудов Дон ГТУ. – Алчевск: Дон ГТУ. – 2012. – С. 44-52.
7. Веселовский, В.С., Терпогосова Е.А., Алексеева Н.Д. Изучение скорости окисления углей и сульфидных руд // Проблемы рудничной аэрологии. – М.: Издательство АН СССР. – 1963. – С. 261-271.
8. Воропаева, Е.В. Обоснование направлений повышения технологического уровня действующих угольных шахт: диссертация кандидата технических наук: 25.00.22. – Москва: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – 2018. – С. 134.
9. Временная инструкция по охране выемочных выработок полосами из

твердеющих материалов. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1981. – 20 с.

10. Временные технологические схемы охраны подготовительных выработок полосами из твердеющих смесей для бесцеликовой отработки угольных пластов: Утв. М-вом угольной пром-ти СССР 30.12.86. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1987. – 17 с.

11. Галсанов, Н.Л. Обоснование метода подавления очагов самовозгорания угля в шахтах инертизирующими составами с замораживанием частиц жидкости: дис. – Нац. исслед. технол. ун-т. – 2016. – С. 19-26.

12. Голубев, Д.Д. Влияние комбинированных схем проветривания выемочного участка на эндогенную пожароопасность высокопроизводительных угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. Том 1. – 2019. – №6. – С. 66-74.

13. Голубев, Д.Д. Использование бесцеликовых технологий при отработке пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 7. – С. 64-77.

14. Голубев, Д.Д. Снижение вероятности самовозгорания угля в выработанном пространстве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – №. S5-1. – С. 326-332.

15. Демин, В.Ф. К вопросу об охране повторно используемых выработок породными полосами. – Караганда: Труды КарГТУ. – 2002. – № 4. – С. 43-46.

16. Диманштейн, А.С. Научные основы охраны повторно используемых выемочных выработок с помощью искусственных ограждений при разработке пологих угольных пластов: диссертация доктора технических наук: 25.00.20. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1988. – 390 с.

17. Дмитриев, В.А. Об управлении кровлей при возведении бутовых полос / В.А. Дмитриев, Ю.Ф. Савенко, Э.О. Чопок // Уголь Украины. – 1983. – № 3. – С. 9-10.

18. Долоткин, Ю.Н. Охрана повторно используемых выработок полосами из облегченных блоков / Ю.Н. Долоткин, Ю.Ф. Зайцев // Уголь Украины. – 1998. – № 5. – С. 19-20.

19. Дудка, И.В. Обоснование параметров способа крепления и охраны конвейерных штреков для повторного их использования в горно-геологических условиях антрацитовых шахт: диссертация кандидата технических наук: 05.15.04. – Днепр: Национальный горный университет. – 2016. – С. 26-46.
20. Елькин, В.С. Разработка технологических схем отработки мощных пологих угольных пластов на газовых шахтах: диссертация кандидата технических наук: 25.00.22. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный горный университет. – 2012. – С. 144-170.
21. Зубов, В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки горного института. – 2017. – Т. 225. – С. 292-297.
22. Зубов, В.П. Системы разработки пластов на «шахтах-лавах»: достоинства, недостатки, направления совершенствования / В.П. Зубов, А.С. Федоров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – №. S7. – С. 272-277.
23. Игишев, В.Г. Роль молекулярной диффузии кислорода в возникновении эндогенных пожаров / В.Г. Игишев, В.А. Портола // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело: реф. сб. / ЦНИЭИуголь. – 1981. – №. 3. – С. 24-25.
24. Ильин, А.И. Шахтные специальные крепи из породных стоек / А.И. Ильин, С.А. Баранов // Уголь Украины. – 2003. – № 3. – С. 14-15.
25. Казанин, О.И. Использование охранных сооружений для поддержания выемочных выработок на угольных шахтах / О.И. Казанин, Ю.Н. Долоткин, И.В. Скрыльников // ГИАБ. – 2011. – № 1. – С. 34-38.
26. Канин, В.А. Применение газобетонной крепи на шахте «Красногвардейская» / В.А. Канин, А.Е. Жуков // Уголь Украины. – 1999. – № 1. – С. 13.
27. Каравайко, Г.И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд / Г.И. Каравайко, С.И. Кузнецов, А.И. Голомзик //. – Наука, 1972. – С. 248.

28. Касьян, Н.Н. Лабораторные исследования несущей способности охранных сооружений с распорным элементом / Н.Н. Касьян, Н.Н. Малышева, И.Г. Сахно // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2012. – Вып. 105. – С. 161-168.

29. Касьян, Н.Н. Результаты лабораторных испытаний опорных породных конструкций с использованием ограничивающих поверхностей / Н.Н. Касьян, В.Л. Самойлов, И.В. Хазипов // Горный информационно аналитический бюллетень. – 2008. – № 3. – С. 146-150.

30. Кузбасгипрошахт: сайт. – Кемерово. – URL: <https://kgsh.ru/projects/1134> (дата обращения 01.07.2021).

31. Линденау, Н.И., Маевская В.М., Крылов В.Ф. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1977. – С. 319.

32. Литвинский, Г.Г. Управление устойчивостью подготавливаемой выработки взрывной бутовой полосой / Г.Г. Литвинский, В.Б. Волошин, И.А. Горбунов // Уголь Украины. – 1989. – № 2. – С. 7-9.

33. Луговцова, Н.Ю. Влияние предварительно охлажденного угля на развитие процесса самовозгорания/ Н.Ю. Луговцова, В.А. Портола // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №. 6. – С. 61-62.

34. Лукин, К.Д. Разработка новых способов поддержания подготовительных горных выработок в сложных горно-геологических условиях и обоснование их параметров: автореф. диссертации кандидата технических наук: 05.15.02. – Москва. – 1991. – 16 с.

35. Лурий, В.Г. Новый способ охраны и поддержания выработок при бесцеликовой технологии / В.Г. Лурий, Ю.Г. Романов, К.Д. Лукин // Уголь Украины. – 1989. – № 10. – С. 20-21.

36. Маевская, В.М. Современное состояние предупреждения и тушения эндогенных пожаров в Донецкой области. – М.: Углетехиздат. – 1947. – С. 48-68.



37. Методические указания по определению размеров целиков различного назначения в условиях многолетней мерзлоты – Министерство угольной промышленности СССР. ВНИМИ – Л., 1979 – 23 с.

38. Мурашев, В.И. Научные исследования в области предупреждения эндогенных пожаров в шахтах / В.И. Мурашев, В.Б. Попов // Уголь. – 1985. – № 3. – С. 25-26.

39. Мухин, А.В. Об охране выемочных штреков в условиях слабометаморфизованных пород / А.В. Мухин, С.И. Скипочка, Ю.И. Кияшко // Уголь Украины. – 1996. – № 8. – С. 18-25.

40. Насонов, А.А. Анализ способов и конструкций, применяемых для охраны выемочных выработок / А.А. Насонов // Перспективы развития Восточного Донбасса: сборник научных трудов. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ). – 2008. – С. 47-128.

41. Опарин, В.Н. О негативных последствиях выборочной отработки угольных пластов в Кузбассе / В.Н.Опарин, А.А.Ордин, А.М.Никольский // Материалы Всероссийского форума с международным участием. – Томск: Томский политехнический ун-т. – 2013. – С. 622-626.

42. Опарин, В.Н. О зонально-дезинтеграционных процессах в углепородных массивах и проблеме изоляции выработанного пространства от поступления воздуха / В.Н. Опарин, В.А. Скрицкий //Фундаментальные проблемы формирования техногенной среды: сб. трудов конференции (28 июня-2 июля 2010 г.). – 2010. – Т. 2. – С. 19-23.

43. Патент 2079665 РФ, E21D15/48. Костер для охраны выемочных выработок / Б.Б. Луганцев, И.И. Мартыненко, В.А. Савин. – Оpubл. 20.05.97. Бюл. № 14.

44. Патент 2441160 РФ, E21C41/18. Способ подземной разработки угольных пластов / В. П. Зубов, В.С. Елькин – Оpubл. 27.01.12.

45. Патент 2726752 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ подземной разработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию / Голубев Д.Д., Сидоренко А.А., Дмитриев П.Н.; заявитель и патентообладатель

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». — №2019141713; заявл. 12.12.2019; опублик. 15.07.2020, Бюл. №20.

46. Портола, В.А. Оценка эффективности тушения скоплений угля различными хладагентами / В.А. Портола, Н.Л. Галсанов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – №. 2 (102). – С. 181-185.

47. Российская Федерация. Инструкция по планированию, учету и калькулированию себестоимости добычи и обогащения угля – Электронный ресурс – Режим доступа: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=101395&ds t=1000000001%2C0#017899634348852422> (дата обращения 01.07.2021).

48. Российская Федерация. Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Серия 05. Выпуск 23. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» – 2013. – 110 с.

49. Российская Федерация. Распоряжения Правительства. Программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года – Электронный ресурс – Режим доступа: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=322093&ds t=100008%2C0#03237569704871286> (дата обращения 01.07.2021).

50. Российская Федерация. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах. Серия 05. Выпуск 43. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2017. – 56 с. ISBN 978-5-9687-0785-7.

51. Российская Федерация. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля. Серия 05. Выпуск 38. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. — 24с. ISBN 978-5-9687-0559-4.

52. Российская Федерация. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Инструкция по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля – Электронный ресурс – Режим доступа: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=207954&dst=100010%2C0#049790431000414714> (дата обращения 01.07.2021).

53. Российская Федерация. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок. Серия 05. Выпуск 21. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. – 128 с. ISBN 978-5-9687-0479-5.

54. Российская Федерация. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила безопасности в угольных шахтах. Серия 05. Выпуск 40. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2017. – 198 с. ISBN 978-5-9687-0784-0.

55. Рубан, А.Д Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: Справочное пособие / А.Д. Рубан, В.Б. Артемьев, В.С. Забурдяев, В.Н. Захаров, А.К. Логинов, Е.П. Ютяев // Под. Общ. Ред. А.Д. Рубана, М.И. Щадова. – М.: Издательство «Горная книга». – 2010. – С. 146.

56. Руппeneйт, К.В. Обоснование инженерного метода определения давления на междукамерные целики / К.В. Руппeneйт, Н.А. Давыдова // Известия АН СССР. – 1962. – Вып. 1. – С. 109-122.

57. Самойлов, В.Л., Управление состоянием массива горных пород: учебное пособие для студентов / В.Л. Самойлов, В.Е. Нефедов – Донецк: ДОННТУ. – 2016. – 204 с.

58. Самок, А.В. Канатный анкер АК01: усиление крепи штреков для работы очистного забоя без механизированной крепи сопряжения / А.В. Самок, Г.В. Райко, А.С. Позолотин, П.В. Гречишкин // Уголь. – 2011. №10 – С. 9-11.

59. Скочинский, А.А. Исследования в области применения антипирогенов при борьбе с рудничными пожарами эндогенного происхождения. – Изд-во Академии наук СССР. – 1947. – С. 235.

60. Скочинский, А.А. Рудничные пожары / А.А. Скочинский, В.М. Огиевский. – М.: Углетехиздат. – 1954. – 387 с.

61. Скрицкий, В.А. О результатах анализа аварий на высокопроизводительных выемочных участках шахт Кузбасса // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – №. 1-2. – С. 125-129.

62. Соловьев, Г.И. Анализ способов обеспечения устойчивости выемочных выработок глубоких шахт / Г.И. Соловьев, А.Л. Касьяненко и др. // Геотехнології и охорона праці у гірничій промисловості: Збірник матеріалів науково-практичної конференції. – Донецк: ООО «Цифрова типографія». – 2009. – С. 77-80.

63. Солодянкин, А.В. Поддержание подготовительных выработок для их повторного использования / А.В. Солодянкин, М.Э. Мищенко // Перспективы развития строительных технологий: 9-я междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, 23-24 апреля 2015 г. – Д.: НГУ, 2015. – С. 228-234.

64. Соломойченко, Д.А. Обоснование устойчивости повторно используемых подготовительных выработок при разработке пологозалегающих угольных пластов: диссертация кандидата технических наук: 25.00.20. – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 2015. – С. 28-38.

65. Тапси́ев, А.П. Горное давление как фактор, инициирующий возникновение очагов самонагрева́ния угля в шахтах / А.П. Тапси́ев, В.А. Скрицкий // *Фундаментальные проблемы формирования техногенной среды: сб. трудов научной конференции с участием иностранных ученых* – 2006. – Т. 1. – С. 173-177.

66. Тараза́нов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года / И.Г. Тараза́нов, Д.А. Губанов // *Уголь*. – 2021. – №3 – С. 27-43.

67. Ткачев, В.А. Разработка способов проходки и подготовки шахтного поля с оставлением породы в шахте / В.А. Ткачев, Н.В. Титов, В.А. Хакулов, С.И. Иванов // *ГИАБ*. 2017. №8.

68. Тронов, Б.В. Фенольная теория окисления углей // *Журнал прикладной химии*. – 1940. – Т. 13. – №. 4. – С. 1053-1059.

69. Ун, Л.Х. О результатах расследования аварий на шахтах Кузбасса, отрабатывающих склонные к самовозгоранию пласты // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. – 2013. – №2. – С. 20-25.

70. Филатов, Ю.М. О новой нормативной базе проблем борьбы с эндогенными пожарами в шахтах // *Уголь*. – 2018. – №2 (1103). – С. 67-70.

71. Хавова, В.И. Результаты изыскания профилактических жидкостей для обработки с целью предотвращения самовозгорания угля / В.И. Хавова, Э.М. Аксенова, А.А. Селезнев // *Нагнетание воды в угольные пласты*. – М.: 1965. – С. 103-109.

72. Харитонов, Г.В. Влияние отдельных структурных элементов на свойства углей // *Фрунзе. Изд-во АН Киргизской ССР*. – 1960. – С. 420.

73. Чернов, О.И. Влияние влаги на развитие самовозгорания угля // *Безопасность труда в промышленности*. – 1982. – №. 5. – С. 34-36.

74. Чубаров, Б.В. Технологическая схема профилактики и тушения эндогенных пожаров сухим инертным аэрозолем / Б.В. Чубаров, А.Е.

Чуприков, А.А. Игишева // Борьба с авариями в шахтах. – Кемерово, 2003. – С. 17–22.

75. Чураков, В.Н. Комплекс ПЗК для закладки выработываемого пространства на шахтах // Уголь Украины. – 1983. – № 4. – С. 13.

76. Шаклеин, С.В. Концепция развития сырьевой базы Кузнецкого угольного бассейна / С.В. Шаклеин, М.В. Писаренко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – №. 3. – С. 118-125.

77. Юдковский, В.А. Бесцеликовая технология охраны и поддержания выработок на шахте «Новодзержинская» / В.А. Юдковский // Уголь Украины. – 1984. – № 10. – С. 12.

78. **Golubev, D.D.** Development of the technological schemes of the extraction of coal seams for modern mines, Topical Issues of Rational Use of Natural Resources, Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers, April 18-20, 2018, St. Petersburg, Russia. 2018, pp. 55-60.

79. **Golubev, D.D.** Influence of technological factors on the formation of spontaneous combustion centers in underground mining, Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues. 2019, pp. 75-81.

80. **Golubev, D.D.** Substantiation of parameters of the pillarless mining technology of coal seams prone to spontaneous combustion / **D.D. Golubev**, A.A. Sidorenko // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019, Proceedings of the XV International Forum-Contest of Students and Young Researchers under the auspices of UNESCO (St. Petersburg Mining University, Russia, 13-17 May 2019). – 2019. – Volume 1, pp. 32-38.

81. Krog, R.B. Methane emissions and airflow patterns along longwall faces and through bleeder ventilation systems / R.B. Krog, S.J. Schatzel, H.N. Dougherty //International journal of mining and mineral engineering. – 2014. – Volume 5. – No. 4, pp. 328-349.

82. Sharma, A. A conceptual approach to prevention of fire in coal benches / A. Sharma, D.D. Banerjee //Mining Science and Technology. – 1989. – Volume 8. – No. 2, pp. 133-143.

**СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА*****РИСУНКИ:***

Рисунок 1.1 – Принципиальная схема системы разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками и оставлением целиков в выработанном пространстве (базовая технология);

Рисунок 1.2 – План горных выработок по пласту Полысаевский II (шахта им. А. Д. Рубана);

Рисунок 1.3 – План горных выработок по пласту 50 (шахта им. В. Д. Ялевского);

Рисунок 1.4 – График зависимости химической активности угля от температуры;

Рисунок 1.5 – График изменения температуры угля во времени в процессе самовозгорания;

Рисунок 1.6 – Зоны формирования очагов самовозгорания в границах выемочного участка;

Рисунок 1.7 – Зоны деформаций и разрушения целика угля на границе с выработанным пространством;

Рисунок 1.8 – Утечки воздуха на сопряжении воздухоподающей выработки и вентиляционной сбойки;

Рисунок 1.9 – Сопряжение сбойки с выработанным пространством;

Рисунок 1.10 – Диагональные вентиляционные сбойки между участковыми штреками;

Рисунок 1.11 – Статистика инцидентов, связанных с самовозгоранием угля на шахтах Кузбасса;

Рисунок 1.12 – График зависимости ширины межстолбовых целиков угля  $Z$  от глубины ведения горных работ  $H$ ;

Рисунок 1.13 – Повторное использование выработок с применением охранных сооружений;

Рисунок 1.14 – Охрана выработки литой полосой;

Рисунок 1.15 – Охрана выработки бутовой полосой;

Рисунок 1.16 – Охрана выработки деревянными кострами;

Рисунок 1.17 – Охрана выработки тумбами БЖБТ;

Рисунок 1.18 – Охрана выработки деревянной органной крепью;

Рисунок 1.19 – Охрана выработки целиком угля;

Рисунок 1.20 – Схемы проведения выработки вприсечку к выработанному пространству;

Рисунок 2.1 – Организация ведения горных работ по базовой технологии;

Рисунок 2.2 – Технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем;

Рисунок 2.3 – Технология с отработкой целика угля с отставанием от очистного забоя;

Рисунок 2.4 – Технология с отработкой целика угля с опережением очистного забоя;

Рисунок 2.5 – Технология с отработкой целика угля при подготовке выемочного столба;

Рисунок 2.6 – Технология с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем и предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба;

Рисунок 2.7 – Расположение искусственной полосы в конвейерном штреке;

Рисунок 3.1 – Схема проветривания проходческих забоев при подготовке выемочных столбов сдвоенными штреками;

Рисунок 3.2 – Технологическая схема проходки сдвоенных штреков;

Рисунок 3.3 – Технологическая схема отработки выемочного участка;

Рисунок 3.4 – Схема усиления участковых выработок канатными анкерами;

Рисунок 3.5 – Рекомендуемая схема проветривания выемочного участка;

Рисунок 3.6 – Схема расположения искусственной полосы в выработке;

Рисунок 3.7 – Конструкция сборно-модульной опалубки;

Рисунок 3.8 – Технологическая схема возведения искусственной полосы;

Рисунок 4.1 – Каркас объемной модели;

Рисунок 4.2 – Характер распределения напряжений в массиве горных пород и изолирующей полосе при использовании рекомендуемой технологии;

Рисунок 4.3 – Характер распределения напряжений в плоскости напластования на высоте 1 м от почвы пласта;

Рисунок 4.4 – Распределение напряжений на границе с выработанным пространством;

Рисунок 4.5 – Зоны предельного состояния (разрушения) массива горных пород на границе с выработанным пространством;

Рисунок 4.6 – Распределение напряжений в выработанном пространстве на границе между выемочными участками;

Рисунок 4.7 – Зоны предельного состояния (разрушения) массива горных пород в выработанном пространстве на границе выемочных участков;

Рисунок 4.8 – Системы разработки;

Рисунок 4.9 – Схема для определения нагрузки на целик угля;

Рисунок 4.10 – График зависимости ширины целика угля от мощности пласта и глубины ведения горных работ;

Рисунок 4.11 – График зависимости ширины полосы из твердеющих материалов от мощности пласта и прочности используемых материалов;

Рисунок 4.12 – График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от мощности обрабатываемого пласта и глубины ведения горных работ;

Рисунок 4.13 – График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от рыночной цены угля;



Рисунок 4.14 – График зависимости экономической эффективности применения разработанной технологии от прочности материала для формирования полос.

**ТАБЛИЦЫ:**

Таблица 1.1 – Сведения об основных горно-геологических и горнотехнических условиях, характеризующих условия работы шахт;

Таблица 2.1 – Основные характеристики разработанных технологий;

Таблица 4.1 – Физико-механические характеристики материалов;

Таблица 4.2 – Результаты расчетов ширины целика угля при различной мощности пласта и глубине ведения горных работ;

Таблица 4.3 – Результаты расчетов ширины полосы из твердеющих материалов при различной мощности пласта и прочности используемых материалов;

Таблица 4.4 – Исходные данные для расчета показателей экономической эффективности разработанной технологии;

Таблица 4.5 – Затраты на производство 1 м<sup>3</sup> бетона различного класса прочности;

Таблица 4.6 – Затраты на материалы полосы;

Таблица 4.7 – Объем запасов выемочного столба с учетом прироста объема добычи;

Таблица 4.8 – Затраты на увеличение площади поперечного сечения штрека;

Таблица 4.9 – Оборудование, необходимое для реализации разработанной технологии;

Таблица 4.10 – Расчет затрат на оплату труда;

Таблица 4.11 – Объем запасов выемочного столба при применении технологии-прототипа;

Таблица 4.12 – Валовая прибыль, получаемая с продажи запасов выемочных столбов, отработанных с применением технологии-прототипа.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Результаты расчета экономической эффективности использования рекомендуемой технологии

Таблица А.1 – Себестоимость 1 т угля по затратам на материалы

Мощность пласта, м	Глубина ведения горных работ, м															
	100				200				300				400			
	Класс бетона															
	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35
	Себестоимость 1 т угля по затратам на материалы, руб															
1	130,5	113,3	107,4	115,2	130,5	113,3	107,4	115,2	128,9	111,9	106,0	113,8	125,4	108,9	103,2	110,7
1,5	87,0	75,5	71,6	76,8	87,0	75,5	71,6	76,8	84,4	73,2	69,4	74,5	81,9	71,1	67,4	72,3
2	65,3	56,6	53,7	57,6	64,9	56,3	53,3	57,3	62,3	54,1	51,3	55,0	60,2	52,2	49,5	53,1
2,5	97,9	90,0	83,9	78,0	96,4	88,6	82,6	76,8	92,4	84,9	79,2	73,6	88,7	81,5	76,0	70,7
3	143,6	126,6	120,8	118,6	140,5	123,9	118,2	116,1	133,9	118,1	112,7	110,7	128,3	113,2	108,0	106,0
3,5	195,8	176,6	167,7	152,5	190,4	171,8	163,2	148,3	181,1	163,3	155,1	141,1	172,6	155,7	147,9	134,4
4	264,3	236,6	224,8	203,4	255,5	228,7	217,3	196,6	241,6	216,3	205,5	185,9	229,8	205,7	195,5	176,8
4,5	355,7	316,5	301,9	274,5	341,8	304,2	290,1	263,8	322,4	286,9	273,7	248,9	305,1	271,5	259,0	235,5
5	479,6	426,5	405,9	369,4	458,2	407,4	387,8	352,9	431,1	383,3	364,9	332,1	407,1	362,0	344,6	313,6

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Результаты расчета экономической эффективности использования рекомендуемой технологии

Таблица А.2 – Себестоимость 1 т угля по затратам на увеличение площади поперечного сечения штрека

Мощность пласта, м	Глубина ведения горных работ, м															
	100				200				300				400			
	Класс бетона															
	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35
	Себестоимость 1 т угля по затратам на увеличение площади поперечного сечения штрека, руб															
1	68,9	62,0	59,7	62,0	68,9	62,0	59,7	62,0	68,1	61,3	59,0	61,3	66,2	59,6	57,4	59,6
1,5	46,0	41,4	39,8	41,4	46,0	41,4	39,8	41,4	44,6	40,1	38,6	40,1	43,3	38,9	37,5	38,9
2	34,5	31,0	29,9	31,0	34,3	30,8	29,7	30,8	32,9	29,6	28,5	29,6	31,8	28,6	27,5	28,6
2,5	46,0	42,5	40,2	37,9	45,2	41,9	39,6	37,3	43,4	40,1	38,0	35,8	41,7	38,5	36,5	34,4
3	62,0	55,1	52,8	51,7	60,7	54,0	51,7	50,6	57,9	51,4	49,3	48,2	55,5	49,3	47,2	46,2
3,5	80,4	72,4	68,9	63,2	78,2	70,4	67,0	61,5	74,4	66,9	63,8	58,4	70,9	63,8	60,8	55,7
4	104,5	93,1	88,5	80,4	101,1	90,0	85,5	77,8	95,6	85,1	80,9	73,5	90,9	80,9	76,9	69,9
4,5	136,7	120,6	114,9	104,5	131,4	115,9	110,4	100,5	123,9	109,4	104,1	94,8	117,3	103,5	98,6	89,7
5	180,4	158,5	150,5	136,7	172,3	151,4	143,8	130,6	162,1	142,5	135,3	122,9	153,1	134,6	127,8	116,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Результаты расчета экономической эффективности использования рекомендуемой технологии

Таблица А.3 – Себестоимость 1 т угля по затратам на амортизационные отчисления

Мощность пласта, м	Глубина ведения горных работ, м															
	100				200				300				400			
	Класс бетона															
	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35
	Себестоимость 1 т угля по затратам на амортизационные отчисления, руб															
1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,6	2,6	2,6	2,6	3,3	3,3	3,3	3,3
1,5	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,1	3,1	3,1	3,1	3,9	3,9	3,9	3,9
2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	3,5	3,5	3,5	3,5	4,5	4,4	4,4	4,4
2,5	2,3	2,3	2,3	2,3	2,7	2,7	2,7	2,7	3,9	3,9	3,9	3,9	5,0	5,0	5,0	5,0
3	2,4	2,4	2,4	2,4	3,0	3,0	3,0	3,0	4,3	4,3	4,3	4,3	5,5	5,5	5,5	5,5
3,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,2	3,2	3,2	3,2	4,6	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0	6,0	6,0
4	2,5	2,5	2,5	2,5	3,4	3,4	3,4	3,4	5,0	5,0	5,0	5,0	6,5	6,5	6,5	6,5
4,5	2,6	2,6	2,6	2,6	3,7	3,7	3,7	3,7	5,3	5,3	5,3	5,3	7,0	7,0	7,0	7,0
5	2,7	2,7	2,7	2,7	4,0	4,0	4,0	3,9	5,7	5,7	5,7	5,7	7,4	7,4	7,4	7,4

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Результаты расчета экономической эффективности использования рекомендуемой технологии

Таблица А.4 – Увеличение себестоимости 1 тонны угля при реализации разработанной технологии

Мощность пласта, м	Глубина ведения горных работ, м															
	100				200				300				400			
	Класс бетона															
	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35
	Себестоимость 1 тонны угля при реализации разработанной технологии															
1	202,7	178,6	170,3	180,5	202,7	178,6	170,3	180,5	200,5	176,7	168,6	178,6	196,0	172,8	164,9	174,7
1,5	136,2	120,1	114,6	121,4	136,2	120,1	114,6	121,4	133,0	117,4	112,1	118,7	130,0	114,9	109,7	116,1
2	103,0	90,9	86,8	91,9	102,5	90,5	86,4	91,5	99,7	88,2	84,3	89,1	97,4	86,3	82,5	87,2
2,5	147,1	135,8	127,4	119,2	145,3	134,1	125,9	117,8	140,6	129,9	122,0	114,2	136,4	126,1	118,5	111,0
3	209,0	185,1	177,0	173,7	205,2	181,8	173,9	170,6	197,1	174,8	167,2	164,2	190,3	169,0	161,7	158,7
3,5	279,7	252,4	240,1	219,2	272,8	246,4	234,4	214,0	261,0	235,9	224,5	205,1	250,5	226,5	215,6	197,1
4	372,4	333,2	316,8	287,3	361,0	323,1	307,3	278,8	343,2	307,4	292,4	265,5	328,2	294,1	279,9	254,2
4,5	496,0	440,8	420,4	382,7	477,9	424,8	405,2	369,0	452,7	402,6	384,2	350,0	430,4	383,0	365,6	333,2
5	663,8	588,7	560,2	509,9	635,4	563,8	536,5	488,4	600,0	532,5	506,8	461,6	568,7	505,0	480,7	438,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Результаты расчета экономической эффективности использования рекомендуемой технологии

Таблица А.5 – Валовая прибыль, получаемая с продажи запасов выемочных столбов, отработанных с применением рекомендуемой технологии

Мощность пласта, м	Глубина ведения горных работ, м															
	100				200				300				400			
	Класс бетона															
	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35	B22,5	B27,5	B30	B35
	Валовая прибыль, получаемая с продажи запасов выемочных столбов, отработанных с применением разработанной технологии, млн. руб															
1	1736	1778	1792	1775	1736	1778	1792	1775	1762	1804	1818	1800	1819	1861	1875	1857
1,5	2778	2820	2834	2816	2778	2820	2834	2816	2873	2915	2930	2912	2969	3011	3025	3007
2	3819	3861	3876	3858	3845	3887	3901	3884	4010	4052	4067	4049	4163	4205	4219	4201
2,5	4582	4632	4668	4704	4662	4711	4748	4783	4884	4934	4970	5006	5106	5156	5192	5228
3	5175	5300	5343	5360	5309	5434	5476	5493	5614	5739	5781	5798	5899	6024	6066	6084
3,5	5607	5773	5848	5976	5808	5974	6049	6176	6186	6352	6427	6554	6563	6729	6804	6931
4	5763	6036	6150	6355	6043	6316	6430	6635	6525	6798	6912	7118	6981	7254	7368	7573
4,5	5515	5947	6107	6402	5887	6319	6479	6774	6458	6890	7050	7345	7027	7460	7619	7915
5	4667	5320	5569	6007	5144	5797	6046	6484	5810	6463	6712	7150	6474	7127	7376	7814