

На правах рукописи

Голубев Дмитрий Дмитриевич



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

*Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная,
открытая и строительная)*

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

Санкт-Петербург – 2021

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Зубов Владимир Павлович

Официальные оппоненты:

Мельник Владимир Васильевич
доктор технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра геотехнологии освоения недр, заведующий кафедрой;

Белодедов Андрей Алексеевич
кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова», кафедра «Горное дело», доцент.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула.

Защита диссертации состоится 30 сентября 2021 г. в 13:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.06 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд. № 1171а.

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

Автореферат разослан 30 июля 2021 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ИВАНОВ
Владимир Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 воздухо непроницаемых 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы цель, идея и основные задачи исследований, изложена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен анализ систем разработки, применяемых при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию. Выполнен анализ условий развития очагов самовозгорания в угольных шахтах. Произведена оценка действующих нормативных документов, регламентирующих отработку пластов угля, склонного к самовозгоранию. Определены направления совершенствования применяемых в настоящее время технологий. Проанализирован опыт применения бесцеликовых технологий для отработки пологих пластов угля.

Вторая глава посвящена разработке возможных вариантов технологий отработки пологих пластов угля без оставления межстолбовых целиков для различных горнотехнических условий. В ней определены основные

требования к технологиям отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию. Предложены технологии с отработкой целика угля на одной линии с очистным забоем, за очистным забоем, с опережением очистного забоя и при подготовке выемочного столба. Описана технология отработки целика угля на одной линии с очистным забоем с предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба.

Третья глава посвящена организации ведения горных работ при реализации технологии отработки целика угля на одной линии с очистным забоем с предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба. В ней представлены основные принципы подготовки и отработки выемочных столбов. Описана принципиальная схема проветривания выемочного участка. Изложен способ формирования полосы из твердеющих материалов.

Четвертая глава посвящена оценке возможности применения технологии отработки целика угля на одной линии с очистным забоем с предварительным возведением полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба в различных горно-геологических условиях. Приведены и проанализированы результаты численного моделирования процесса отработки пологого пласта угля с применением разработанной технологии. Произведен расчет параметров целиков и полос из твердеющих материалов. Изложена методика и результаты оценки экономической эффективности применения разработанной технологии.

В заключении изложены основные выводы по результатам проведенных исследований.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

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.

В угольных шахтах при отработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, с использованием системы разработки длинными столбами с подготовкой столбов сдвоенными выработками 1 и 2, 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 (рисунок 1).

Выполненные исследования показали, что очаги самовозгорания в краевых частях целиков чаще всего формируются из-за воздействия на них опорного горного давления, под влиянием которого краевые части угольных целиков разрушаются, создавая зоны разрыхленного угля. Одновременно с этим температура угля в зоне упругой деформации целиков повышается. Возникающая тепловая депрессия обеспечивает приток воздушных потоков к скоплениям разрыхленного угля и способствует развитию очагов самовозгорания. Данные выводы подтверждаются результатами многочисленных шахтных и лабораторных исследований В. А. Скрицкого, В. Н. Опарина, В. А. Портолы, Ли Хи Уна и др.

Учитывая, что оставление целиков угля в выработанном пространстве является основной причиной формирования очагов самовозгорания, для уменьшения уровня эндогенной пожароопасности при отработке пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, необходимо применять системы разработки без оставления межстолбовых целиков.

В то же время именно оставление целиков позволяет использовать схему проветривания выемочного участка с отводом части воздуха из очистного забоя по выработанному пространству, исключить негативное влияние выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного столба на работу очистного забоя и использовать анкерную крепь в качестве основной крепи участковых выработок. Перечисленные факторы позволяют обеспечивать высокую производительность очистного и проходческого забоев.

Исходя из вышеизложенного, снизить эксплуатационные потери полезного ископаемого и опасность формирования очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве возможно путем возведения 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.

Так как охранные конструкции, такие как полосы из твердеющих материалов, являются элементом системы разработки, работы по их формированию должны быть

взаимоувязаны с основными процессами очистных или нарезных работ.

В ходе исследований было разработано несколько альтернативных вариантов технологий отработки пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, которые представлены на рисунках 2, 3, 4 и 5. Результаты сравнительного анализа разработанных технологий представлены в таблице 1.

На основании полученных результатов сделан вывод о том, что технологии с отработкой целика угля и возведением полосы из твердеющих материалов за очистным забоем, представленная на рисунке 2, и с его опережением, представленная на рисунке 3, не могут быть рекомендованы к применению, так как при их реализации не обеспечиваются безопасные условия отработки целиков.

Технология с отработкой целика между сдвоенными штреками и формированием на его месте полосы из твердеющих материалов в процессе подготовки выемочного столба, представленная на рисунке 4, 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, представленная на рисунке 5, 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 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.

Для оценки возможности использования рекомендуемой технологии и определения напряженно-деформированного состояния полос из твердеющих материалов, целиков угля и других элементов технологии на разных этапах отработки выемочного столба в исследовании применялось компьютерное моделирование с использованием программной системы конечно-элементного анализа «ANSYS».

Результаты моделирования показали, что максимальная нагрузка воздействует на полосу в зоне влияния опорного давления, формируемого перед очистным забоем. При этом большая часть нагрузки от веса вышележащих пород приходится на смежный к полосе целик угля, что позволяет полосе не разрушаться на участке перед очистным забоем.

На участке за очистным забоем, после отработки смежного к полосе целика, полоса не способна выдержать нагрузку, которая воздействует на нее в выработанном пространстве и разрушается. Таким образом при реализации

разработанной технологии полоса способна выполнить функцию по изоляции очистного забоя и вентиляционного просека, после чего разрушается за лавой, не формируя зон повышенного горного давления.

После разрушения полосы из твердеющих материалов 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, исследованиями В. С. Елькина.

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.

Оценка экономической эффективности разработанной технологии, представленной на рисунке 5, производилась на основании сравнительного анализа с ее прототипом – системой разработки длинными столбами с подготовкой 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». 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; 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 (1):

$$П_B = B - C \quad (1)$$

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 – $П_B$.

При выполнении анализа было выполнено сравнение валовой прибыли, полученной при продаже запасов выемочного столба, отработанного с применением системы разработки длинными столбами с подготовкой сдвоенными выработками и оставлением целиков угля в выработанном пространстве – P_{B1} (2), и валовой прибыли с продажи запасов идентичного выемочного столба, отработанного с применением разработанной технологии – P_{B2} (3).

$$P_{B1} = P_B \cdot Q \quad (2)$$

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

$$P_{B2} = (P_B - \Delta C) \cdot (Q + \Delta Q) \quad (3)$$

где P_B – валовая прибыль с продажи 1 тонны угля, руб, ΔC – увеличение себестоимости 1 тонны угля при реализации разработанной технологии, руб, Q – объем запасов угля в границах выемочного столба, т, ΔQ – прирост объема добычи угля за счет отработки целика на одной линии с очистным забоем, т.

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%.

На основании результатов расчетов были построены графики зависимости валовой прибыли при применении разработанной технологии от основных влияющих факторов. В частности, на рисунке 6 представлен график зависимости валовой прибыли от мощности отрабатываемого пласта и глубины ведения горных работ. На рисунке 7 представлен график зависимости валовой прибыли от рыночной стоимости угля.

Произведенный сравнительный анализ показал, что наибольшей экономической эффективности применения разработанной технологии удастся добиться при отработке пластов угля мощностью 2,0-2,5 м на глубине более 200-250 м. С увеличением глубины ведения горных работ возрастает экономическая эффективность применения разработанной технологии и увеличивается область применения разработанной технологии по мощности отрабатываемого пласта. Также рост экономической эффективности и увеличение области применения разработанной технологии как по мощности, так и по глубине ведения горных работ, наблюдаются при увеличении рыночных цен на уголь. Однако даже при увеличении рыночных цен на уголь, максимальная экономическая эффективность применения разработанной технологии достигается при отработке пластов мощностью 2,0-2,5 м.

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 г., 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 ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. **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.

2. **Голубев, Д.Д.** Использование бесцеликовых технологий при отработке пологих пластов угля, склонного к

самовозгоранию // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 7. – С. 64-77.

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

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

4. **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.

5. **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.

6. **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 – 2019. – Volume 1, pp. 32-38.

Патенты:

7. 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; опубл. 15.07.2020, Бюл. №20.

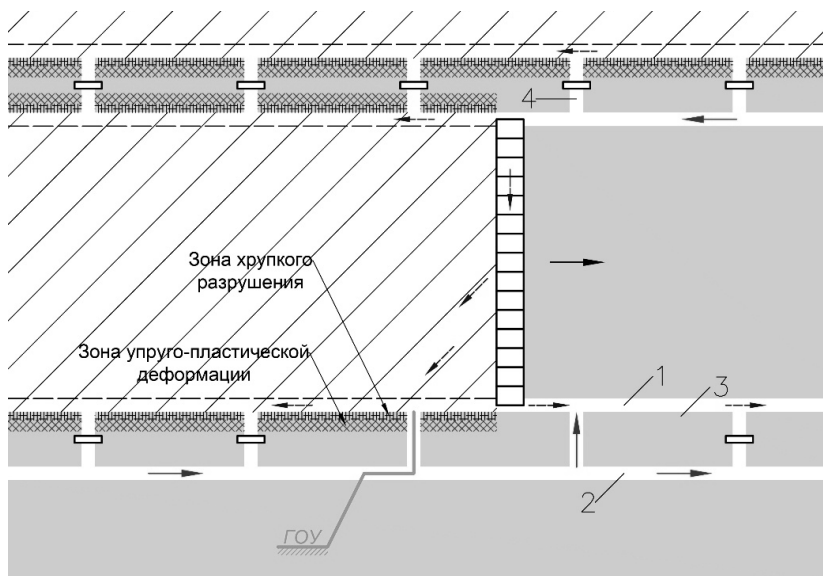


Рисунок 1 – Зоны формирования очагов самовозгорания в границах выемочного участка

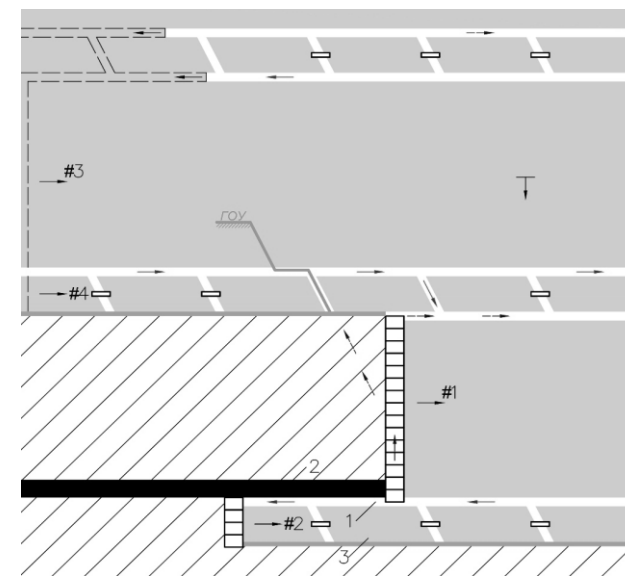


Рисунок 2 – Формирование искусственной полосы за очистным забоем

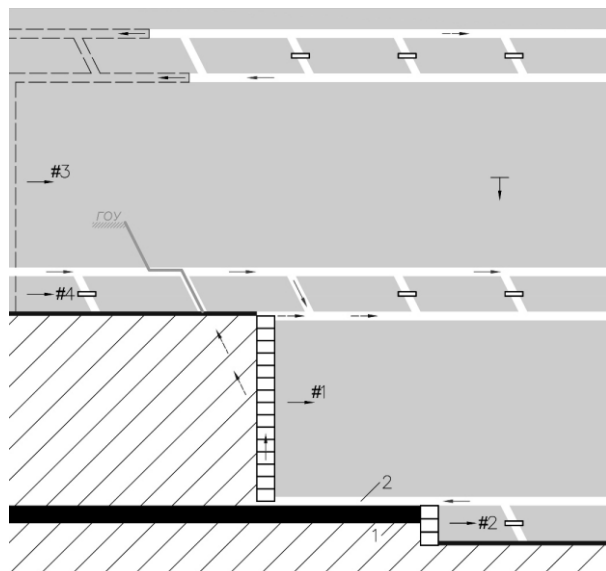


Рисунок 3 – Формирование искусственной полосы с опережением очистного забоя

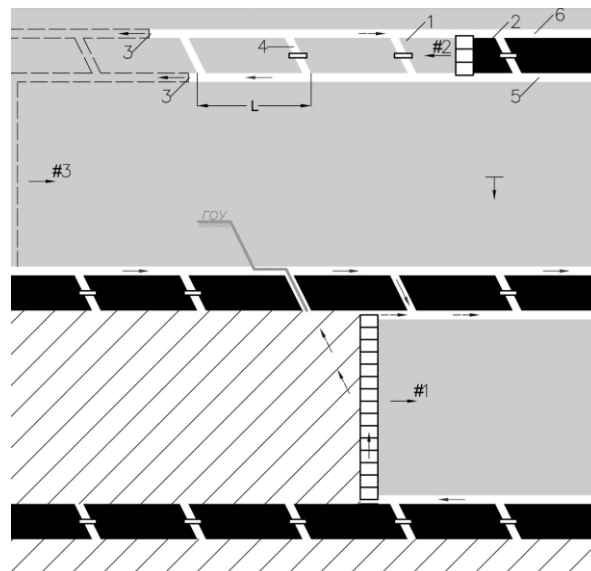


Рисунок 4 – Отработка целика и формирование на его месте искусственной полосы при подготовке выемочного столба

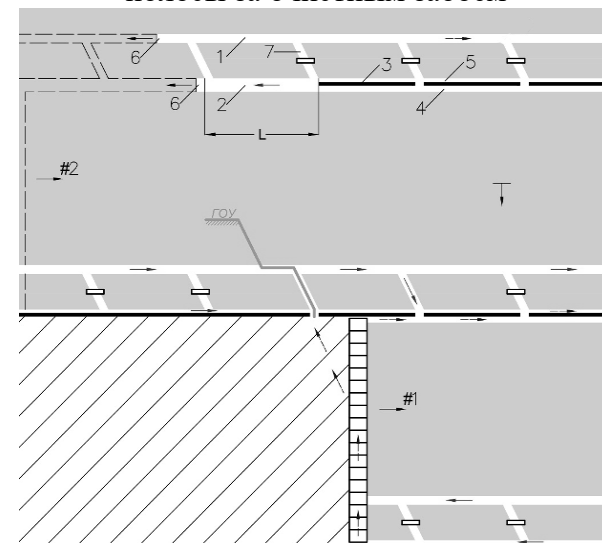


Рисунок 5 – Отработка целика угля на одной линии с очистным забоем с предварительным возведением

Таблица 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
Преимущества				
Изоляция выемочного участка	+	+	+	+
Комбинированная схема проветривания	+	+	+	+
Анкерная крепь в качестве основной	+	+	+	+
Обеспечение безопасных условий отработки целика	-	-	+	+
Недостатки				
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	-	-	-	+

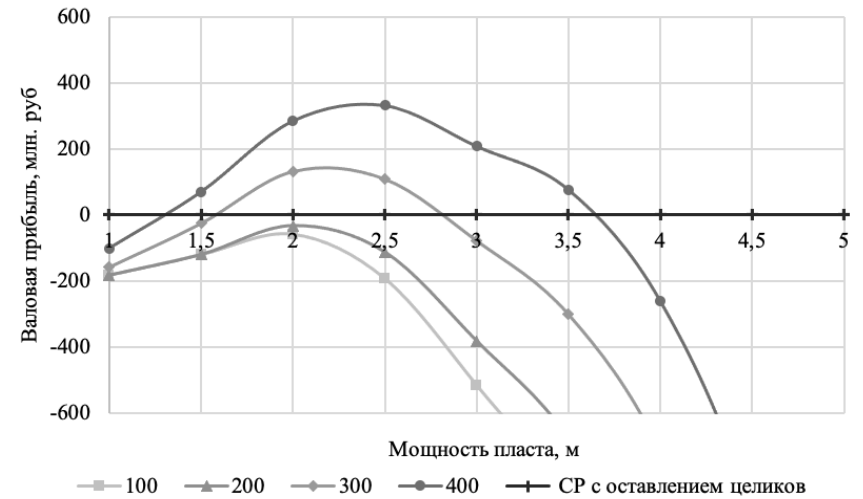


Рисунок 6 – График зависимости валовой прибыли при применении разработанной технологии от мощности обрабатываемого пласта и глубины ведения горных работ

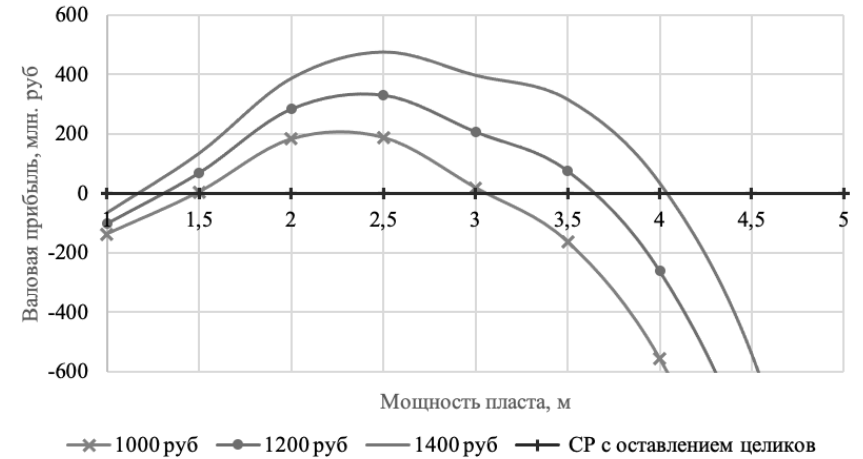


Рисунок 7 – График зависимости валовой прибыли при применении разработанной технологии от рыночных цен на уголь