



УДК 622.271.324

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ «ДЛИННЫМИ ПОЛОСАМИ С КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ»

Игнатов Е.В., Тюленев М.А.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева



Информация о статье

Поступила:

25 мая 2023 г.

Рецензирование:

16 июня 2023 г.

Принята к печати:

25 июня 2023 г.

Ключевые слова:

шахтная крепь, подземная
разработка угля,
подготовительные выработки,
выработанное пространство,
бесцеликсовая технология,
охрана горных выработок,
горное давление

Аннотация.

Основным источником опасности при системе разработки длинными столбами по простиранию являются различные формы проявления горного давления, связанные с управлением кровлей полным обрушением. Фактически в этой фразе «управление» должно стоять в кавычках, т.е. надо признать, что обрушение кровли при работе комплексно-механизированных забоев (КМЗ) является неуправляемым.

Особенно остро проблема управления кровлей встала в последние годы – в связи с переходом горных работ на большие глубины и увеличением доли промышленных запасов, приходящихся на пласты с труднообрушающейся кровлей, которая составляет сегодня, по некоторым оценкам, от 40 до 60 %.

В науке и практике сформировались два направления, призванные способствовать интенсификации разработки в данных условиях: это создание мощных, высоконесущих мехкрепей, и второе, просуществовавшее около двух десятилетий во времена СССР, – это дезинтеграция пород кровли.

С целью обоснования параметров предложенных технических и технологических решений, было решено кратко остановиться на анализе и некоторых собственных исследованиях способов управления кровлей и состоянием массива кровли в длинных очистных забоях.

Для цитирования: Игнатов Е.В., Тюленев М.А. Геомеханическое обоснование геометрических и технологических параметров системы разработки «длинными полосами с короткими забоями» / Е.В. Игнатов, М.А. Тюленев // Техника и технология горного дела. – 2023. – №2(21). – С. 59-87. – DOI:10.26730/2618-7434-2023-2-59-87, EDN: OEMEIE

Введение. Современные тенденции в развитии параметров длинностолбовой системы разработки и основных технологических процессов

Несколько последних десятилетий в мире не внедрено ни одной принципиально новой системы разработки, происходит эволюционное совершенствование существующей техники и технологий. Узловыми проблемами современного этапа технического развития подземной угледобычи являются радикальное сокращение ручного труда и производство горных работ без присутствия людей в опасных зонах.

Удельный вес механизированного труда при подземном способе добычи угля не превышает трети общих трудовых затрат. Одним из основных факторов, объясняющих это положение, является отсутствие существенных прогрессивных изменений в технологии подземной добычи угля. Не удалось добиться радикальных результатов с помощью традиционных средств механизации и автоматизации в рамках существующих технологий.

Совершенствование конструкции мехкомплексов мало влияет на снижение доли ручного труда. Развитием систем управления КМЗ избежать ручного труда в лаве на данном этапе не



удается: например, на шахте «Распадская», в лаве, оборудованной электрогидравлической системой управления комплексом КМ-138Д конструкции фирмы «Даути», было установлено, что объём ручного труда составил около 40% общей трудоемкости [1].

Минимизация ручного труда может быть достигнута на основе применения новых технологий, позволяющих механизировать, автоматизировать, роботизировать узловые производственные процессы, т.е. невозможно снизить уровень ручного труда, повысить безопасность, решить экологические вопросы (пыль, газы, вода) без принципиальных изменений технологий [2].

С позиции общей теории развития техники угледобывающее производство довольно консервативно и характеризуется не высоким (относительно других отраслей) техническим уровнем. Оно многопроцессорное и реализуется посредством большой номенклатуры машин, механизмов. Это сложная многофункциональная система взаимодействия «человек – машина – горный массив». Прогнозирование поведения этой системы весьма сложно.

Попытки применить в горном деле достижения НТП из других отраслей к значительному эффекту не приводят. Уровень ручного труда в шахтах остается достаточно высоким [9].

Основным направлением развития техники считается повышение ее надежности и энерговооруженности. Эта идея технического развития была сформулирована в середине 80-х годов инженерами в США и дала поразительные результаты: производительность труда, которая в 1980 году составляла 1,9 т/чел.-ч., в 1994 г. достигла 5 т/чел.-ч., при максимальной до 75 т/чел.-смену (табл. 1) [7]. Сегодня полностью сложилось представление о современной технологии добычи угля в длинных очистных забоях, обеспечивающей устойчивую, высокопроизводительную работу, которая определяется следующими факторами:

- высокой энерговооруженностью комбайнов и резервом мощности, гарантирующим значительную часовую производительность;
- высокой несущей способностью секций крепи, снижающей вероятность остановок в работе лавы из-за повреждений секций, обрушения и вывалов кровли;
- надежностью забойного конвейера и пропускной способностью, превышающей производительность комбайна.

Таблица 1. Динамика энерговооруженности оборудования длинных очистных забоев на шахтах США

Table 1. Dynamics of the energy intensity of longwall equipment in U.S. mines

Годы	Средняя годовая добыча из одного очистного забоя, тыс. т	Энерговооруженность, кВт		Производительность конвейера, т / ч
		Комбайна	Конвейера	
1985	546	322	422	-
1990	1020	501	675	1151
1992	1330	523	711	1232
1994	2160	545	749	1261
1996	2720	661	888	1375
1998	3120-3500	771	1183	-

Энерговооруженность и эксплуатационная надежность применяемых отечественных комбайнов, конвейеров и мехкрепей остается существенно ниже, чем на шахтах США, Германии, Австралии [5].

Новая техническая политика в угольной отрасли в России, направленная на сокращение действующих шахт и концентрацию горных работ в 1÷2 забоях, переоснащение отрасли оборудованием «нового» технического уровня, повышения нагрузки на очистной забой характерна и для Запада.

Рассмотрим причины сложившейся ситуации, связанные с основными технологическими процессами, современные тенденции и предполагаемые направления развития.

Очистные работы



Рассмотрим этот вопрос по странам с наиболее высокоразвитой системой угледобычи на пологих пластах средней мощности. В последние годы в угольной промышленности США отмечается рост ширины длинного столба по простиранию. Средняя длина очистного забоя равнялась 218 метрам, последние годы эта цифра выросла до 228 метров [3]. В отдельных случаях длина лава достигает 335 метров. Растущая длина лав требует увеличения мощности двигателей конвейеров, а, следовательно, более длинных и мощных (38÷42 мм) цепей.

В России средняя длина одного действующего очистного забоя увеличилась в среднем на 7 м: по Донецкому бассейну 174 м, Кузбассу – 143 м, в Печерском бассейне – 158 м.

Длина столбов также растет. В США многие годы общепринятой была длина 2400 метров, достигая в отдельных случаях 3600 м, сейчас же готовится столб длиной 6700 м.

Благодаря увеличению ширины столба и его длины стало возможным увеличение добычи товарного угля с одновременным сокращением числа действующих лав. В начале 80-х годов общее количество лав превышало 110. Сейчас эта цифра колеблется около 80. При этом на 60 шахтах обрабатывается 1 лава, а на 10 – 2 лавы. Ни на одной шахте не обрабатывается более 2 лав.

Очевидно, выбор параметров выемочного столба (ВС) следует принимать максимально возможным в конкретных ГГУ и ГТУ и с учетом сложившейся схемы раскройки горизонта, шахтного поля, наличия переходимых и труднопереходимых нарушений.

Во избежание замены машин и механизмов в процессе обработки выемочного столба, его длина должна быть увязана с ресурсом добычного оборудования, а длина лавы с техническими возможностями конвейерных установок, надежностью гидросистемы комплекса [7, 9].

В работе [8] приводятся зависимости производительности МК от длины ВС: для отечественных МК она снижается при длине ВС свыше 1200÷1500 м, а для зарубежных свыше 2200÷2500 м. По данным автора удельные затраты на «монтаж – демонтаж» и период эффективной работы плавно выходяются при достижении длины столба 2800÷3000 м.

Однако размеры столбов ограничены в силу физических и технических причин.

Современная позиция российских ученых и производителей по этому вопросу, основывается на позитивном опыте угольной промышленности США [1-3], где применяются планировочно-технологические схемы «лава – шахта», «лава – пласт». Перевод действующих и строительство новых предприятий России на работу по модели «лава-шахта», требует изменения подхода к планировке горных работ, инфраструктуры транспортных и вентиляционных выработок, сокращения протяженности поддерживаемых выработки обусловленное концентрацией горных работ. Это, по мнению специалистов, является главным условием кратного повышения технико-экономических показателей отрасли [4, 5].

Продолжается тенденция к увеличению шага подвигания крепи (ширины захвата комбайна) десять лет он составлял 0,76 м, сегодня шаг подвигания равный 0,91 м и более становятся наиболее популярными. Предвидится возможность увеличения шага подвигания до 1,52 м.

Движителем этой тенденции является стремление снизить удельные затраты: на подготовительные работы, монтаж – демонтаж мехкрепи, на уровень ручного труда и опасность техногенного воздействия на горный массива; повысить коэффициент машинного времени; вывести рабочих из зон повышенной опасности: отбойки угля, перемещения крепи, посадки кровли.

Нарастание ширины выемочного столба влечет за собой увеличение: мощности двигателей конвейеров, выемочных комбайнов; шага подвигания крепи – ширины захвата выемочного комбайна, геометрических и силовых параметров конвейеров, крепи, комбайна.

Все это требует увеличения полезного сечения очистной выработки: для размещения возросших габаритов оборудования, для увеличения количества подаваемого воздуха, в связи с ростом газовыделения.

Современная технология и оборудование для длинных очистных забоев достигли в своем развитии критического уровня.



Увеличивающаяся масса и размеры оборудования, все большая сложность гидравлических систем, компьютеризация ведут к быстрому и неадекватному росту капитальных затрат и издержек производства [4].

Так при увеличении несущей способности и металлоемкости в 2 раза стоимость комплекса увеличилась в 3÷4 раза, при росте производительности только в 1,5 раза. При этом уровень надежности комплексов снизился в 1,5÷1,8 раза [10].

Анализ показывает, что современная техника и технология исчерпала резервы повышения производительности и интенсивности труда, снижения уровня ручного труда и безопасности. Т.е. эти проблемы в рамках традиционной технологии добычи угля не решаются.

Совершенствование конструкции мехкомплексов мало влияет на снижение доли ручного труда. Развитием систем управления КМЗ избежать ручного труда в лаве, на данном этапе, не удастся.

Основным направлением уменьшения уровня ручного труда исследователи видят на путях автоматизации и роботизации операций. Однако традиционная технология крепления очистного забоя мехкрепью, настолько многоэлементная (до 200 и более взаимосвязанных секций) и многофакторная, что надежность системы «крепь – горный массив» часто не достигает необходимого уровня. Этот путь развития не позволяет вывести рабочего из зон повышенной опасности (зон выемки угля, перемещения крепи).

Подготовительные работы

Уровень ручного труда при проведении подготовительных работ на угольных шахтах РФ длительное время практически не уменьшается. Основным научно-техническим направлением, способным в большинстве имеющихся горно-геологических условий кардинально поднять уровень проведения выработок и свести к минимуму ручной труд, является создание проходческих комплексов, обеспечивающих совмещение и механизацию практически всех основных операций проходческого цикла.

Подземный транспорт

По данным отечественной и зарубежной практики, техническое развитие вспомогательного транспорта должно базироваться на расширении применения без перегрузочной пакетно-контейнерной доставки грузов с использованием подвесных и напочвенных дорог.

Таким образом, анализ показывает, что дальнейшее повышение интенсивности добычи угля, безопасности, снижение трудоемкости и повышение эффективности лежит на путях поиска новых подходов к этой проблеме.

Анализируя патентные и литературные источники, можно заключить, что в ближайшее время революционных преобразований в технологии угледобычи не ожидается, т.е. совершенствование было и остается важной задачей.

Базовые идеи, положенные в основу разработки новой технологической схемы

Как уже отмечалось, в последние 30÷35 лет одной из основных концепций угледобычи в России и за рубежом являлась бесцеликовая отработка угольных пластов.

Идея бесцеликовой технологии отработки выемочных полей явилась воплощением потребности производства в ускорении темпов подготовки выемочных столбов, снижения удельного объема проведения подготовительных выработок и полной выемки подготовленных запасов угля по экономическим, геомеханическим и причинам пожароопасности.

Эта технология, на предыдущем этапе развития отрасли явилась прогрессивным решением, обеспечивающим своевременное восполнение очистного фронта, снижение потерь подготовленных запасов. При этом скорости подвигания лав до 3÷5 м/сут были соизмеримы с возможными темпами работ по поддержанию выработки за лавой даже при полном отсутствии механизации работ.

Вместе с тем переход на бесцеликовые схемы подготовки и отработки произошел на старой элементной базе, не приспособленной к новой геомеханической среде, и как результат, 80÷90% повторно используемых выработок при входе в зону влияния опорного давления второй лавы не соответствуют нормам ПБ.



Работы по созданию средств механизации работ по охране выработок, сохраняемых на границе «массив – обрушенные породы», несмотря на ряд интересных технических решений [11 и др.], не привели к разработке надежного оборудования, т.е. работы по сохранению выработок на границе с выработанным пространством остаются тяжелым ручным трудом в зоне повышенной опасности.

Последние 10÷12 лет по мере увеличения глубин разработки, усложнения горно-геологических условий снижается доля участия бесцеликовой выемки в угледобыче России.

Передовые угледобывающие страны – США, Австралия, ЮАР – отказались от этого направления и перешли на многоштрековую подготовку выемочных полей.

Однако многоштрековая подготовка не перспективна для российских шахт из-за сложности горно-геологических условий: значительных углов падения, сближенного залегания пластов в свите, а также большой глубины горных работ, требующих оставления значительных межлавных целиков.

Ряд российских исследователей также отмечают геомеханическую нецелесообразность размещения выработки на границе «массив – обрушенные породы».

Повышение энерговооруженности очистного оборудования привело к увеличению скоростей подвигания лавы и комплекс работ по сохранению выработки становится сдерживающим фактором для роста производительности.

Бесцеликовая технология применяется по следующим причинам: отказ от нее и переход на охрану выработок целиками приведет к дополнительным пожарам взрывам, горным ударам, выбросам, проблемам надрботки и подработки, т.е. во многих случаях, альтернативы бесцеликовой технологии для российских шахт нет, поэтому необходимо ее коренное совершенствование.

Некоторые пути решения вопросов совершенствования бесцеликовой отработки в рамках традиционной технологии показаны в наших предыдущих публикациях.

Ставится вопрос о том, имеет ли сегодня будущее более чем 30-летняя тенденция бесцеликовой отработки, и в каком виде должна существовать эта идея?

Видимо, необходим поиск новых технических решений, переводящих концепцию бесцеликовой технологии на новый технологический уровень.

Последние несколько десятилетий в мире не внедрено ни одной принципиально новой системы разработки. Однако в мире идут поиски новых подходов. В Австралии успешно эксплуатируется лава «Мини Уолл» длиной 35 метров, не имеющая второго запасного выхода – свежий воздух проходит через лаву перед секциями, имеющими уплотнение с завальной стороны, а затем удаляется через выработанное пространство.

В ЮАР, Австралии отработка пластов короткими лавами составляет 10÷20% в общей добыче. В ряде других стран, в том числе ФРГ (ш. Штольценбах), Японии (ш. Тайхайс Танко), Польше, Китае и других также отмечается тенденция роста отработки пластов короткими лавами от 10 до 60 м.

Аналогичное оборудование для коротких лав выпускается и в России, и авторы работы [10] считают, что это одно из перспективных направлений снижения первоначальных затрат и себестоимости угля.

Идея бесцеликовой отработки выемочных полей может быть реализована в рамках существующих технических возможностей путем изменения традиционных представлений о параметрах схем подготовки и отработки, способах крепления и управления кровлей.

Логическая линия процесса формирования новой идеологии полной производственной системы, являющейся продолжением научного направления 60–80-х годов, известного под названием «Бесцеликовая подготовка и отработка», началась с вывода из геомеханических исследований: расположение выработок на границе «массив – обрушенные породы» геомеханически не рациональное и экономически не оптимальное техническое решение, а также с поиска вариантов технических решений, позволяющих резко уменьшить объём проведения (поддержания) подготовительных выработок при сохранении идеи полной выемки подготовленных запасов. Ранее нами на основе анализа геомеханических процессов сдвижения и разрушения краевой части пласта и пород кровли выделены геомеханические особенности и



предложены технические решения, позволяющие, в какой-то мере, элиминировать влияние отдельных негативных геомеханических факторов.

Наиболее полно отражает современные тенденции развития вариант системы разработки с гибкими технологическими параметрами, адаптированными к конкретным горно-геологическим условиям.

Формирование этой идеи происходило на основе преемственности положительных свойств предыдущих технических уровней развития технологий разработки пологих пластов средней мощности.

В основу идеи положен принцип достижения минимальной опасности процесса добычи, связанной в первую очередь с поиском путей минимизации объема пород, одновременно участвующих в процессе обрушения.

В современной лаве производится подработка кровли по всей длине (200÷250 метров), т.е. вся масса вышележащих пород включена в активный процесс разрушения. Произведем подсчет массы пород кровли с участием только основной кровли мощностью 20 метров, в лаве длиной 200 м, при шаге посадки 10 м: $20 \cdot 200 \cdot 10 \cdot 2,7 = 108000$ т.

В новом решении в активном процессе сдвижения и разрушения находится только один блок кровли, т.е. минимизируется (локализуется) зона активного разрушения – зона опасности. Достигается это путем согласования параметров системы разработки: «шаг посадки основной кровли равен ширине узкой полосы (длина лавы), длине поддерживаемого пространства (длина механизированного целика) и шагу передвижки крепи».

Применение системы разработки «длинными полосами с короткими забоями» позволяет перейти на новый технический уровень подготовки шахтных полей – безъярусный.

Такая постановка вопроса технически не укладывалась в рамки традиционного видения всей системы технологий в выемочном столбе и открывала новые возможности для поиска технических решений.

Произошло «обрастание» этой идеи по технологическим направлениям: крепление выработанного пространства – механизированными целиками; транспортирование отбитого угля с упаковкой его в специальную тару; выемочные машины и, основное, это параметры выемочного столба, т.е. управление горным давлением.

С целью обоснования предложенных параметров технических и технологических решения, возникла необходимость кратко коснуться вопросов сдвижения и разрушения пород кровли и краевой части пласта и влияния технологических процессов в очистном забое на их характер, а также управления горным давлением. Подробно результаты этих исследований, выполненных на кафедре РМПИ КузПИ-КузГТУ под руководством профессоров д.т.н. Егорова П.В., Ковачевича П.М., Лукьянова П.Ф., Рыжкова Ю.А., Вылегжанина В.Н., Ренева А.А., доцентов к.т.н. Федорова Н.А., Курзанцева О.С., Вагапова М.С., изложены в работах [12-16] и др.

Анализ способов управления кровлей и состоянием массива кровли в длинных очистных забоях. Обзор исследований влияния «труднообрушающейся» кровли на процесс выемки в очистном забое

Основным признаком «труднообрушающейся» (ТО) кровли является периодическое проявление первичных и вторичных осадок основной кровли с повышенной тяжестью и интенсивностью при разработке угольных пластов, приводящим к высоким скоростям и величинам смещений кровли, усиленному вывалообразованию и раздавливанию краевой части пласта.

Основным критерием труднообрушающейся кровли является величина отношения величина отношения суммарной мощности h легко- и среднеобрушающихся слоев пород, слагающих непосредственную кровлю и залегающих под трудно- и весьма труднообрушающимися породами основной кровли, к вынимаемой мощности угольного пласта (m). По многочисленным практическим данным [17]:

$$(3...4) > \frac{h}{m} > 0. \quad (1)$$



В исследованиях различных организаций и авторов приводятся еще ряд критериев, определяющих ТО кровли: по размерам блоков разрушения основной кровли, по прочностным характеристикам пород, по шагу обрушения.

По различным источникам, количество пластов с ТО кровлей в Кузбассе составляет от 26% до 50%. Вопросом исследований проявлений горного давления в условиях ТО кровель занимались в той или иной мере практически все научные силы страны: МГИ, ЛГИ, КНИУИ, ВНИМИ, КузНИУИ, КузПИ и другие организации.

В работах Коровкина Ю.А., Микляева Е.И. [18-24] рассматриваются исследования работы модернизированных серийных комплексов для ТО кровель, а также вопрос критериев оценки этих кровель [25].

Это же направление исследуется в работах Дымны А.И. [26], Приходько Ю.И. [27] и ряда других ученых [28-31].

Ряд авторов: Жихорь Е.А. [32], Журило А.А. [33], Ковтун В.Я. [34] исследовали влияние скорости подвигания, глубины разработки, длины очистной забой и других факторов на работу очистного забоя в данных условиях.

Рассмотрим несколько работ более подробно. В статье [25] Коровкин Ю.А. и Микляев Е.И. обосновывают три критерия, определяющих труднообрушаемую кровлю:

1. Критерий наличия резких осадок кровли:

$$\frac{h}{m} \leq \frac{H-m}{m(1-k_p)}, \quad (2)$$

2. Критерий, определяющий шаг обрушения:

$$L_{np} = 2,44 \sqrt{\frac{\sigma H}{\gamma_{ок}}}, \quad (3)$$

3. Критерий, определяющий прочность основной кровли: $\sigma_{сж} = 700$ кг/см², и ее мощность не менее двух мощностей пласта.

По расчетам [19, 22] рабочее сопротивление механизированной крепи для пластов мощностью 0,7÷4,3 м должно составлять, соответственно, 55÷135 и 220÷530 т/м².

Как уже отмечалось, проектирование современных механизированных крепей (КМТ, КМ-130, КМ-138, КМ-147, КМ-144Б, КМ-174 и др.) имеет тенденцию к увеличению рабочего сопротивления до 1000 кН/м² и более. Однако характер проявлений горного давления в очистных забоях меняется мало [35]. Это связано, в первую очередь, с характером распределения несущей способности под консолью основной кровли, т.е. отказа от принципа «крепление на шаг посадки».

Применение этого принципа связано с увеличением ширины поддерживаемого выработанного пространства, а, следовательно, с возрастанием металлоемкости крепи, т.к. на труднообрушаемых кровлях длина консолей основной кровли составляет 8÷15 м и более.

В рамках существующих техники и технологии этот вопрос ставить, видимо, не целесообразно.

Возможность реализации этого принципа рассматривается в работе д.т.н. Ялевского В.Д. [4]. Им предлагается производить поддержание кровли очистного забоя не менее чем на ширину зоны опорного давления комплектом передвижных опор.

Так, при ширине поддерживаемого пространства 7 м и длине консоли основной кровли 18 м (рис. 1) производится расстановка двойных рядов опор производится через 2 м. При этом расчетная несущая способность крепи составляет 700 кН/м², а посадочных стоек 1900 кН/м². Выемку угля предлагается вести проходческим комбайном с шириной захвата 2 м. Высокая безопасность в данном способе не может быть достигнута вследствие постепенной, последовательной подработки блока консоли пород основной кровли на его шаге посадки, во все ухудшающихся геомеханических условиях.

По мере приближения ширины зоны подработки блока консоли к шагу его посадки, увеличиваются параметры зоны опорного давления, которое вызывает возрастание смещений пород кровли, а, следовательно, отжим угля и вывалы породы в призабойной части, т.е. возрастает опасность травматизма.



Способы активного воздействия на массив и исследования влияния передового торпедирования основной кровли

В 70-е годы прошлого столетия в СССР получили широкое распространение активные способы управления горным давлением в очистных забоях. Это было связано с увеличением глубин разработки и возрастающей долей пластов с труднообрушающимися кровлями, находящимися в разработке, и теми известными негативными проявлениями горного давления, снижающими эффективность добычи.

Наиболее распространенным способом активного воздействия на состояние массива является передовое торпедирование кровли выемочного столба длинными скважинами из оконтуривающих выработок.

Передовое торпедирование наиболее детально изучено в Карагандинском бассейне учеными ПНИУИ [36-38].

Анализ результатов торпедирования проводился на фактическом материале, полученном с помощью скважинной телевизионной установки СТУ-1.

Авторами [39] рассматриваются особенности проявлений горного давления, связанные со схемами расположения зарядов и их параметрами. Установлено [40], что зона трещиноватости вокруг скважины достигает 1 метра.

Исследования на эквивалентных материалах позволили авторам [41] получить зависимость для определения оптимального шага торпедирования кровли:

$$l_t = \left(\frac{H+h}{6,76n} \right) \left(\frac{\sigma_p}{\gamma H} \right)^2, \quad (4)$$

где l_t – шаг торпедирования, м; H – глубина разработки, м; h – мощность крепких пород, м; γH – вертикальная составляющая горного давления, т/м²; n – коэффициент запаса.

Формула рекомендуется до глубин 600 м и $\sigma_p = 60 \div 100$ кгс/м².

В работе Ибраева К.С. [37] приводятся корреляционные зависимости по натурным наблюдениям: между величиной смещения кровли и длиной, углом наклона скважин, сопротивлением крепи.

Другим, наиболее распространенным, способом изменения состояния массива является гидрообработка пород тяжелых кровель. Детальные исследования этого способа произведены для условий Печорского бассейна [42-44].

Так, например, в работе [44], на основе экспериментального материала, показана эффективность данного способа, приводятся параметры применения и его технико-экономическая оценка.

Опыт применения гидрообработки массива пород имеется и в других бассейнах страны [45, 46 и др.] В частности, в работе [46] приведены рекомендации по применению данного способа в условиях Буланашского месторождения.

Другие способы управления состоянием массива

В ряде исследований [46-48 и др.] отмечаются положительные результаты некоторых других способов управления ТО кровлей.

Так, на Буланашском месторождении применяется ограждение рабочего пространства лавы тумбами ОКУ и породными полосами [46].

В Карагандинском бассейне на шахтах «Актаская», «Саранская» при применении пневмозакладки опускание кровли в лаве снизилось в 2÷2,5 раза, динамических осадок кровли не отмечалось. На шахтах Донбасса при применении управления кровлей тумбами ОКУ с высокой плотностью возведения происходили завалы лав, заколы и т.д.

В работе Левина А.В., Акимочкина П.В. [47] рассматриваются условия эффективного применения закладки и соответствия параметров закладочного массива конкретным горно-геологическим условиям.

Монография Болгожина Ш.А. и др. [49] посвящена подробному изучению возможности применения искусственных опор (из различных местных материалов) при ТО кровлей в Карагандинском бассейне. Приведен анализ применяемых способов управления ТО кровлей, исследованы физико-механические свойства предлагаемых компонентов твердеющей закладки,



разработаны составы закладочного массива, изучен механизм взаимодействия искусственных опор с основной кровлей, проведены промышленные испытания и получен положительный результат.

В Кузбассе передовое торпедирование широко применялось на шахтах Распадская и Полысаевская, и однозначного мнения о его эффективности у производственников не сложилось, учитывая значительную затратность всего комплекса работ по разупрочнению ТО кровель.

По предложению профессора д.т.н. Ковачевича П.М. решение задачи по исследованию влияния передового торпедирования на работу очистного забоя было проведено на базе статистического материала, собранного на шахте «Полысаевская» ПО «Ленинскуголь» в лавах с передовым торпедированием и без него [50]. Выборка выемочных участков производилась по пласту Байкаимскому непосредственно на шахте.

Сравнительную оценку решено было произвести по трем показателям, характеризующим результаты работы очистных забоев:

1. Для укрупненной оценки производительности лавы на исследуемый фактор, было принято месячное подвигание линии очистного забоя, которое снималось с планов горных работ пласта Байкаимского в маркшейдерском отделе шахты.

2. Негативное влияние характера разрушения ТО кровли на работу механизированной крепи оценивалось через простои очистного забоя, связанные с этими явлениями. Основными являются: просадка гидростоек «насухо», значительное уменьшение размеров выработанного пространства, деформация элементов крепи, вывалы, отжимы угля и т.д. Материал по данному вопросу выбирался из рабочих документов шахтного диспетчера, находящихся в архиве. Ежемесячная информация по простоям, связанным со спецификой разработки пласта в условиях ТО кровель, суммировалась и заносилась в таблицы как суточные простои.

3. Известно, что конечной целью разупрочнения является обеспечение безопасного ведения горных работ, поэтому мы сочли необходимым дать оценку сравниваемых вариантов по фактору травматизма.

Для надежной оценки обстоятельства – существенно ли влияние фактора «Торпедирование» – по выбранным показателям применена однофакторная схема дисперсионного анализа.

Статистические выборки проверены на соответствие закону нормального распределения по критерию согласия К. Пирсона, а затем произведена проверка независимости одного признака от другого по критерию Фишера, которая показала, что с большей вероятностью можно считать влияние фактора «торпедирование» существенным.

Оценка влияния передового торпедирования на производительность очистного забоя

Наиболее значимыми по достоверности являются выемочные участки лав 103, 106 пласта Байкаимского, которые обрабатывались в идентичных ГГУ как с торпедированием, так и без него.

На графике (рис. 2) отчетливо просматривается снижение месячного подвигания линии очистного фронта лавы 103 при применении передового торпедирования.

На графике (рис. 3) представлено подвигание линии очистного забоя лавы 106 за равные отрезки времени: со 2 по 9 месяцы года, предшествующего отчетному – без торпедирования и с октября предыдущего по июнь текущего года – с торпедированием. Здесь также происходит снижение подвигания лавы. Аналогичная картина наблюдается и в двух других случаях: при сравнении месячных подвиганий лавы 107 (с торп.) и лавы 115 (без торп.) (выемочные участки расположены в адекватных ГГУ).

На рис. 4 приведены месячные подвигания лавы 119 пласта Байкаимского шахты Полысаевская (с торпедированием) и смежной с ней (противоположное крыло этого же уклона) лавы 908, обрабатываемой шахтой Октябрьской (без торпедирования).

Таким образом, можно сделать вывод, что применение метода передового торпедирования на пласте Байкаимском шахты Полысаевская не улучшает технико-экономические показатели работы, более того, просматривается тенденция к снижению скоростей подвигания очистных забоев.



Естественным возражением, на возможность приведенного сравнения, может быть то, что торпедирование ведется (или должно вестись) выборочно, в местах выхода песчаников к пласту угля, т.е. различные горно-геологические условия в сравниваемых участках.

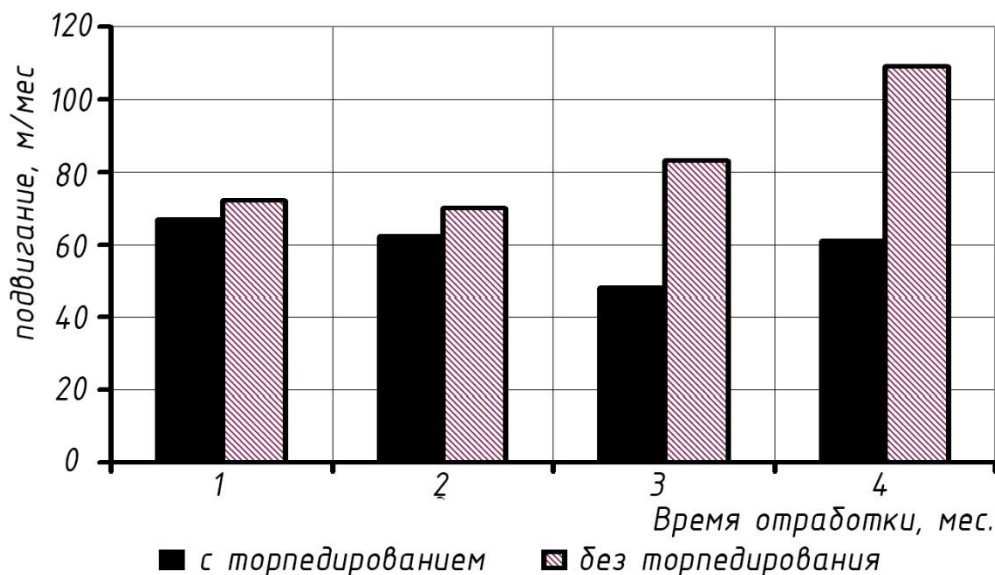


Рис. 2. Месячное подвигание лавы 103
Fig. 2. Monthly advance of the face 103

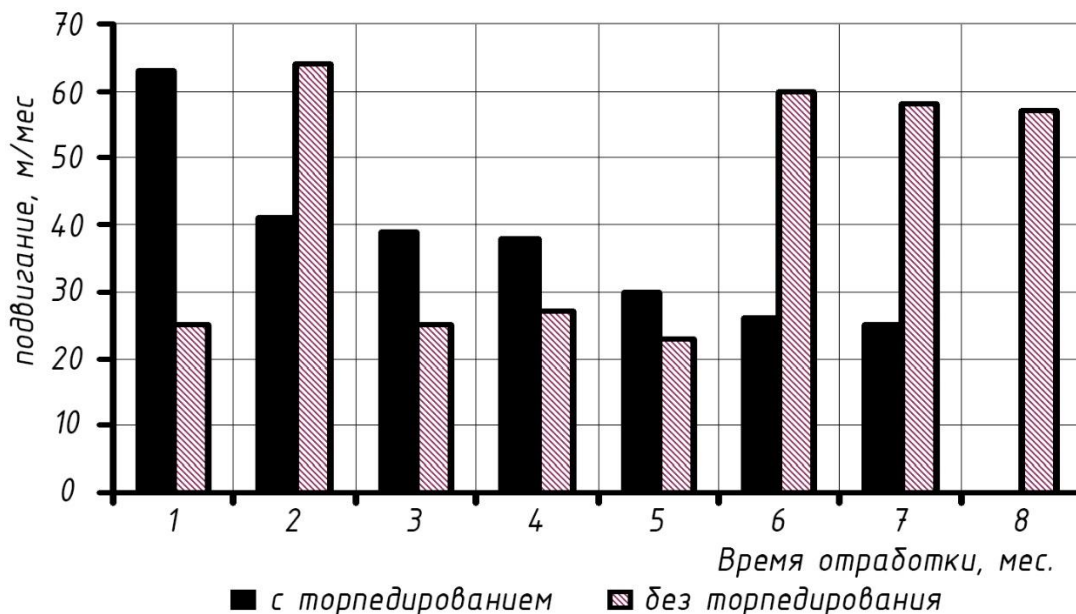


Рис. 3. Подвигание линии очистного забоя лавы 106
Fig. 3. Advancing the line of the longwall face 106

Однако правомерность подобных сравнений несомненна. Передовое торпедирование, как метод управления горным давлением, основной целью которого является уменьшение опасности ведения горных работ, не должен ухудшать (по меньшей мере) технико-экономические показатели.

Подтверждением правомерности данного сравнения является анализ причин простоев лав и травматизма в сравниваемых вариантах, приведенный в последующих параграфах данной главы, и выявивший причинно-следственные связи исследуемых факторов.

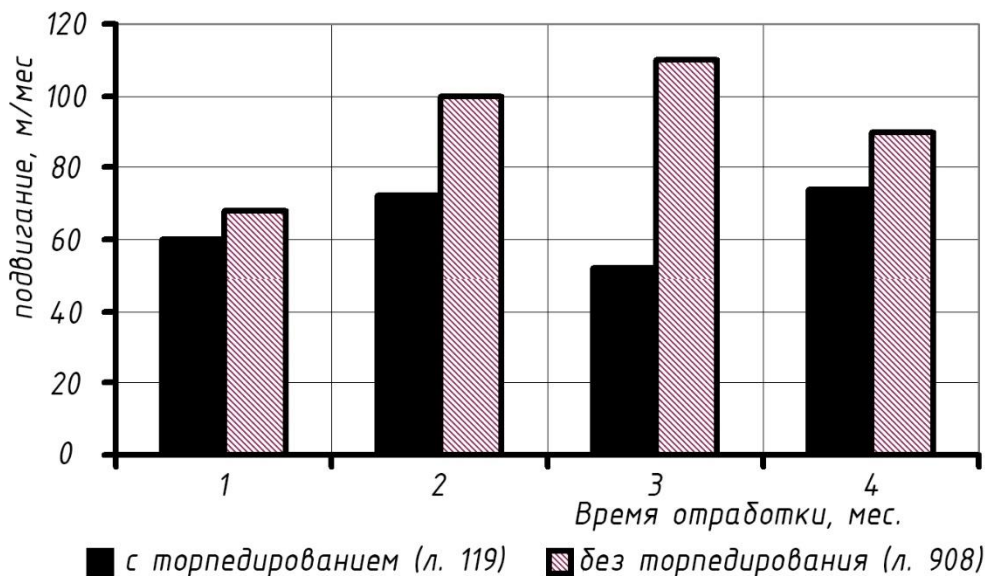


Рис. 4. Гистограмма месячного подвигания лавы 119 пласта Байкаимского шахты Полысаевская и лавы 908 шахты Октябрьской

Fig. 4. Histogram of the monthly advance of the longwall face 119 of the Baikaimsky seam of the Polysaevsky mine and the longwall face 908 of the Oktyabrskoy mine

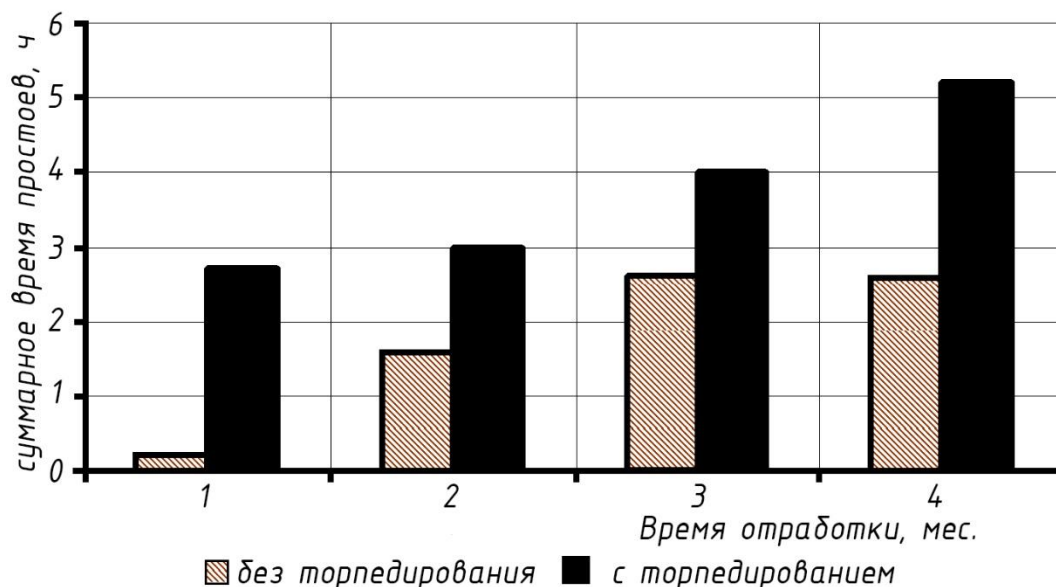


Рис. 5. Простои лавы 103
Fig. 5. Downtime of longwall 103

Исследование влияния передового торпедирования на простои в очистном забое

С целью анализа выводов, сделанных ранее, было намечено провести сравнение простоев в тех же очистных забоях и их причин, связанных с проявлениями горного давления, при проведении передового торпедирования ТО кровли и без него.

График времени простоев лавы 103 представлен на рис. 5. Из графика видно, что суммарное время простоев очистного забоя на участке с торпедированием в два раза выше.

Анализ причин простоев (см. табл. 2) показывает, что в сравниваемых вариантах основной причиной является просадка гидростоек механизированной крепи «насухо», причем на участке



с торпедированием кровли в 4 раза больше. Значимость этой причины в суммарном времени простоев составляет 96% с торпедированием и 47% без него.

Размеры блоков основной кровли (по падению) – о них можно судить по количеству секций, одновременно просевших «насухо» – изменяются от 10 до 20 м в обоих случаях.

Эти данные подтверждают сделанные выше выводы. Суммарные простои лав, в которых проведено разупрочнение кровли, в 2÷5 раз выше, чем без него. На второй план здесь выходит фактор «вывалы породы из кровли», причем при торпедировании значимость этого фактора составляет от 15% до 38%, а без него всего 1%.

Таблица 2. Простои очистных забоев, связанные с проявлениями горного давления (в часах)
Table 2. Downtime of the longwall faces associated with the manifestations of rock pressure (in hours)

Причины отказов	Без торпедирования		С торпедированием			
	л.115	л.103	л.119	л.107	л.106	л.103
Крепь «насухо»	34	11,7	73,2	134	80	50
Уменьшение сечения	29	–	40,3	42,5	36,3	–
Деформации крепи	–	1,2	–	–	–	–
Замена элементов крепи	3	–	8,2	54	9	–
Заколы кровли	–	5	5	–	–	–
Вывалы породы	10	5	82	174,2	25,5	2
Правка секций	–	–	54,75	34,3	–	–
Зажато ограждение	–	1,2	–	–	–	–
Отжим угля	–	–	–	5	–	–
Вывалы после торпедирования	–	–	5	–	–	–

Резкое возрастание влияния этого фактора при торпедировании объясняется известным в теории взрыва физическим явлением – образованием «воронок скола» на контакте сред разной плотности.

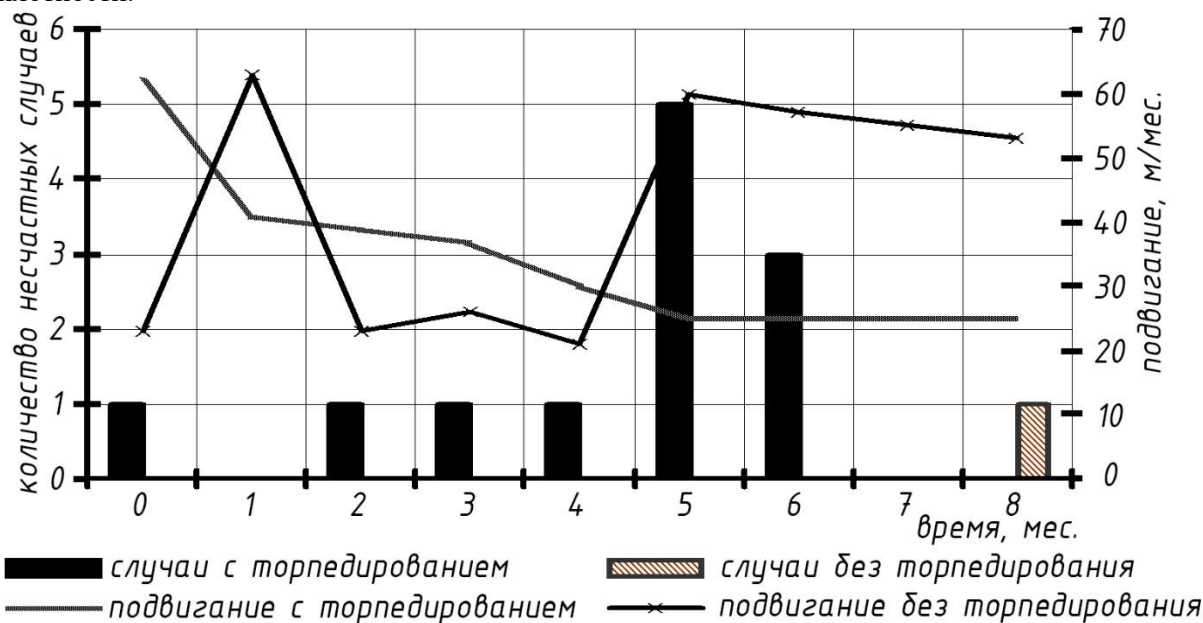


Рис. 6. Ежемесячное подвигание и несчастные случаи в лавах: 107 (с торпедированием) и 115 (без торпедирования)

Fig. 6. Monthly advance and accidents at the faces: 107 (with torpeding) and 115 (without torpeding)

Размер блоков, на которые разрушается ТО кровли, колеблется в обоих случаях от 10 до 50 м, причем как при применении дезинтеграции, так и без неё, а основное число проявлений горного давления зафиксировано в верхней половине очистных забоев.

Фактор безопасности при разработке пластов с труднообрушаемыми кровлями с торпедированием и без него

Анализ приведенных выше исследований вызвал необходимость сбора статистических данных по фактору безопасности ведения горных работ в сравниваемых вариантах, с этой целью были проанализированы несчастные случаи, произошедшие на тех же выемочных участках пласта Байкаимского. На рис. 6 приведены эти результаты. Из предложенного фактического материала совершенно очевидно, что на участках лав с передовым торпедированием возрастает опасность ведения горных работ, причем с ухудшением состояния кровли призабойного пространства лавы снижается производительность очистного забоя, увеличиваются его простои и количество несчастных случаев.

Следует обратить внимание на широкий спектр причин несчастных случаев, произошедших в тех очистных забоях, в которых произведено разупрочнение кровли и корреляцию их с причинами простоев. Если в лавах без торпедирования кровли за анализируемый период, единственной причиной травм был отжим угля, то при применении его появятся: вывалы из кровли, внезапные её обрушения и т.д.

Система разработки «длинные полосы с короткими забоями»

Целью предлагаемого технического решения является сокращение объема проведения подготовительных выработок в выемочном поле, снижение себестоимости добычи угля, а также повышение безопасности работ путем выбора параметров выемочного поля и очистного забоя, исходя из геомеханических, геотехнических и технологических условий.

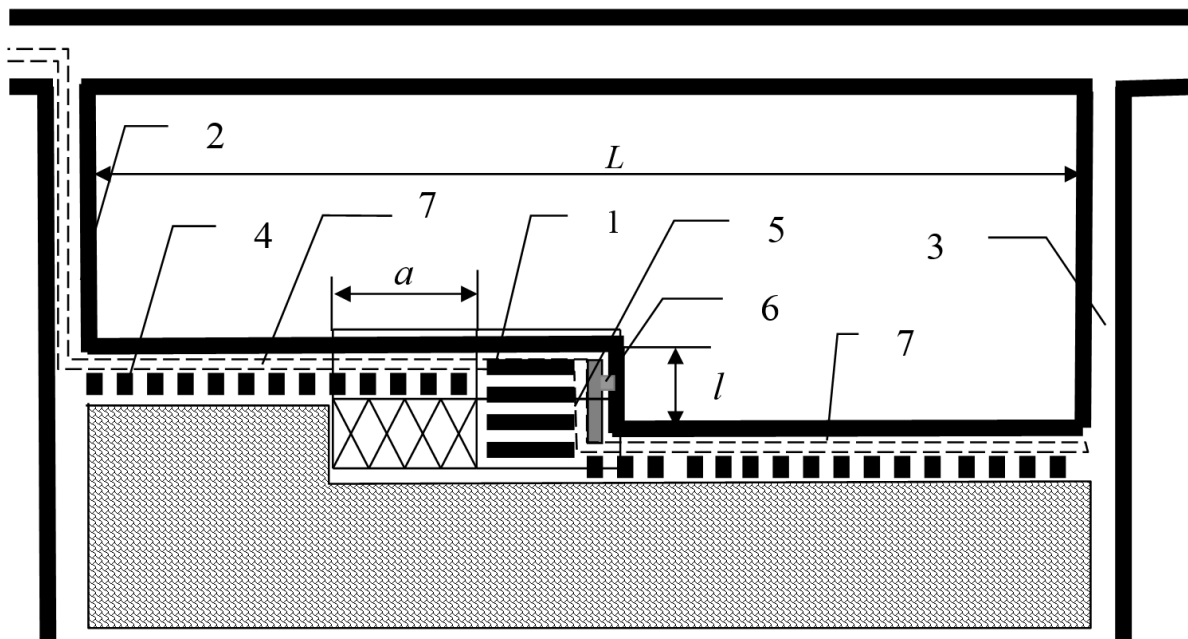


Рис. 7. Столбовая система разработки длинными полосами с короткими забоями
Fig. 7. Board-and-pillar mining system by long strips with shortwalls

Выемку угля в очистном забое (рис. 7) ведут между параллельными выработками 2, 3, оконтуривающими выемочное поле, длинными полосами с выемкой короткими забоями, длину которых перед оконтуриванием определяют по формуле:

$$L \leq \frac{[U] \cdot V_{0.3}}{V_{кр}}, \quad (5)$$



где L – длина полосы, м; $[U]$ – допустимая податливость мехкрепи по условиям эксплуатации, мм; $V_{о.з.}$ – скорость подвигания очистного забоя, м/сут; $V_{кр}$ – скорость опускания кровли, мм/сут.

Ширину узкой полосы l (длину очистного забоя) принимают равной шагу посадки основной кровли a плюс ширина рабочего пространства плюс длина крепи 4, при этом очистной забой перемещают параллельно оконтуривающим выработкам 2, 3. Подрабатываемый блок основной кровли 5 поддерживает ряд искусственных целиков 1 (механизированный целик), устанавливаемых вразбежку по ширине узкой полосы l , причем длину каждого целика 1 и шаг его передвижки берут также равными шагу посадки основной кровли a . Крепь 4 представляет собой укороченный вариант искусственного целика 1.

Физический смысл определения длины узкой полосы (т. е. расстояние между параллельными оконтуривающими выработками равно длине панели) заключен в условии равенства времени выемки узкой полосы и времени, за которое кровля очистного забоя смещается на величину допустимой податливости мехкрепи (техническая характеристика).

Геомеханические параметры: шаг посадки основной кровли, величину опускания и скорость опускания кровли определяют с помощью известных методов исследования. Технологический параметр – скорость подвигания очистного забоя, принимают исходя из необходимого уровня добычи угля и характеристик оборудования.

Таким образом, в данном решении, подрабатываемый очистным забоем, блок консоли основной кровли удерживается в массиве по двум его сторонам.

Выемку угля в очистном забое производят выемочным агрегатом 6, например, АК-3М. Передвижку искусственных целиков 1 осуществляют сразу на шаг посадки основной кровли специализированным автономным агрегатом, который перемещается по длине узкой полосы по мере необходимости. Величину отставания передвижки целиков от очистного забоя связывают с устойчивостью непосредственной кровли, размерами блоков основной кровли, а также с условиями посадки основной кровли. Транспортирование угля производят по «мертвым» пластиковым рештакам 7 (см. ниже).

Уменьшение на порядок длины очистного забоя открывает возможность автоматизировать процесс отбойки. Взаимосвязь шага посадки основной кровли с длиной очистного забоя и шагом передвижки, а также соразмерность несущей способности механизированного целика с весом блока консоли основной кровли, позволит устранить опасные проявления горного давления в зоне максимального скопления людей – в очистном забое и вынести зону обрушения пород в безопасное место. Т.е. посадка кровли в данном варианте может осуществляться в необходимом месте и в заданное время – процесс становится управляемым и контролируемым во времени и пространстве, а, следовательно, безопасным.

Сочетание и взаимосвязь параметров, приемов и операций в данном техническом решении позволяют получить новый технический эффект – в выемочном поле отпадает необходимость деления его на выемочные столбы.

Приведенная последовательность приемов и операций, а также адаптивная взаимосвязь параметров элементной базы системы разработки и геомеханики позволяют получить новые технологические и социально-экономические результаты.

Предлагаемое техническое решение обеспечивает *повышение безопасности* ведения горных работ по сравнению с известным способом:

- за счет значительного уменьшения длины очистной забой, формирования новой дополнительной линии опоры блока консоли основной кровли на вмещающий массив, что одновременно с повышением скорости подвигания очистной забой с 5–15 м/сут до 100 м/сут и более, уменьшает смещения и разрушение пород кровли в зоне максимального присутствия людей, а также обеспечивает надежное удержание блока по двум другим его сторонам с помощью механизированного целика;
- зона обрушения пород кровли выносится за пределы зоны максимального присутствия людей, причем этот параметр становится регулируемым во времени и пространстве;



– устраняет явление «топтения» кровли, т.к. передвижка производится сразу на шаг посадки основной кровли, причем время между передвижками крепи 4 увеличивается до 10 суток, т.е. передвижка производится в 15÷18 раз реже, чем в известном способе.

Предлагаемое техническое решение обеспечивает следующие *технологические преимущества*:

- позволяет применить новую добычную технику с высокой производительностью, за счет снятия ограничений на размеры;
- позволяет предельно упростить конструкцию крепей, например, убираются центральные маслопроводы, часть гидравлики – передвижка секций осуществляется автономным агрегатом;
- применить новый способ транспортирования угля из очистного забоя, например, появляется возможность применить самоходные вагонетки;
- разобщить во времени и пространстве процессы добычи угля, крепления и посадки кровли;
- устранить негативное влияние высоких скоростей подвигания очистной забой на увеличение шага обрушения основной кровли;
- упростить технологию перехода очистной забой нарушенных участков пласта, за счет резкого уменьшения длины очистной забой.

Предлагаемое техническое решение обеспечивает *экономические преимущества*:

- резкое снижение затрат на проведение подготовительных выработок, за счет сокращения объема проведения подготовительных выработок;
- сокращение потерь угля в выемочном поле;
- повышение рентабельности шахты в целом.

Реализация данной технической идеи – крепление выработанного пространства на шаг посадки основной кровли определяется возможностью разработки конструкции механизированного целика.

Обоснование схемы размещения и геометрических параметров крепи

Классической схемой размещения секций механизированной крепи в очистном забое под нависающей консолью кровли является сплошной ряд секций, параллельный линии очистного забоя.

Рассматривая данный вопрос в хронологическом ракурсе развития техники и технологии разработки пологих пластов средней мощности, можно видеть в новом техническом предложении преемственность положительных свойств предыдущих технических уровней.

Использование апробированных практикой технологических приемов, операций, параметров обеспечивает высокий рейтинг жизнеспособности для данного решения.

Рассмотрим технологические приемы, введенные в новый вариант из технологии крепления очистного забоя индивидуальной крепью, но утерянные на последующих этапах развития, в частности, при узкозахватной выемке с мехкрепями.

Во-первых, переход на удержание консоли пород основной кровли на шаге посадки – этот прием не нов, и в технологии работы очистного забоя с инвентарной крепью это условие является основным при управлении кровли полным обрушением.

Следовательно, это позволяет нам определиться с одним геометрическим параметром механизированного целика – его длиной, она равна или близка к шагу посадки пород основной кровли.

Во-вторых, другой важной особенностью технологии работ в очистном забое с индивидуальной крепью является то, что стойка крепи, устанавливаемая под кровлю, не перемещается и не убирается до подработки консоли пород основной кровли на шаг посадки, после чего крепь переносят, и происходит посадка кровли. Таким образом, в процессе подработки консоль пород кровли на шаге посадки имела весьма ограниченную свободу перемещения и минимальное техногенное воздействие. Этот же, испытанный многолетней практикой, принцип заложен в системе разработки «длинными полосами с короткими



забоями», т.е. механизированный целик (МЦ) поддерживает консоль основной кровли на шаге посадки, а затем передвигается сразу на это же расстояние.

Здесь следует важное отличие в схеме управления обрушением пород кровли системы разработки «длинными полосами с короткими забоями» от «длинных столбов» с индивидуальной крепью и с мехкрепями. При работе с индивидуальной крепью кровля «садится» в несколько приемов, а чаще сразу по всей длине очистного забоя и поэтому одновременное обрушение больших масс пород кровли приводило не редко к авариям.

Не лучше сложилась ситуация и в современной технологии при выемке механизированными комплексом с захватом 0,6÷0,8 м: полоса массива пород кровли длиной 150÷250 м и мощностью 10÷40 м последовательно подрабатывается до критической длины консоли кровли, т.е. непрерывно находится в циклическом смещении масса в сотни тысяч тонн.

В-третьих, рассматривая паспорта креплений очистных забоев с индивидуальной крепью, можно отметить еще одну особенность – установка стоек крепи в лаве через 0,8÷1,5 м. Т.е. индивидуальная крепь устанавливается в выработанном пространстве на каком-то расстоянии друг от друга.

Этот прием применен в предлагаемом техническом решении в схеме расстановки механизированных целиков по длине узкой полосы – как минимум два механизированных целика по длине блока основной кровли.

Отметим, что при применении мехкрепей контакт перекрытия крепи с кровлей пласта – точечный, (отсутствует площадной контакт) причина – неровности кровли, вывалы, т.е. усилие подпора кровли также осуществляется «вразбежку». Известно также, что в лаве всегда найдется 15÷20 секций, не выполняющих основную функцию по разным причинам: вывалы кровли, не герметичность гидравлики и др., т.е. играющих роль ограждения, что принципиально не влияет на весь технологический цикл.

Таким образом, принцип расстановки крепи в лаве «вразбежку» также испытан в практике и закономерно применен вновь.

Другое отличие: в данном решении, подрабатываемый очистным забоем, блок консоли основной кровли удерживается в массиве по двум его сторонам, тогда как в сравниваемом варианте он закреплен в массиве только по одной стороне.

Подтверждением положительных свойств этого приёма является известный в практике факт – лучшее состояние нижнего сопряжения лавы (нисходящий порядок отработки выемочных столбов).

В предложенном техническом решении посадка управляема, и производится поблочно. Например, блок пород основной кровли имеет размеры по простиранию 4÷6 м, по падению 8÷10 м, отработка выемочного поля «длинными полосами с короткими забоями» производится по восстанию.

В этом случае, расстановка МЦ по длине будет производиться по минимальному размеру блока по простиранию – 4 м, т.е. на этой длине необходимо разместить два механизированных целика. С учетом ширины МЦ, которая равна 1 м, расстояние между смежными МЦ составит 1,5÷2 м (общее количество механизированных целиков на длине узкой полосы 1000 м составит около 334 шт.). При скорости перемещения очистного забоя 100 м/сут (при трех сменном режиме работы) часовая скорость будет равна 4÷5 м. Следовательно, блок основной кровли будет подработан где-то в течение одного часа. После чего производится передвижка МЦ, удерживающих блок и затем следует его посадка и так далее.

Таким образом, здесь производится последовательная, поблочная посадка основной кровли в необходимое время и в нужном месте.

В-четвертых. Еще одной особенностью крепления очистного забоя индивидуальной крепью является установка стоек с предварительным подпором. Важность этой операции и её влияние на состояние пород кровли очистного забоя исследовалось и отмечалось в ряде работ.

В данном техническом решении предусматривается безразгрузочное перемещение механизированных целиков т.е. с предварительным подпором кровли.

Пятой отличительной (от современной технологии) чертой, является отсутствие функциональных связей: кинематических и гидравлических между механизированными



целиками; между механизированным целиком и конвейером, что значительно повышает надежность технологической системы в целом.

Рассмотрим негативные стороны взаимодействия современной системы крепления очистного забоя «мехкрепь – кровля», которые устраняются в предложенном техническом решении.

Первое, это известное явление «топтанья» кровли при передвижке секций крепи по мере подработке консоли. Результатом этого являются разрушение непосредственной кровли пласта, травматизм, ухудшение качества угля.

Второе. Исследованиями установлено, что во время выемочного цикла до 80 % смещений кровли приходится на операцию передвижки смежных секций крепи и процесс отбойки угля комбайном

Третье. Контактное взаимодействие с кровлей – неравномерное, особенно у двустоечных крепей: идет перекосяк перекрытия и часть кровли вообще не поддерживается.

Кроме того, рассматривая очистной забой и выработанное пространство за ним, которое поддерживается по контуру с двух сторон массивом угля, а с двух других – МЦ, можно увидеть, что здесь использована идеология камерной системы разработки (т.е. применен элемент камерной системы разработки). Таким образом, этот технологический узел также апробирован практикой ведения горных работ, следовательно, надежность работы этого узла не вызывает сомнения.

Обоснование несущей способности механизированного целика

При разработке угольных пластов известно явление разрушения пласта угля в очистном забое и прилегающих к нему выработках под воздействием горного давления. Причем установлено, что ширина зоны разрушенного угля связана с размерами нависающих консолей основной кровли и, следовательно, в работающем очистном забое является величиной переменной, имеющей максимальный размер при наибольшей величине консоли.

Очевидно, что ширина зоны разрушенного угля является интеграционным показателем величины горного давления, отражающим особенности залегания пласта и пород, физические свойства, а также сдвигание и разрушение пород. Ни один расчетный метод, созданный на сегодняшний день, не в состоянии учесть весь этот комплекс влияющих факторов. Следовательно, по ширине зоны разрушенного угля можно определять величину несущей способности крепи, необходимой для безопасного и эффективного ведения очистных работ.

Конечно, этот способ может служить для ориентировочного суждения о величине необходимой несущей способности мехкрепей, т.к. не учитывает переменную несущую способность разрушенной кромки пласта (упругую часть несущей способности пласта).

Однако хотелось бы отметить следующие положительные особенности данного метода:

– метод носит интегральный характер, т.е. учитывает все конкретные горно-геологические, горнотехнические факторы, а также физико-механические свойства вмещающих пород и пласта;

– метод прост для применения на производстве.

По данным исследований [51] ширина зоны разрушенного угля впереди очистного забоя колеблется от 1,5 м до 5 м и более, а $\sigma_{сж}$ достигает 15 МПа, исходя из этого, при среднем значении ширины зоны разрушенного угля 2,5 м, несущая способность крепи на 1 метре лавы должна быть не менее 37500 кН.

Для сравнительной оценки данного метода был произведен расчет несущей способности мехкрепей в условиях залегания в основной кровле труднообрушающихся пород по методике ИГД им. А.А. Сковинского [52], при следующих исходных данных:

$m = 3$ м – мощность пласта;

$h_n = 3$ м – мощность слоя непосредственной кровли;

$h_0 = 20$ м – мощность слоя основной кровли;

$f = 0,4 \div 0,8$ – коэффициент трения «порода – порода»;

$l = 0 \div 10$ м – длина консоли непосредственной кровли;

$L = 10 \div 30$ м – длина блока основной кровли;

$\alpha = 80^\circ$ – угол наклона основной системы трещин кровли;



$\lambda = 1,3$ – коэффициент разрыхления непосредственной кровли;
 $b_1 = 1,5$ м – расстояние от забойного конца перекрытия до первого ряда крепи;
 $b = 9$ м – длина перекрытия;
 $r = 6$ – число рядов крепи;
 $\gamma = 2,6$ г/см³ – средняя плотность пород кровли,

который показал, что сопротивление крепи изменяется от 8000 Кн до 20000 Кн на одном метре длины лавы (при ширине поддерживаемого пространства 9 м). При этом вес консоли основной кровли на одном метре составляет около 1500 т.

По расчетам, приведенным в работе [52], несущая способность крепи на 1 метре лавы равна 18200 кН, при ширине поддерживаемого пространства 7 м и длине консоли основной кровли 18 м.

Конструкция механизированного целика

Реализация главной концепции данной технической идеи – крепление выработанного пространства на шаг посадки основной кровли и разобщения во времени и пространстве основных элементов технологического процесса (крепление, отбойка угля), определяется возможностью разработки конструкции механизированного целика.

Известна попытка реализации идеи «механизированного целика», на основе индивидуальной крепи [4], однако многоэлементность, значительные временные и трудовые затраты на передвижку этого МЦ, мало чем отличают ее от технологии крепления индивидуальной крепью.

Разработка конструкции МЦ на основе традиционных решений типа «механизированный комплекс» со сложными системами гидравлической и кинематической взаимосвязи, развивающимися по пути увеличения несущей способности, автоматизации, – бесперспективна, т.к. эта идея технически и физически исчерпана (см. выше).

На основе патентного и аналитического поиска, геомеханических исследований был принят следующий путь.

Для формирования кинематического, геометрического и силового облика МЦ, исходя из вышеизложенного, сформулируем основные требования к конструкции:

- простота и высокая надежность, т.е. отказ от традиционного применения в конструкции сложных кинематических механизмов (значительная раздвижность, ограждение от обрушенных пород, индивидуальный механизм передвижки);
- кинематическая автономность функционирования от смежных механизированных целиков и машин основных технологических процессов (отбойка и транспортирование угля);
- длина равна шагу посадки;
- несущая способность не менее веса блока консоли основной кровли

Определяющей задачей в свете данных требований является поиск технической возможности реализации величин несущей способности, заданной в предыдущем параграфе.

В принципе есть два пути повышения несущей способности крепи:

- увеличение давления в гидросистеме;
- значительное увеличение площади контакта рабочей среды с поршнем.

Первый – дорогостоящий, вызывающий неадекватный результату рост затрат, связанных с развитием высокоточных технологий изготовления гидросистем крепи, как отмечают исследователи физически и технически исчерпал себя. Т.е. необходим поиск новых технических решений, открывающих путь к дальнейшему совершенствованию процессов крепления и управления кровлей.

Второй путь позволяет на порядок увеличить несущую способность крепи, при тех же величинах давления в гидросистеме.

На базе этого направления нами было решено вести поиск новых технических решений.

В результате предварительных расчетов (на конкретном примере) было получено следующее: МЦ должен иметь несущую способность около 20 000 кН на 1 погонном метре лавы.

Произведем подбор площади рабочей поверхности поршня, исходя из работы крепи при обычных величинах давлений в гидросистеме (пневмосистеме) – 1000 Па, при длине ряда 10 м

(как это заложено в примере) ширине 1 м, принимая всю эту площадь за рабочую поверхность поршня, получим несущую способность одного МЦ 100 000 кН (10000 Н/м²).

Рассмотрим возможные варианты реализации данной идеи.

Первым встаёт вопрос о величине раздвижности крепи при заданной несущей способности. Величина раздвижности в современных крепях для пластов средней мощности варьируются от 0,5 до 1 м и более, что обуславливается, в основном, экономическими требованиями – более широкая область применения по мощности пластов. Реальная же эксплуатационная потребность в раздвижности крепи ограничивается 25÷50 см.

Ясно, что в рамках традиционного подхода к проектированию крепей данный вопрос не решается. В связи с этим в основу конструкции МЦ была заложена концепция функционального разделения раздвижности на оперативную (распор и передвижка крепи) и локальную (стационарную, применяемую при изменении мощности пласта и при монтаже/демонтаже).

Один из возможных вариантов конструкции МЦ представлен на рис. 8. Конструкция МЦ базируется на двух основных принципах: верхняя и основание выполнено в виде пассивных гусеничных тележек, а площадь поршня МЦ примерно равна площади контакта с кровлей.

Основой конструкции является балка 1, являющаяся одновременно цилиндром раздвижной части (оперативная раздвижность). Балка имеет по длине ряд полостей, в которые укладываются изолирующие оболочки 2, предназначенные для подачи в них рабочего тела – эмульсии или воздуха, закрытые поршнями 3 и являющимися направляющими для верхней гусеничной цепи 4. Т.о. верхнее перекрытие адаптировано к неровностям кровли. Верхнее перекрытие 3 и основание 5 выполнено в виде бесприводных гусеничных тележек. Гусеничные траки 4 выполнены из армированного пластика и располагаются в направляющих. Нижнее основание по длине МЦ может быть разделено на несколько секций с ограниченной возможностью взаимоперемещения, что позволит МЦ длиной 8÷15 м лучше адаптироваться к неровностям почвы и кровли. Соединение секций может быть выполнено в виде шаровых шарниров.

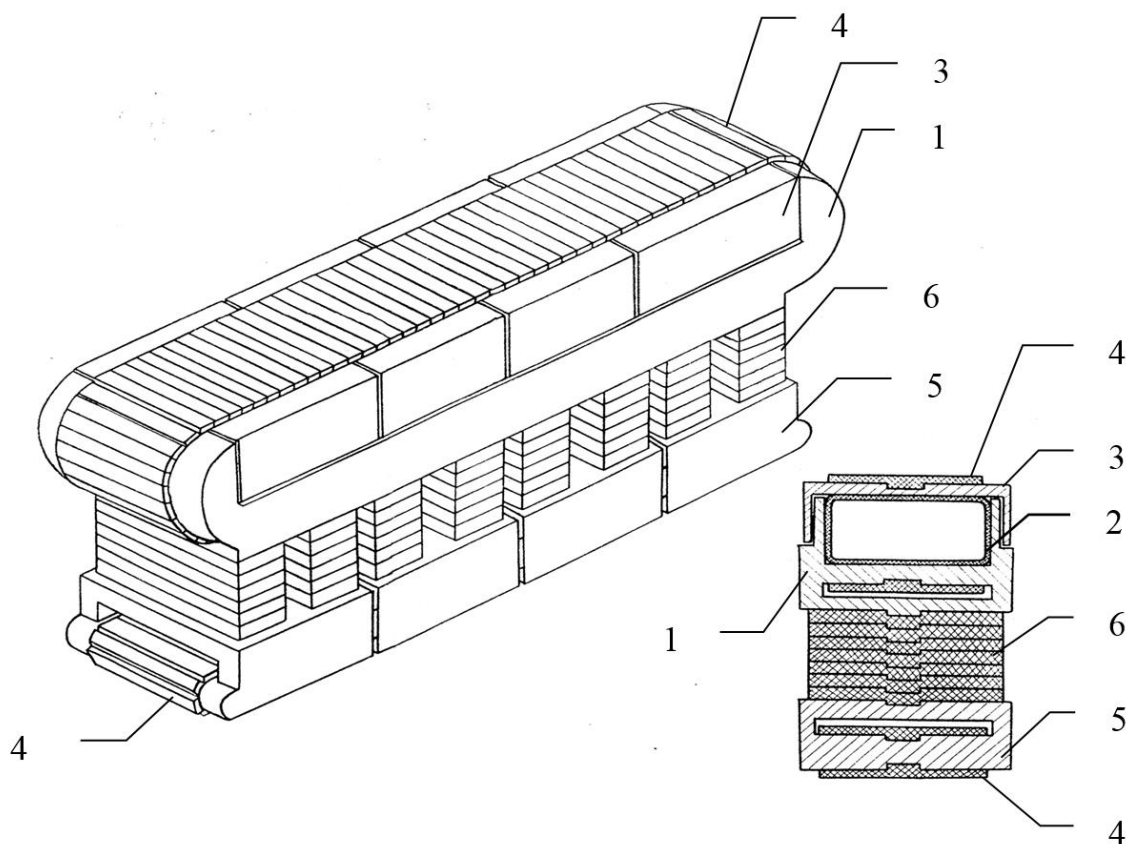


Рис. 8. Конструкция механизированного целика

Fig. 8. Design of mechanized pillar



Регулировка высоты МЦ по мощности пласта осуществляется установкой между верхней и нижней гусеничными тележками специальных блоков б (локальная раздвижность), которые могут изготавливаться также из пластмассы.

Функционирование МЦ в рабочем цикле очистного забоя происходит следующим образом. При монтаже МЦ в лаве, в соответствии с мощностью пласта, выбирается необходимое количество блоков б и производится расстановка МЦ по ширине столба в соответствии с вышеизложенными условиями. Передвижку МЦ осуществляют при помощи специального устройства передвигчика, который подключается к гидромагистрالي, снимает часть распора и перемещает крепь в новое положение.

Транспортирование угля из очистного забоя

По данным отечественной и зарубежной практики, техническое развитие вспомогательного транспорта должно базироваться на расширении применения бесперегрузочной пакетно-контейнерной доставки грузов с использованием подвесных и напочвенных дорог.

В данном направлении предложен новый способ транспортирования угля из очистного забоя, суть которого заключается в следующем.

Уголь 8 (рис. 9), поступающий с лавного конвейера 7, направляют в устройство для заполнения углем мягкой цилиндрической оболочки 2, которую скатывают в виде спирального тора 1. Развертывание оболочки производят вращением тора 1. При этом наружный конец 3 оболочки 1 пропускают через цилиндрическое кольцо 5 устройства 4, а края оболочки герметично соединяют, перекрывая кольцевое отверстие 5 устройства 4. Уголь 8 засыпают внутрь оболочки 1, которая под действием веса угля ложится на транспортное средство 6, и перемещается им. При этом удлинение оболочки 2 происходит за счет её разматывания с тора 1, который начинает вращаться вокруг кольцевой оси.

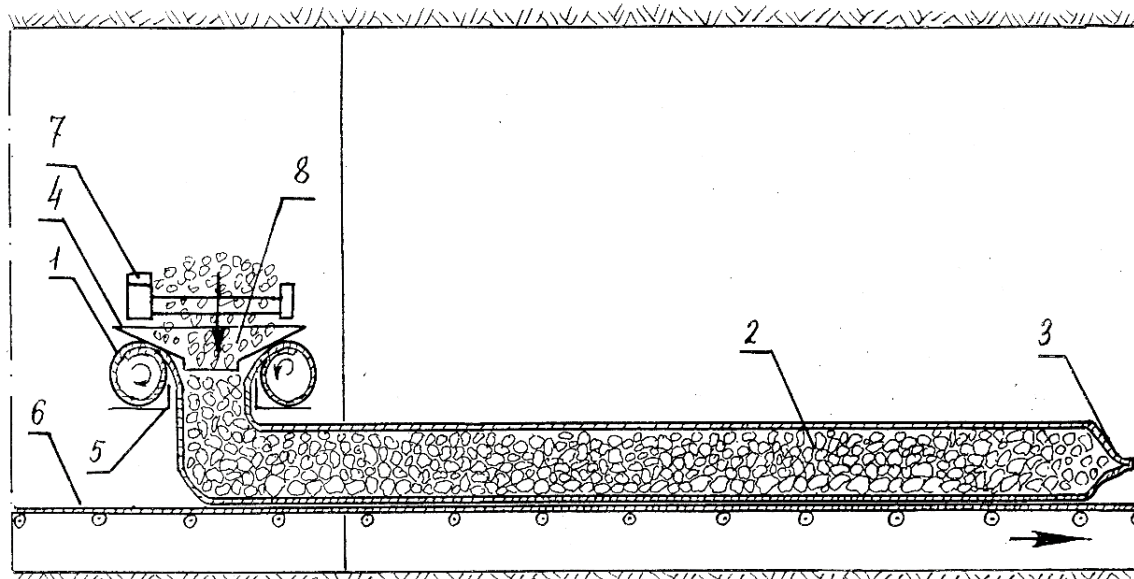


Рис. 9. Способ транспортирования угля из очистного забоя
Fig. 9. Method of coal transportation from the working face

После заполнения всей оболочки 1 её второй торец также закупоривают. Скорость транспортного средства 6 согласуют с производительностью комбайна по следующей зависимости:

$$V = 0,8 \cdot 3,14 \cdot R^2 \cdot l \cdot Y, \quad (6)$$



где V – производительность комбайна; l – длина оболочки, необходимая для размещения угля, отбитого комбайном в единицу времени; Y – объёмный вес угля; $0,8$ – коэффициент заполнения оболочки углем; R – радиус оболочки.

При этом размеры оболочки выбирают из условия:

$$0,8 \cdot 3,14 \cdot R^2 \cdot l \cdot Y \cdot L = k \cdot m \cdot b \cdot l',$$

где L – длина оболочки; k – коэффициент разрыхления угля; m – мощность пласта; b – ширина захвата комбайна; l' – длина лавы.

Т.е. объём оболочки соответствует объёму угля в одной стружке. Радиус оболочки принимают исходя из технических параметров транспортного устройства, например, ширины конвейерной ленты.

После окончания снятия стружки свободный конец оболочки герметично зажимают, а в устройство для заполнения мягкой цилиндрической оболочки устанавливают следующую оболочку.

Предложенное техническое решение имеет следующие преимущества:

– связанные с безопасностью: полностью ликвидируется опасность взрыва угольной пыли в выработках, по которым транспортируется уголь; снижение пожароопасности, связанное с уменьшением потерь угля при транспортировке (возгорание конвейерных лент);

– технико-экономические: ликвидация затрат, связанных с уменьшением сечения выработок от потерь при транспортировке угля; уменьшается износ деталей транспортного оборудования; уменьшение площадных потерь угля.

Проблема адаптации данного способа транспортирования в новый технологический цикл состоит в решении вопроса транспортирования загруженной оболочки вдоль ряда МЦ до штрекового ленточного конвейера.

Предлагается следующее решение: транспортировать загруженные оболочки по «мертвым» пластиковым решёткам, уложенным на почву вдоль ряда МЦ, с помощью бесконечного троса, направляющие которого установлены на МЦ.

Несомненно, что дальнейшее повышение интенсивности добычи угля, безопасности, снижение трудоемкости и повышение эффективности лежит на путях поиска новых подходов к этим проблемам.

Выводы

1. В последние двадцатилетие в мире не произошло принципиальных изменений в системах разработки и развитии угледобывающей техники. Шло совершенствование техники, ее автоматизация, сопровождающееся увеличением энерговооруженности и металлоемкости в 2÷2,5 раза.

2. Стремление к увеличению ширины и длины выемочного столба вызвано экономическими требованиями снижения удельных затрат на подготовительные работы и монтаж/демонтаж крепи.

3. Увеличение мощности двигателей конвейеров, выемочных комбайнов; шага подвигания крепи – ширины захвата выемочного комбайна, геометрических и силовых параметров конвейеров, крепи, комбайна – все это требует увеличения полезного сечения очистной выработки, в том числе для размещения возросших габаритов оборудования и для увеличения количества подаваемого воздуха в связи с ростом газовыделения. Эта проблема в рамках традиционной технологии добычи угля не решается.

4. С усложнением ГГУ и увеличением темпов подвигания очистных забоев существующие технологические схемы бесцеликовой отработки выемочных полей стали низкоэффективными. За прошедший период их применения не внедрены в практику прогрессивные способы охраны, крепления и поддержания выработок, расположенных на границе «массив – обрушенные породы», и средства механизации тяжелого ручного труда. Необходим поиск новых технических решений, реализующих концепцию бесцеликовой отработки выемочных полей.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



© 2023 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Игнатов Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент

e-mail: ignatovev@kuzstu.ru

Тюленев Максим Анатольевич, канд. техн. наук, доцент

e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Список литературы

1. Крашкин, И. С. Возможные пути механизации ручных работ при подземном способе добычи угля / И. С. Крашкин, Д. И. Божко // Уголь. – 1995. – № 8. – С. 31-35.
2. Крашкин, И. С. Концепция перехода к автоматизированной технологии очистных работ / И. С. Крашкин, В. И. Ивко // Уголь. – 1993. – № 11. – С. 34-36.
3. Меррит, П. Статистический учет лав / Пол Меррит, Стив Фискор. Кемерово, 1995. – 5 с. – (Препринт / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т угля).
4. Ялевский, В. Д. Геомеханическое обоснование длиннокамерной адаптивной системы разработки пологих и наклонных пластов / В. Д. Ялевский, С. М. Тищенко // Уголь. – 1992. – № 4. – С. 47-48.
5. Черняк, И. Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт / И. Л. Черняк, Ю. И. Бурчаков. – М.: Недра, 1984. – 304 с.
6. Бесцеликовая отработка пластов / Ю. Л. Худин [и др.]. - М.: Недра, 1983. – 280 с.
7. Стариков А.В. Очистным забоям – высокопроизводительное и надежное оборудование / А.В. Стариков, И.Н. Дарыкин // Уголь. – 2000. – №8. – С. 25-29.
8. Козовой Г.И. Организационно-технологическое обеспечение инновационной деятельности угледобывающего предприятия. Дис. ... докт. техн. наук / Г.И. Козовой. – СПб., 1998. – 244 с.
9. Рыжков Ю.А., Игнатов Е.В. Сравнительная оценка горно-геологических условий разработки, техники и технологии при подземном способе добычи угля в России и за рубежом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2006. – №1 (52). – С. 67-74.
10. Картавый, Н.Г. Направления повышения технико-экономических показателей выемочного оборудования при разработке пластов средней мощности / Н.Г. Картавый, В.А. Серов // Уголь. – 1992. – № 3. – С. 13-17.
11. Вайнганд, А.А. О возможности охраны выемочных выработок подвижной гидравлической бортовой крепью / А.А. Вайнганд, Б.С. Павлов // Уголь. – 1992. – №10. – С. 47-49.
12. Федоров, Н.А. К вопросу бесцеликовой подготовки выемочных полей с прямоотчным проветриванием очистных забоев / Н.А. Федоров, М.С. Вагапов, Е.В. Игнатов // Вопросы горного дела. Сб. науч. тр. Кузбас. политехн. ин-та, № 68. – Кемерово, 1974. – С. 66-70.
13. А. с. 1165790 СССР, МКИ4 Е 21 D 11/00. Способ повышения устойчивости выемочной выработки / С. С. Квон, П. Ф. Лукьянов, П. В. Егоров, А. В. Брайцев, Е. В. Игнатов (СССР). - № 3522200/22-03; заявл. 16.12.82; опубл. 07.07.85, Бюл. № 25. – 3 с. : ил.
14. Ковачевич, П.М. Способ бесцеликовой подготовки выемочных полей / П.М. Ковачевич, Н.А. Федоров, Е. В. Игнатов // Подземная разработка мощных угольных пластов. Межвуз. сб. Кузбас. политехн. ин-та, вып.6. – Кемерово, 1978. – С. 181-183.
15. Ковачевич, П.М. Экспериментально-аналитическое исследование влияния порядка отработки панели (нисходящего или восходящего) на сдвигение и разрушение боковых пород / П.М. Ковачевич, В.Н. Вылегжанин // Сборник докладов VI Всесоюзного семинара по исследованию горного давления и охране капитальных выработок. – Новосибирск, 1979.
16. Пат. 2180040 Российская Федерация, МПК7 Е 21 С 41/18. Система разработки пологих угольных пластов / Ялевский В.Д., Игнатов Е. В., Рыжков Ю. А., Игнатов И. Е. – № 2000114619/03; заявл. 08.06.00; опубл. 27.02.02, Бюл. № 6. – 4 с.: ил.
17. Разупрочнение ТО кровель угольных пластов / С. Т. Кузнецов [и др.]. – М.: Недра, 1987. – 200 с.
18. Исследование взаимодействия крепи 340М87Э с трудноуправляемой кровлей в сложных горногеологических условиях / Е.И. Микляев [и др.] // Исследования по механизации и автоматизации



подземной добычи угля. Науч. сообщ. Ин-т горного дела им. А. А. Скочинского; вып. 138. – М., 1976. – С. 3-12.

19. Коровкин, Ю.А. Величина рабочего сопротивления механизированных крепей для пластов различной мощности с трудноуправляемой кровлей / Ю.А. Коровкин, Е.И. Микляев // Механизация производственных процессов при подземной добыче угля. Науч. сообщ. Ин-т горного дела им. А. А. Скочинского; вып. 137. – М., 1976. – С. 17-19.

20. Коровкин, Ю. А. Рациональная величина начального распора механизированной крепи для пластов с трудноуправляемой кровлей / Ю. А. Коровкин, Е. И. Микляев // Вопросы эксплуатации и надежности горных машин. Науч. сообщ. Ин-т горного дела им. А. А. Скочинского; вып.129. – М., 1975. – С. 45-53.

21. Коровкин, Ю. А. Установление параметров механизированной крепи для пологих пластов с трудноуправляемой кровлей / Ю. А. Коровкин // Вопросы технологии разработки и обогащения полезных ископаемых. – М., 1974. – С. 86-92.

22. Микляев, Е. И. Методика определения рационального рабочего сопротивления механизированных крепей для пластов с трудноуправляемой кровлей / Е.И. Микляев, Ю.А. Коровкин // Вопросы горного давления / АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела. – Новосибирск, 1979. – Вып. 37: Геомеханическое обоснование параметров механизированных крепей. – С. 13-17.

23. Микляев, Е.И. Повышение сопротивления крепи М-87, работающей на пластах с трудноуправляемой кровлей / Е. И. Микляев, З. К. Дьяченко // Горные машины и автоматика : реф. сб. / ЦНИЭИуголь. – 1974. – №7. – С. 14-15.

24. Микляев, Е. И. Применение механизированных крепей повышенного сопротивления на пластах с трудноуправляемой кровлей / Е.И. Микляев, Ю.А. Коровкин // Совершенствование подземной добычи угля. Науч. сообщ. Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского; вып.130. – М., 1975. – С. 39-46.

25. Коровкин, Ю.А. Обоснование критериев, определяющих трудноуправляемую кровлю / Ю.А. Коровкин, Е.И. Микляев // Тез. докл. на 4 Моск. науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов угол. пром-сти. – М., 1974. – С. 96.

26. Дымна, А.И. Прогнозная оценка поведения труднообрушающихся кровель с целью выбора рациональных схем горных работ. В кн.: Тез. докл. Всес. совещ. «Инж.-геол. обоснование условий разработки месторожд. полезн. ископаемых». – 1977. – М. – С. 174-175.

27. Приходько, Ю. Н. Правильный учет горнотехнических факторов–основа прогноза устойчивости и обрушаемости кровель угольных пластов // Тез. докл. – Воркута, 1973. – С. 50-52.

28. Глазов, Д. Д. Снижение горного давления на крепь / Д. Д. Глазов, А.Т. Ермолаев, Н.С. Плочкин // Безопасность труда в промышленности. – 1974. – №2. – С. 11.

29. Исследование усилий и перемещений в элементах крепи для труднообрушаемых кровель / В.Л. Попов [и др.] // Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов. – Тула, 1976. – С. 51-54.

30. Кузнецов, Г.Н. 4 пленарная сессия Международного бюро по механике горных пород / Г.Н. Кузнецов, С.Т. Кузнецов, А.А. Орлов // Уголь. – 1977. – №4. – С. 75-77.

31. Окалелов, В.Н. Выявление участков пластов с труднообрушаемой непосредственной кровлей // Безопасность труда в промышленности. – 1977. – №11. – С. 29.

32. Жихорь, Е.А. Влияние скорости подвигания очистных работ на параметры управления труднообрушаемой основной кровлей пологопадающих угольных пластов // Технология разработки рудных и угольных месторождений Казахстана подземным способом. – Алма-Ата, 1978. – С. 90-99.

33. Журило, А.А. Учет влияния трещиноватости пород на устойчивость кровли в очистном забое // Технология добычи угля подземным способом : реф. сб. / ЦНИЭИуголь. – 1975. – №8. – С. 14-16.

34. Ковтун, В.Я. О выборе длины лавы при труднообрушаемой кровле / В.Я. Ковтун, В.П. Карандашев // Уголь. – 1976. – №2. – С. 24.

35. Лаврик, В. Г. Прогресс технологии и техники угледобычи на шахтах южного Кузбасса / В. Г. Лаврик [и др.]. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2000. – 175 с.

36. Витебский, Я. Д. Влияние естественной трещиноватости на выбор схем расположения скважин при разупрочнении горных пород // Технология и механизация разработки мощных пологих пластов. Науч. тр. / Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. угол. ин-т (КНИУИ); вып. 55. – Караганда, 1978. – С. 31-34.

37. Ибраев, К. С. Определение параметров и схем расположения скважин при торпедировании труднообрушаемой кровли // Технология и механизация разработки мощных пологих пластов. Науч. тр. / Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. угол. ин-т (КНИУИ); вып.55. – Караганда, 1978. – С. 35-37.

38. Исследование и разработка рациональных технологических схем и основных параметров управления труднообрушаемой кровлей пластов в различных горногеологических условиях



Карагандинского бассейна искусственными целиками, возводимыми пневматическим способом из твердого материала: отчет о НИР / Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. угол. ин-т (КНИУИ); рук. Ш. А. Алтаев. – Караганда, 1975. – 109 с. – № ГР 72005833. – Инв. № Б 465561.

39. Особенности проявления горного давления при различных параметрах заложения скважин торпедирования по пласту А шахты «Кировская» / Ю.А. Семенов [и др.] // Науч.тр. Всесоюз.науч.-исслед. и проектно-конструкт. угол. ин-т. – 1976. – Вып. 58. – С. 93-99.

40. Семенов, Ю.А. Исследование особенностей деформации труднообрушаемой кровли при применении метода передового торпедирования / Ю. А. Семенов, Я. Д. Витебский // Технология и механизация разработки мощных пологих пластов. – Караганда, 1977. – С. 88-93. – (Науч. тр./ Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. угол. ин-т (КНИУИ) ; вып.54).

41. Налджан, В.В. К определению шага торпедирования труднообрушаемых кровель / В.В. Налджан, Ю.Г. Попов, Я.Д. Витебский // Технология и механизация разработки мощных пологих пластов. Науч.тр. Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. угол. ин-т (КНИУИ); вып.55. – Караганда, 1978. – С. 29-30.

42. Исследование характера проявлений горного давления на участках с труднообрушаемыми кровлями и разработка оптимальных схем и параметров гидравлического способа управления кровлей для Печорского бассейна: отчет о НИР / Гос. науч.-исслед., проектно-конструкт. угол. ин-т (ПечорНИИпроект); рук. В.П. Шишкин. – Воркута, 1977. – 155 с. – № ГР 7514159. – Инв. № Б 376391.

43. Лаврухин, А.В. Гидрообработка труднообрушаемой кровли / А.В. Лаврухин, Л.М. Гусельников, В.П. Шишкин // Безопасность труда в промышленности. – 1974. – № 7. – С. 32-34.

44. Разработка руководства по применению способа управления труднообрушаемыми кровлями гидрообработкой породного массива в Печорском бассейне: отчет о НИР / Гос. науч.-исслед., проектно-конструкт. угол. ин-т (ПечорНИИпроект); рук. В.П. Шишкин. – Воркута, 1975. – 201 с. – № ГР 74000273. – Инв. № Б 467453.

45. Исследование и обобщение характера разрушения, сдвижения и обрушения пород кровли и условий работы механизированных крепей при различных способах принудительного разрушения тяжелой кровли: отчет о НИР / Шахтинский науч.-исслед. и проектно-конструкт. угол. ин-т (ШахтНИУИ); рук. Г.К. Филин. – Шахты, 1976. – 64 с. - № ГР 75036773. – Инв. № Б 897844.

46. Разработка эффективности способов управления труднообрушаемыми кровлями в лавах пологих пластов Буланашского месторождения: отчет о НИР / Свердлов. горный. ин-т; рук. В.А. Мичков. – Свердловск, 1975. – 76 с. – № ГР 74047793. – Инв. № Б 513102.

47. Левин, А.В. Исследование напряженного состояния труднообрушаемых пород кровли методом разгрузки / А.В. Левин, П.В. Акимочкин // Измерение напряжений в массиве горных пород: материалы 4 Всесоюз. семинара, Новосибирск, 26-29 июня 1973 г. – Новосибирск, 1974. – С. 41-43.

48. Сравнительная оценка проявлений вторичных осадок труднообрушаемой кровли при различных способах управления / А.В. Левин [и др.] // Совершенствование технологии и повышение эффективности разработки угольных месторождений Карагандинского бассейна и Средней Азии. Науч.тр. Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. угол. ин-т (КНИУИ) ; вып. 46. – Караганда, 1973. – С. 38-41.

49. Болгожин, Ш.А. Применение искусственных опор для управления труднообрушаемой кровлей угольных пластов / Ш.А. Болгожин, Ш.А. Алтаев, У.А. Алдамбергенов // Алма-Ата: Наука КазССР, 1979. – 244 с.

50. Разупрочнение пород ТО кровель на пологих пластах средней мощности: отчет о НИР / Кузбас. политехн. ин-т; рук. П.М. Ковачевич. – Кемерово, 1980. – 104 с. – № ГР 79031784.

51. Разработать схемы подготовки без оставления целиков между лавами, обеспечивающие высокую нагрузку на забой и определить область их применения: отчет о НИР / Кузбасс. политехн. ин-т; рук. Н.А. Федоров. – Кемерово, 1971. – 125 с. – № ГР 71017435.

52. Журило, А. А. Методика выбора способов расчета параметров управления труднообрушающими кровлями в очистных выработках / А. А. Журило // ИГД им.А.А. Скочинского. – М. – 1980. – 49 с.



GEOTECHNICAL JUSTIFICATION OF GEOMETRICAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE «LONG STRIPS WITH SHORTWALLS» MINING SYSTEM

Eugene V. Ignatov, Maxim A. Tyulenev

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received:
25 May 2023

Revised:
16 June 2023

Accepted:
25 June 2023

Keywords: mine support,
underground coal mining,
development workings, mined-
out space, pillarless mining,
protection of mine workings,
rock pressure

Abstract.

The main source of danger in the mining system of long pillars along the strike are various forms of manifestation of mining pressure associated with the management of the roof full collapse. In fact, in this phrase, "control" should be in quotation marks, i.e., we must recognize that the collapse of the roof during the operation of complex-mechanized faces (CMF) is uncontrollable.

The problem of roof control has become especially acute in recent years - in connection with transition of mining works to greater depths and increase in the share of commercial reserves attributable to strata with hard-to-collapse roofs, which today, by some estimates, is from 40 to 60%.

In science and practice there were formed two directions, aimed at intensification of development in these conditions: this is creation of powerful, high-bearing mechanical supports, and the second one, which existed for about two decades in the times of the USSR, is disintegration of roof rocks.

In order to justify the parameters of the proposed technical and technological solutions, it was decided to briefly dwell on the analysis and some own studies of the ways to control the roofing and the condition of the roof massif in the longwall faces.

For citation Ignatov E., Tyulenev M. (2023) Geotechnical justification of geometrical and technological parameters of the «long strips with shortwalls» mining system, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2(21):59. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-2-59-87, EDN: OEMEIE

References

1. Krashkin, I. S. Vozmozhnye puti mehanizacii ruchnyh rabot pri podzemnom sposobe dobychi uglja / I. S. Krashkin, D. I. Bozhko // *Ugol'*. – 1995. – № 8. – S. 31-35.
2. Krashkin, I. S. Koncepcija perehoda k avtomatizirovannoj tehnologii ochistnyh rabot / I. S. Krashkin, V. I. Ivko // *Ugol'*. – 1993. – № 11. – S. 34-36.
3. Merrit, P. Statisticheskij uchet lav / Pol Merrit, Stiv Fiskor. Kemerovo, 1995. – 5 s. – (Preprint / Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie, In-t uglja).
4. Jalevskij, V. D. Geomechanicheskoe obosnovanie dlinnokamernoj adaptivnoj sistemy razrabotki pologih i naklonnyh plastov / V. D. Jalevskij, S. M. Tishhenko // *Ugol'*. – 1992. – № 4. – S. 47-48.
5. Chernjak, I. L. Upravlenie gornym davleniem v podgotovitel'nyh vyrabotkah glubokih shaht / I. L. Chernjak, Ju. I. Burchakov. – M.: Nedra, 1984. – 304 s.
6. Bescelikovaja otrabotka plastov / Ju. L. Hudin [i dr.]. - M.: Nedra, 1983. – 280 s.
7. Starikov A.V. Ochistnym zabojam – vysokoproizvoditel'noe i nadezhnoe oborudovanie / A.V. Starikov, I.N. Darykin // *Ugol'*. – 2000. – №8. – S. 25-29.
8. Kozovoj G.I. Organizacionno-tehnologicheskoe obespechenie innovacionnoj dejatel'nosti ugledobyvajushhego predpriyatija. Dis. ... dokt. tehn. nauk / G.I. Kozovoj. – SPb., 1998. – 244 s.
9. Ryzhkov Ju.A., Ignatov E.V. Sravnitel'naja ocenka gorno-geologicheskikh uslovij razrabotki, tehniki i tehnologii pri podzemnom sposobe dobychi uglja v Rossii i za rubezhom // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. – 2006. – №1 (52). – C. 67-74.
10. Kartavyj, N.G. Napravlenija povysheniya tehniko-jekonomicheskikh pokazatelej vyemochnoho oborudovaniya pri razrabotke plastov srednej moshhnosti / N.G. Kartavyj, V.A. Serov // *Ugol'*. – 1992. – № 3. – S. 13-17.



11. Vajngand, A.A. O vozmozhnosti ohrany vyemochnyh vyrabotok podvizhnoj gidravlicheskoj bortovoj krep'ju / A.A. Vajngand, B.S. Pavlov // Ugol'. – 1992. – №10. – S. 47-49.
12. Fedorov, N.A. K voprosu bescelikovoj podgotovki vyemochnyh polej s prjamotochnym provetrivaniem ochistnyh zaboev / N.A. Fedorov, M.S. Vagapov, E.V. Ignatov // Voprosy gornogo dela. Sb. nauch. tr. Kuzbas.politehn. in-ta, № 68. – Kemerovo, 1974. – S. 66-70.
13. A. s. 1165790 SSSR, MKI4 E 21 D 11/00. Sposob povyshenija ustojchivosti vyemochnoj vyrabotki / S. S. Kvon, P. F. Luk'janov, P. V. Egorov, A. V. Brajcev, E. V. Ignatov (SSSR). – № 3522200/22-03; zajavl. 16.12.82; opubl. 07.07.85, Bjul. № 25. – 3 s. : il.
14. Kovachevich, P.M. Sposob bescelikovoj podgotovki vyemochnyh polej / P.M. Kovachevich, N.A. Fedorov, E. V. Ignatov // Podzemnaja razrabotka moshhnyh ugol'nyh plastov. Mezhvuz. sb. Kuzbas. politehn. in-ta, vyp.6. – Kemerovo, 1978. – S. 181-183.
15. Kovachevich, P.M. Jeksperimental'no-analiticheskoe issledovanie vlijanija porjadka otrabotki paneli (nishodjashhego ili voshodjashhego) na sdvizhenie i razrushenie bokovyh porod / P.M. Kovachevich, V.N. Vylegzhanin // Sbornik dokladov VI Vsesojuznogo seminaru po issledovaniju gornogo davlenija i ohrane kapital'nyh vyrabotok. – Novosibirsk, 1979.
16. Pat. 2180040 Rossijskaja Federacija, MPK7 E 21 S 41/18. Sistema razrabotki pologih ugol'nyh plastov / Jalevskij V.D., Ignatov E. V., Ryzhkov Ju. A., Ignatov I. E. – № 2000114619/03; zajavl. 08.06.00; opubl. 27.02.02, Bjul. № 6. – 4 s.: il.
17. Razuprochnenie TO krovlej ugol'nyh plastov / S. T. Kuznecov [i dr.]. – M.: Nedra, 1987. – 200 s.
18. Issledovanie vzaimodejstvija krep'i 340M87Je s trudnoupravljaemoj krovlej v slozhnyh gornogeologicheskikh uslovijah / E.I. Mikljaev [i dr.] // Issledovanja po mehanizacii i avtomatizacii podzemnoj dobychi uglja. Nauch. soobshh. In-t gornogo dela im. A. A. Skochinskogo; vyp. 138. – M., 1976. – S. 3-12.
19. Korovkin, Ju.A. Velichina rabocheho soprotivlenija mehanizirovannyh krep'ej dlja plastov razlichnoj moshhnosti s trudnoupravljaemoj krovlej / Ju.A. Korovkin, E.I. Mikljaev // Mehanizacija proizvodstvennyh processov pri podzemnoj dobyche uglja. Nauch. soobshh. In-t gornogo dela im. A. A. Skochinskogo; vyp. 137. – M., 1976. – S. 17-19.
20. Korovkin, Ju. A. Racional'naja velichina nachal'nogo raspora mehanizirovannoj krep'i dlja plastov s trudnoupravljaemoj krovlej / Ju. A. Korovkin, E. I. Mikljaev // Voprosy jekspluatacii i nadezhnosti gornyh mashin. Nauch. soobshh. In-t gornogo dela im. A. A. Skochinskogo; vyp.129. – M., 1975. – S. 45-53.
21. Korovkin, Ju. A. Ustanovlenie parametrov mehanizirovannoj krep'i dlja pologih plastov s trudnoupravljaemoj krovlej / Ju. A. Korovkin // Voprosy tehnologii razrabotki i obogashhenija poleznyh iskopaemyh. – M., 1974. – S. 86-92.
22. Mikljaev, E. I. Metodika opredelenija racional'nogo rabocheho soprotivlenija mehanizirovannyh krep'ej dlja plastov s trudnoupravljaemoj krovlej / E.I. Mikljaev, Ju.A. Korovkin // Voprosy gornogo davlenija / AN SSSR, Sib. otd-nie, In-t gornogo dela. – Novosibirsk, 1979. – Vyp. 37: Geomechanicheskoe obosnovanie parametrov mehanizirovannyh krep'ej. – S. 13-17.
23. Mikljaev, E.I. Povyshenie soprotivlenija krep'i M-87, rabotajushhej na plastah s trudnoupravljaemoj krovlej / E. I. Mikljaev, Z. K. D'jachenko // Gornye mashiny i avtomatika : ref. sb. / CNIJeUgol'. – 1974. – №7. – C. 14-15.
24. Mikljaev, E. I. Primenenie mehanizirovannyh krep'ej povyshennogo soprotivlenija na plastah s trudnoupravljaemoj krovlej / E.I. Mikljaev, Ju.A. Korovkin // Sovershenstvovanie podzemnoj dobychi uglja. Nauch. soobshh. In-t gornogo dela im. A.A. Skochinskogo; vyp.130. – M., 1975. – S. 39-46.
25. Korovkin, Ju.A. Obosnovanie kriteriev, opredeljavushhih trudnoupravljaemuju krovlju / Ju.A. Korovkin, E.I. Mikljaev // Tez. dokl. na 4 Mosk. nauch.-tehn. konf. molodyh uchenyh i specialistov ugol. prom-sti. – M., 1974. – S. 96.
26. Dymna, A.I. Prognoznaja ocenka povedenija trudnoobrushajushhihsja krovlej s cel'ju vybora racional'nyh shem gornyh rabot. V kn.: Tez. dokl. Vses. soveshh. «Inzh.-geol. obosnovanie uslovij razrabotki mestorozhd. polezn. iskopaemyh». – 1977. – M. – S. 174-175.
27. Prihod'ko, Ju. N. Pravil'nyj uchet gornotekhnicheskikh faktorov–osnova prognoza ustojchivosti i obrushaemosti krovlej ugol'nyh plastov // Tez.dokl. – Vorkuta, 1973. – S. 50-52.
28. Glazov, D. D. Snizhenie gornogo davlenija na krep' / D. D. Glazov, A.T. Ermolaev, N.S. Plockij // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 1974. – №2. – S. 11.
29. Issledovanie usilij i peremeshhenij v jelementah krep'i dlja trudnoobrushaemyh krovlej / V.L. Popov [i dr.] // Podzemnaja razrabotka tonkih i srednej moshhnosti ugol'nyh plastov. – Tula, 1976. – S. 51-54.
30. Kuznecov, G.N. 4 plenarnaja sessija Mezhdunarodnogo bjuro po mehanike gornyh porod / G.N. Kuznecov, S.T. Kuznecov, A.A. Orlov // Ugol'. – 1977. – №4. – C. 75-77.
31. Okalelov, V.N. Vyjavlenie uchastkov plastov s trudnoobrushaemoj neposredstvennoj krovlej // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 1977. – №11. – S. 29.



32. Zhihor', E.A. Vlijanie skorosti podviganiya ochistnyh rabot na parametry upravleniya trudnoobrushaemoy osnovnoj krovlej pologopadajushhih ugol'nyh plastov // Tehnologija razrabotki rudnyh i ugol'nyh mestorozhdenij Kazahstana podzemnym sposobom. – Alma-Ata, 1978. – S. 90-99.
33. Zhurilo, A.A. Uchet vlijanija treshhinovatosti porod na ustojchivost' krovli v ochistnom zaboe // Tehnologija dobychi uglja podzemnym sposobom : ref. sb. / CNIJeIugol'. – 1975. – №8. – C. 14-16.
34. Kovtun, V.Ja. O vybore dliny lavy pri trudnoobrushaemoy krovle / V.Ja. Kovtun, V.P. Karandashev // Ugol'. – 1976. – №2. – C. 24.
35. Lavrik, V. G. Progress tehnologii i tehniki ugledobychi na shahtah juzhnogo Kuzbassa / V. G. Lavrik [i dr.]. – Kemerovo : Kuzbassvuzizdat, 2000. – 175 s.
36. Vitebskij, Ja. D. Vlijanie estestvennoj treshhinovatosti na izbor shem raspolozhenija skvazhin pri razuprochnenii gornyh porod // Tehnologija i mehanizacija razrabotki moshhnyh pologih plastov. Nauch.tr. / Vsesojuz. nauch.-issled. i proektno-konstrukt. ugol. in-t (KNIUI); vyp. 55. – Karaganda, 1978. – S. 31-34.
37. Ibraev, K. S. Opredelenie parametrov i shem raspolozhenija skvazhin pri torpedirovanii trudnoobrushaemoy krovli // Tehnologija i mehanizacija razrabotki moshhnyh pologih plastov. Nauch.tr. / Vsesojuz. nauch.-issled. i proektno-konstrukt. ugol. in-t (KNIUI); vyp.55. – Karaganda, 1978. – S. 35-37.
38. Issledovanie i razrabotka racional'nyh tehnologicheskikh shem i osnovnyh parametrov upravlenija trudnoobrushaemoy krovlej plastov v razlichnyh gornogeologicheskikh uslovijah Karagandinskogo bassejna iskusstvennymi celikami, vozvodimymi pnevmaticheskim sposobom iz tverdogo materiala: otchet o NIR / Vsesojuz. nauch.-issled. i proektno-konstrukt. ugol. in-t (KNIUI); ruk. Sh. A. Altaev. – Karaganda, 1975. – 109 s. – № GR 72005833. – Inv. № B 465561.
39. Osobennosti projavlenija gornogo davlenija pri razlichnyh parametrah zalozhenija skvazhin torpedirovanija po plastu A shahty «Kirovskaja» / Ju.A. Semenov [i dr.] // Nauch.tr. Vsesojuz.nauch.-issled. i proektno-konstrukt. ugol. in-t. – 1976. – Vyp. 58. – S. 93-99.
40. Semenov, Ju.A. Issledovanie osobennostej deformacii trudnoobrushaemoy krovli pri primenenii metoda peredovogo torpedirovanija / Ju. A. Semenov, Ja. D. Vitebskij // Tehnologija i mehanizacija razrabotki moshhnyh pologih plastov. – Karaganda, 1977. – S. 88-93. – (Nauch. tr./ Vsesojuz. nauch.-issled. i proektno-konstrukt. ugol. in-t (KNIUI) ; vyp.54).
41. Naldzhan, V.V. K opredeleniju shaga torpedirovanija trudnoobrushaemyh krovli / V.V. Naldzhan, Ju.G. Popov, Ja.D. Vitebskij // Tehnologija i mehanizacija razrabotki moshhnyh pologih plastov. Nauch.tr. Vsesojuz. nauch.-issled. i proektno-konstrukt. ugol. in-t (KNIUI); vyp.55. – Karaganda, 1978. – S. 29-30.
42. Issledovanie haraktera projavlenij gornogo davlenija na uchastkah s trudnoobrushaemymi krovlijami i razrabotka optimal'nyh shem i parametrov gidravlicheskogo sposoba upravlenija krovlej dlja Pechorskogo bassejna: otchet o NIR / Gos. nauch.-issled., proektno-konstrukt. ugol. in-t (PechorNIiproekt); ruk. V.P. Shishkin. – Vorkuta, 1977. – 155 s. – № GR 7514159. – Inv. № B 376391.
43. Lavruhin, A.V. Gidroobrabotka trudnoobrushaemoy krovli / A.V. Lavruhin, L.M. Gusel'nikov, V.P. Shishkin // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 1974. – № 7. – S. 32-34.
44. Razrabotka rukovodstva po primeneniju sposoba upravlenija trudnoobrushaemymi krovlijami gidroobrabotkoj porodnogo massiva v Pechorskom bassejne: otchet o NIR / Gos. nauch.-issled., proektno-konstrukt. ugol. in-t (PechorNIiproekt); ruk. V.P. Shishkin. – Vorkuta, 1975. – 201 s. – № GR 74000273. – Inv. № B 467453.
45. Issledovanie i obobshhenie haraktera razrushenija, sdvizhenija i obrushenija porod krovli i uslovij raboty mehanizirovannyh krepej pri razlichnyh sposobah prinuditel'nogo razrushenija tjazheloj krovli: otchet o NIR / Shahtinskij nauch.-issled. i proektno-konstrukt. ugol. in-t (ShahtNIUI); ruk. G.K. Filin. – Shahty, 1976. – 64 s. - № GR 75036773. – Inv. № B 897844.
46. Razrabotka jeffektivnosti sposobov upravlenija trudnoobrushaemymi krovlijami v lavah pologih plastov Bulanashskogo mestorozhdenija: otchet o NIR / Sverd. gornyj. in-t; ruk. V.A. Michkov. – Sverdlovsk, 1975. – 76 s. – № GR 74047793. – Inv. № B 513102.
47. Levin, A.V. Issledovanie naprjazhennogo sostojanija trudnoobrushaemyh porod krovli metodom razgruzki / A.V. Levin, P.V. Akimochkin // Izmerenie naprjazhenij v massive gornyh porod: materialy 4 Vsesojuz. seminaru, Novosibirsk, 26-29 ijunja 1973 g. – Novosibirsk, 1974. – S. 41-43.
48. Sravnitel'naja ocenka projavlenij vtorignyh osadok trudnoobrushaemoy krovli pri razlichnyh sposobah upravlenija / A.V. Levin [i dr.] // Sovershenstvovanie tehnologii i povysenie jeffektivnosti razrabotki ugol'nyh mestorozhdenij Karagandinskogo bassejna i Srednej Azii. Nauch.tr. Vsesojuz. nauch.-issled. i proektno-konstrukt. ugol. in-t (KNIUI) ; vyp. 46. – Karaganda, 1973. – S. 38-41.
49. Bolgozhin, Sh.A. Primenenie iskusstvennyh opor dlja upravlenija trudnoobrushaemoy krovlej ugol'nyh plastov / Sh.A. Bolgozhin, Sh.A. Altaev, U.A. Aldambergenov // Alma-Ata: Nauka KazSSR, 1979. – 244 s.
50. Razuprochnenie porod TO krovli' na pologih plastah srednej moshhnosti: otchet o NIR / Kuzbas. politehn. in-t; ruk. P.M. Kovachevich. – Kemerovo, 1980. – 104 s. – № GR 79031784.



51. Razrabotat' shemy podgotovki bez ostavleniya celikov mezhdru lavami, obespechivajushhie vysokuju nagruzku na zaboj i opredelit' oblast' ih primenenija: otchet o NIR / Kuzbass. politehn. in-t; ruk. N.A. Fedorov. – Kemerovo, 1971. – 125 s. – № GR 71017435.

52. Zhurilo, A. A. Metodika vybora sposobov rascheta parametrov upravlenija trudnoobrushajushhimi krovlyami v ochistnyh vyrabotkah / A. A. Zhurilo // IGD im.A.A. Skochinskogo. – M. – 1980. – 49 s.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2023 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Eugene V. Ignatov, PhD (Tech.), Associate Professor
e-mail: ignatovev@kuzstu.ru

Maxim A. Tyulenev, PhD (Tech.), Associate Professor
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
28 Vesennaya str., Russian Federation, Kemerovo, 650000

