

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



На правах рукописи

УРАЗБАХТИН РУСТАМ ЮСУФОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ
КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК
МАЛОГО СЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
д.т.н., профессор
Юнгмейстер Д.А.

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	10
1.1 Выработки малого сечения в различных отраслях	10
1.1.1 Проведение выработок малого сечения при добыче угля	11
1.1.2 Проведение выработок малого сечения для разведочных целей	12
1.1.3 Проведение выработок малого сечения для обслуживания подземных горных работ и выработок технологического назначения	13
1.1.4 Проведение выработок малого сечения в экстремальных условиях	17
1.2 Анализ конструкций проходческих комплексов для проведения выработок малого сечения в условиях шахт и рудников	23
1.3 Анализ теоретических исследований процессов машин проходческих комплексов	26
1.3.1 Анализ стреловидных исполнительных органов избирательного действия....	27
1.3.2 Анализ исполнительных органов ударного действия	29
1.4 Анализ тяговых усилий при перемещении частей комплекса	31
1.5 Имитационное моделирование пооперационной трудоемкости	35
Выводы по первой главе	36
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА.....	38
2.1 Разработка схемного решения механизированного проходческого комплекса для скоростного проведения выработок малого сечения в массивах пород различной крепости и кровлях различной устойчивости	38
2.2 Определение силовых и геометрических параметров гидродомкрата и гидростойки проходческого комплекса на базе шагающей крепи.....	40
2.3 Теоретические исследования по определению параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи при передвижке	42
2.4. Определение силовых и геометрических параметров гидростойки шагающей крепи проходческого комплекса.....	54
2.5 Анализ операций цикла проходки механизированным проходческим комплексом	56
2.6 Исследование зависимости скорости проходки выработки малого сечения от времени выполнения основных операций цикла и параметров машин проходческого комплекса.....	65
2.6.1 Выбор набора исходных данных и допущений модели	65
2.6.2 Разработка алгоритма имитационной модели.....	66
2.6.3 Результаты имитационного моделирования.....	69
Выводы по второй главе	73

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ СЕКЦИИ КРЕПИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	74
3.1 Постановка задач экспериментальных исследований	74
3.2 Этапы физического моделирования образца шагающей крепи	74
3.3 Определение масштабного коэффициента при перемещении модели крепи проходческого комплекса	75
3.4 Лабораторный стенд для исследования процесса передвижки секции шагающей крепи	79
3.4.1 Исходные данные	82
3.4.2 Методика проведения эксперимента	82
3.5 Последовательность проведения испытаний	85
3.6 Результаты стендовых исследований шагающей крепи при различных видах нагружения	86
3.7 Анализ результатов численного моделирования процесса нагружения шагающей крепи проходческого комплекса в среде Phase2	92
3.8 Анализ 3D моделирования процесса нагружения шагающей крепи проходческого комплекса в среде AutoDesk Inventor	93
Выводы по третьей главе	95
ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК МАЛОГО СЕЧЕНИЯ	97
4.1 Исполнительный орган в виде перфоратора-ударника	98
4.2 Конструкция проходческого комплекса для проведения выработок малого сечения	100
4.3 Принцип работы проходческого комплекса	102
4.4 Методика обоснования вариантов конкретных компоновок исполнительных органов проходческого комплекса	104
4.4.1 Методика обоснования применения проходческого комплекса при проходческих операциях	106
4.4.2 Пример методики расчета параметров проходческого комплекса	107
Выводы по четвертой главе	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	117
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт о внедрении результатов диссертационной работы	128
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Листинг программы Mathcad для определения коэффициента сопротивления передвижки	129
ПРИЛОЖЕНИЕ В Листинг программы Mathcad для определения сроков проходки выработок малого сечения	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

В горной отрасли выработки малого сечения проводят при разведке, добыче или для вспомогательных и технологических функций.

При существующем уровне развития горной техники механизированное проведение выработок малого сечения применяется при добыче угля с использованием комплекса глубокой разработки, осуществляющего разработкой угольного пласта из разрезной траншеи камерами длиной около 200 м с удержанием кровли целиками. Проходческие работы по разведке месторождений и для строительства вспомогательных выработок (вентиляционные, технологические для прохода людей и доставки грузов) проводят вручную, в том числе с применением буровзрывных работ по крепким породам.

В тоже время горные массивы характеризуются широким диапазоном изменения крепости пород, а при наличии слабоустойчивых или неустойчивых кровлей в подземных выработках необходимо крепление выработок, например, рамами с малым шагом. Все перечисленное многократно увеличивает трудоемкость проходки выработок малого сечения большой протяженности, что обуславливает применение механизации этого трудоемкого процесса.

Отсутствие механизации трудоемких работ при проведении выработок малого сечения определяет задачу создания эффективных и мобильных средств механизации и проходческих комплексов на их основе для проведения выработок в массивах пород различной крепости и при переменной устойчивости кровли, поэтому решение указанной задачи является весьма актуальным.

Степень разработанности темы исследования

В создание машин и средств механизации проходческих работ внесли существенный вклад исследовательские и проектные институты: ИГД им. А.А. Скочинского, МакНИИ, ВНИМИ, а также такие ученые, как: А.Б. Ефременков, А.Б. Жабин, А.Г. Валчев, А.Н. Капустин, В.А. Бреннер, В.В. Аксенов, В.В. Чаплыгин, В.Ю. Бегляков, Г.Д. Буялич, Л.И. Кантович, Р. Kogler и др.

Несмотря на наличие научных исследований по механизации проходческих работ при проведении выработок малого сечения, в настоящее время недостаточно освещены вопросы, связанные с оценкой влияния нагрузок, действующих на конструкции проходческих комплексов со стороны прилегающих пород выработки при проходке в породах различной крепости и кровлях различной устойчивости для обоснования параметров силового оборудования проходческого комплекса; для модульных комплексов решены вопросы проведения выработок по породам низкой или высокой крепости, однако разработке комплексов для проходки по породам с широким диапазоном крепости уделено недостаточно внимания, что требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Цель исследования: выявление закономерностей изменения силовых параметров комплекса горного оборудования на базе шагающей крепи от воздействия внешних нагрузок при его пошаговом перемещении в породах различной крепости и кровлях различной устойчивости для научно обоснованного технического решения проходческого комплекса при проведении выработок малого сечения, внедрение которого внесет значительный вклад в развитие горнодобывающей отрасли страны.

Идея исследования: заключается в научно обоснованной оценке влияния нагрузок со стороны горного массива на элементы проходческого комплекса при проходке выработок малого сечения и пошаговой передвижки его элементов в пространстве горного массива шахт, позволяющей по специальному алгоритму осуществлять выбор горного оборудования комплекса в рамках предложенных схемных и конструктивных решений и управлять комплексом как единой системой.

Задачи исследования:

1. Анализ и обобщение теоретических и экспериментальных исследований по механизации проходческих работ при проведении выработок малого сечения.
2. Проведение теоретических исследований по выявлению закономерностей изменения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи от воздействия внешних нагрузок при его пошаговом перемещении в различных по крепости породах и переменной устойчивости кровлях и разработке алгоритма функционирования комплекса при проведении выработки малого сечения.

3. Создать экспериментальный стенд и провести исследования для определения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи при передвижке его частей в зависимости от схемы нагружения модели комплекса в массиве.

4. Провести моделирование функционирования машин проходческого комплекса на основе имитационной модели при скоростной проходке выработки малого сечения по породам различной крепости и для кровлей переменной устойчивости с учетом параллельных и последовательных процессов проходческого цикла.

5. Разработать методику расчета и выбора основных параметров проходческого комплекса, а также рекомендации области его применения.

Научная новизна исследования:

Разработан алгоритм управления проходческим комплексом на основе имитационной модели функционирования его узлов при проходке выработки малого сечения, включающий взаимное соответствие рациональных параметров крепи и исполнительных органов по отбойке забоя по параметру минимального времени проходки при совмещении операций проходческого цикла.

Теоретическая и практическая значимость работы

Установлена зависимость изменения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи от воздействия внешних нагрузок при его пошаговом перемещении в различных по крепости породах и переменных по устойчивости кровлях.

Создана имитационная модель функционирования проходческого комплекса при скоростной проходке выработки малого сечения, позволяющая прогнозировать сроки проведения проходческих выработок в различных горных массивах. Обоснованы параметры основных узлов крепи комплекса, обеспечивающего крепление призабойного пространства, в том числе силовых гидроцилиндров (гидростоек, гидродомкратов) с учетом степенной зависимости коэффициента сопротивления передвижки частей комплекса в зависимости от крепости пород при различных вариантах нагружения частей комплекса.

Результаты исследований приняты к внедрению ЗАО «МЕТРОКОН», г.Санкт-Петербург.

Методология и методы исследования. В работе использован комплексный метод исследований, включающий теоретические и экспериментальные исследования, обработку и анализ результатов методами математической статистики, имитационное и компьютерное моделирование.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует п.4 «Обоснование и выбор конструктивных и схемных решений машин и оборудования во взаимосвязи с горнотехническими условиями, эргономическими и экологическими требованиями» области исследований паспорта специальности 05.05.06 – Горные машины.

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено необходимое усилие передвижки частей проходческого комплекса на базе шагающей крепи, которое определяет продолжительность цикла проходческих работ, при этом величина усилия передвижки должна быть не менее 392 кН в выработках с крепостью пород горного массива $f=1$ при нагружении со стороны кровли и боков выработки, а величина коэффициента сопротивления передвижки выражается степенной зависимостью от крепости пород горного массива и находится в пределах ($k_{сопр}=0,4÷6,0$), при этом по величине этого коэффициента с достаточной для инженерных расчетов точностью возможно оценить усилие передвижки при пошаговом перемещении комплекса, определяемое величиной и характером нагружения частей комплекса со стороны прилегающего горного массива.

2. Минимальная величина длины выработок малого сечения ($2,25 \text{ м}^2$) по породам горного массива крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые 0,5 м, при которой применение комплекса является рациональным, составляет 10 м, максимальная протяженность выработок при проходке комплексом ограничивается эффективностью оборудования по отгрузке и транспортировке породы, что подтверждается результатами имитационного

моделирования, при этом зависимость скорости проведения выработки проходческим комплексом от коэффициента крепости пород выражается линейной функцией.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, обусловлена использованием методов классической механики, статистики для анализа экспериментальных данных, достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных результатов. Основные положения работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались и получили положительную оценку на Международных конференциях: в Краковской горно-металлургической академии (Краковская горно-металлургическая академия, Польша, Краков, 2015 г.); на XV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 2017 г.); на международной конференции молодых ученых (Фрайбергская горная академия, Германия, Фрайберг, 2017 г.); на международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017, 2018» (г. Санкт-Петербург, 2017, 2018 г.).

Личный вклад соискателя заключается в: постановке цели, формулировке задач и разработке методик исследований; проведении анализа основных теоретических представлений об определении силовых параметров узлов проходческого комплекса на базе шагающей крепи для обеспечения пошаговой передвижки в породах различной крепости и кровлях различной устойчивости; проектировании и изготовлении лабораторного стенда, проведении экспериментальных исследований процессов перемещения модели крепи комплекса при различных вариантах нагружения его частей; обосновании конструкции проходческого комплекса повышенной эффективности, а также методики расчетов его основных параметров.

Данные о публикациях автора. По результатам исследования опубликовано 9 печатных работ, в том числе 4 статьи в трех рецензируемых изданиях из перечня, рекомендованного ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, две статьи в журналах, индексируемых в международных

научнометрических базах данных SCOPUS и Web of Science; получены 2 патента на изобретения.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, 3 приложений, общим объемом 135 страниц печатного текста, содержит 11 таблиц и 71 рисунок, список литературы из 106 наименований.

ГЛАВА 1 ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

1.1 Выработки малого сечения в различных отраслях

На сегодняшний день выработки малого сечения в горной отрасли проводят в целях разведки месторождений, добычи угля или обслуживания подземных горных работ.

Области применения выработок малого сечения показаны на рисунке 1.1.

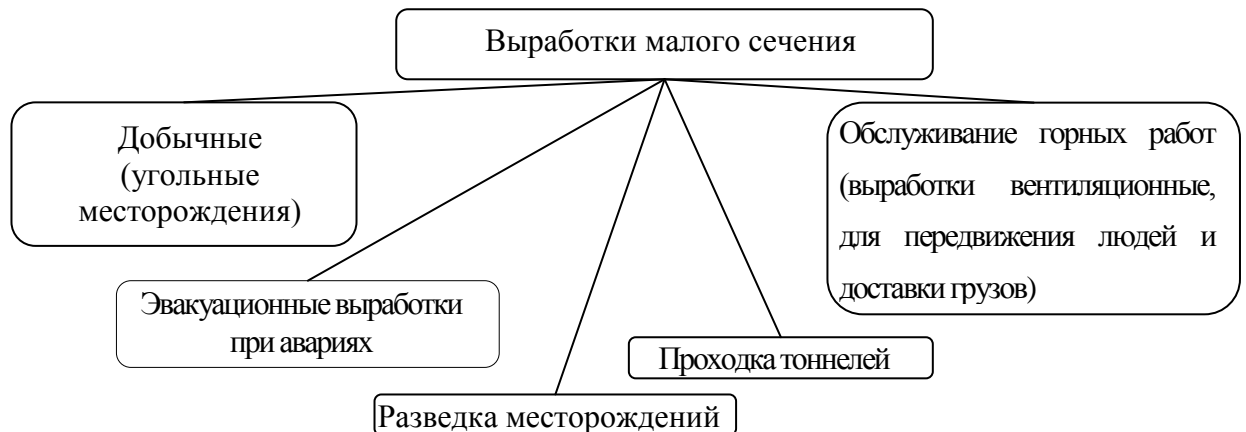


Рисунок 1.1 – Классификация выработок малого сечения

При существующем уровне развития техники и горного оборудования механизация проведения выработок малого сечения применима только при строительстве тоннелей технологического назначения щитовыми тоннелепроходческими комплексами, а также при выемке угля с использованием комплекса глубокой разработки, осуществляющий извлечение угля по простиранию пласта камерами длиной около 200 м с оставлением межкамерных целиков.

Проходческие же работы по разведке месторождений, обслуживанию горных работ (выработки вентиляционные, для передвижения людей и доставки грузов) и проходке эвакуационных выработок при авариях зачастую проводят с использованием ручного труда, при этом выработки малого сечения характеризуются переменной устойчивостью пород кровли и широким диапазоном изменения крепости пород. Все перечисленное многократно увеличивает трудоемкость проходки выработок большой протяженности,

поскольку в одном случае требует обеспечения частого крепления выработок, а в другом появляется необходимость применения буровзрывных работ.

Подземные горные выработки малого сечения бывают малой и большой длины и характеризуются различной областью применения в основных производственных процессах подземных горных работ. При этом проходка этих выработок осуществляется в разнообразных горно-геологических условиях. Отсутствие механизации трудоемких работ при проведении выработок малого сечения ставит задачу создания эффективных и мобильных средств механизации для проходки таких выработок в различных по крепости породах и устойчивости кровлях.

1.1.1 Проведение выработок малого сечения при добыче угля

Разработка горизонтальных (пологопадающих) пластов угля осуществляется способом проходки выработок малого сечения длиной 200-300 м с использованием комплекса глубокой разработки пластов. Комплекс состоит из комбайна, выдвигного става и рабочего органа (рисунок 1.2). Добыча угля осуществляется с открытой поверхности угольного разреза или специальной разрезной траншеи, что позволяет совместить открытый и подземный способы разработки угольного пласта, обеспечить высокую производительность выемки и автоматизацию добычного цикла, уменьшить время монтажно-демонтажных операций и исключить наличие людей вблизи забоя [24, 78].



Рисунок 1.2 – Добыча угля комплексом КГРП

Комплекс глубокой разработки пластов имеет ряд недостатков: задавливание выдвигного става при наличии неустойчивых пород кровли; небольшой коэффициент извлечения угля, поскольку оставляются целики между

камерами вынимаемого угля; нет оборудования для вентиляции тупиковой выработки, что увеличивает время простоя техники при срабатывании датчиков обнаружения метана [24, 78].

1.1.2 Проведение выработок малого сечения для разведочных целей

Подземные горные выработки характеризуются большим разнообразием, формами и размерами. Выработки большого сечения на шахтах используются преимущественно для добычи полезных ископаемых, механизация которых доведена до 70-80 %. В то время как при проходке разведочных, вспомогательных выработок малого сечения используется только ручной труд шахтеров.

Значительная трудность проведения проходческих работ проявляется при проходке разведочных выработок (рассечек). Длина рассечек доходит до 50 м, сечение выработки до 4 м² (рисунок 1.3). Стесненные условия в выработке, а также малая длина, в сравнении с другими горными выработками, не позволяют использовать существующее крупногабаритное горнопроходческое оборудование. Если при проведении разведочных выработок горный массив включает крепкие прослойки, проходка проводится с использованием буровзрывных работ, что приводит к увеличению сроков проходческих работ.

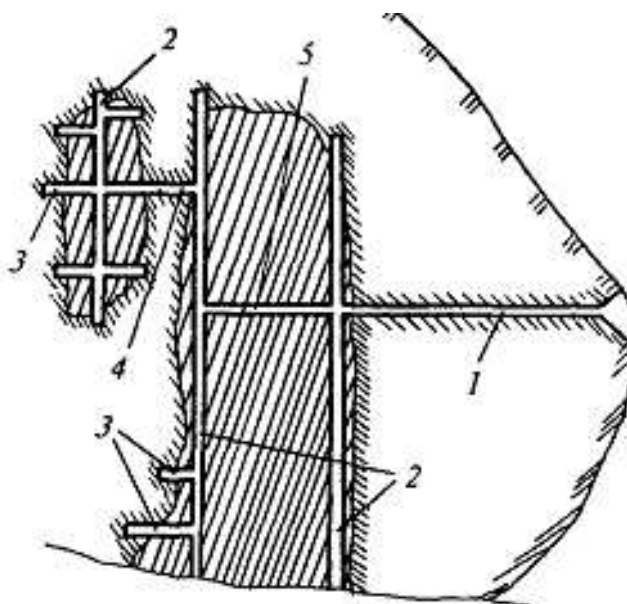


Рисунок 1.3 – Схема расположения горизонтальных горных выработок: 1 – штольня, 2 – штрек, 3 – рассечка, 4 – квершлаг, 5 – орт

На рисунке 1.4 представлено устройство в выработке механизмирующее процесс погрузки-разгрузки, которое состоит из отдельных блоков погрузочного, силового, вспомогательного оборудования [53, 54].

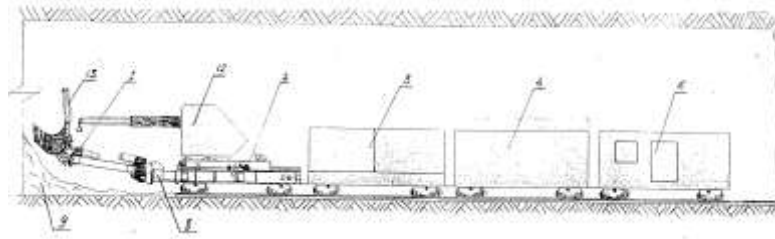


Рисунок 1.4 - Общая схема модульного устройства с погрузочным исполнительным органом

Недостатком устройства является отсутствие средств возведения крепления над оборудованием, входящим в состав устройства, низкая производительность оборудования по уборке породы, отсутствие устройств по дроблению негабаритных кусков породы [53].

Использование малогабаритной проходческой техники, состоящей из облегченных узлов, легко транспортируемых и собираемых в подземных условиях несколькими шахтерами, позволило бы сократить сроки проходки выработок малого сечения (разведочных, вентиляционных), а также выработок для передвижения людей, доставки грузов и других целей.

1.1.3 Проведение выработок малого сечения для обслуживания подземных горных работ и выработок технологического назначения

Проведение горизонтальных выработок малого сечения

Строительство коллекторов и подземных сетей для горных производств в обычных условиях осуществляется открытым (траншейным) способом, но бывают условия, когда приходится применять подземный щитовой метод проходки выработок малого сечения (1–5 м²) с использованием тоннелепроходческих комплексов для обеспечения процесса отведения или перекачки технической воды, пульпы и других целей горнодобывающей промышленности.

В настоящее время проходка тоннелепроходческим комплексом доведена до автоматизма и обеспечивает проведение горизонтальных выработок различного

сечения в сложных горно-геологических условиях, например, в неустойчивых и слабоустойчивых грунтах [8, 10, 30].

Тоннелепроходческий комплекс имеет множество вариантов исполнения и отличается в основном исполнительным органом (рисунок 1.5).

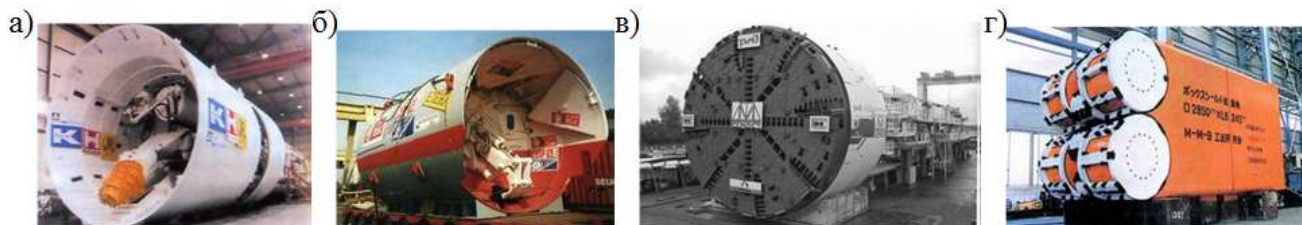


Рисунок 1.5 – Конструкции тоннелепроходческих комплексов с исполнительным органом: а) избирательного действия; б) экскаваторного типа; в) роторным; г) барабанным

Применение щитового комплекса имеет ряд недостатков, таких как значительная масса и габариты частей машины, которые определяют сложность и высокую трудоемкость монтажно-демонтажных работ, поскольку требуют предварительной подготовки котлована площадью около 200 м^2 и глубиной 10-30 м. При старте проходческого щита необходимо также использовать дополнительное стартовое устройство для обеспечения подачи, что ведет к увеличению сроков проходки [8, 10, 30].

Проведение вспомогательных выработок малого сечения требуется при строительстве и обслуживании станций метро, а также для горных работ. В зависимости от продолжительности их использования, выработки бывают временные и постоянные. Временные выработки используются в качестве ходков от капитальных выработок, сбоек между тоннелями, а также для складирования материалов и т.д. Постоянные вспомогательные выработки малого сечения (рисунок 1.6) используются на протяжении всего срока службы капитальных выработок и необходимы для установки различного оборудования, обеспечения вентиляции и перенаправления потока воздуха в случае чрезвычайных ситуаций, а также людских ходков, например, для обслуживания систем артезианских скважин, которые располагаются по тоннелю через каждые 250-500 метров.

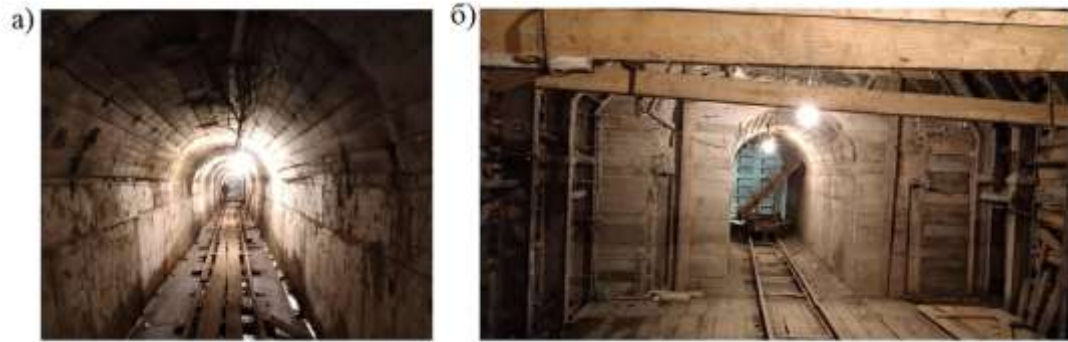


Рисунок 1.6 – Вспомогательные выработки малого сечения для подхода к: а) камере фильтровентиляционной установке; б) насосной камере

Отсутствие механизации трудоемких работ при проведении вспомогательных выработок малого сечения ставит задачу создания эффективных и мобильных средств механизации для проходки таких выработок в различных по крепости породах и устойчивости кровлях.

Проведение вертикальных выработок малого сечения

Вертикальные выработки малого сечения нашли широкое применение в горной отрасли с целью осуществления спуска и подъёма людей, транспортировки оборудования и материалов в шахте, обеспечении вентиляции, а также разведки полезных ископаемых и организации водоотлива для удаления шахтных и карьерных вод из горных выработок.

Увеличение глубины выработок является глобальной тенденцией в горнодобывающей промышленности. Например, в Южной Африке глубина расположения шахт составляет 4 км, тогда как в Канаде горная добыча ведется на глубине 3 км [91]. Глубина проведения выработок малого сечения определяет общую продолжительность горных работ. Добыча полезных ископаемых в XXI веке происходит на глубоких горизонтах и тем самым усложняет задачу проведения вертикальных выработок малого сечения с поверхности земли. На сегодняшний день вертикальные выработки глубиной 1500 м выходят за рамки технологической осуществимости и требуют альтернативных подходов при ведении горных работ [103].

На рисунке 1.7 показан вариант проведения вертикальной выработки малого сечения с применением бурового станка с целью спуска и подъёма людей, транспортировки материалов и обеспечения вентиляции.

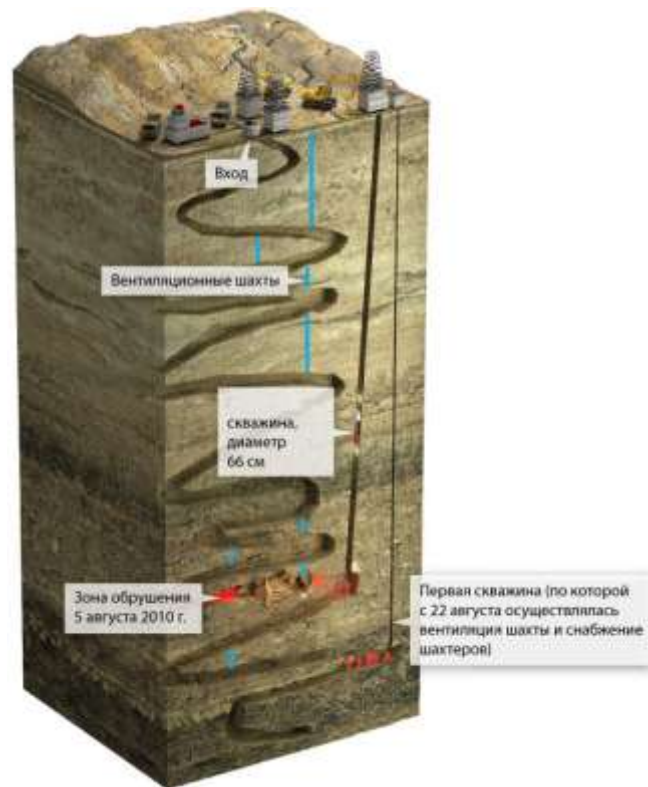


Рисунок 1.7 – Общая схема проведения вертикальной выработки малого сечения с применением буровых станков [49]

Проведение выработки малого сечения начинается с бурения вертикальной выработки (скважины) диаметром 380 мм буровым станком с пневматическим молотом (рисунок 1.8, а). При достижении заданной глубины скважину расширяют до диаметра 660 мм с использованием дополнительной буровой коронки (рисунок 1.8, б). Спуск и подъем шахтеров может осуществляться с глубины свыше 600 м (рисунок 1.8, в, г) [49, 93, 96].

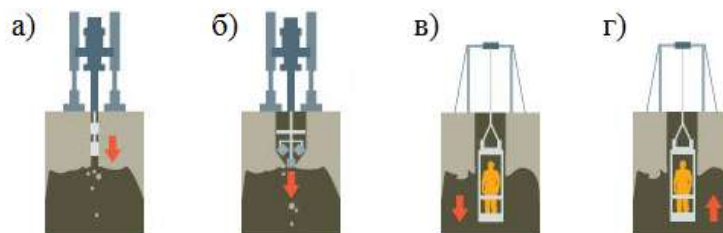


Рисунок 1.8 – Этапы проведения вертикальной выработки малого сечения: а) бурение вертикальной скважины диаметром буровым станком с пневматическим молотом; б) расширение скважины при помощи дополнительной буровой коронки; в, г) спуск и подъем шахтеров [49]

Разработка и создание горного оборудования для проведения вертикальных выработок малого сечения имеет тенденцию к развитию, но имеет ряд недостатков, например из-за значительных трудностей по доставке бурового

оборудования, подготовки рабочей площадки для бурения вертикальной выработки малого сечения, а также значительной длительности бурения вертикальной скважины и ограниченности во времени, например для высвобождения заблокированных шахтеров в шахтах.

1.1.4 Проведение выработок малого сечения в экстремальных условиях

Экстремальные условия в горнодобывающей промышленности, при которых необходимо провести выработку малого сечения в шахтах или рудниках, достаточно редки, но при возникновении, характеризуются значительными трудностями, а порой и невозможностью проведения горнопроходческих работ. На сложность проходки выработок малого сечения воздействуют прежде всего природные факторы [6, 16, 37, 60, 85, 86, 87]:

- непостоянство горно-геологических условий;
- увеличение природной температуры пород при значительных глубинах их залегания;
- наличие обводненных зон у месторождения;
- метанообильность выработок;
- наличие взрывоопасной угольной пыли;
- склонность угля к самовозгоранию;
- большая глубина ведения горных работ и т.д.

Кроме того, проходка выработок малого сечения в экстремальных условиях требует решения нестандартных задач, например, обеспечения поддержания кровли выработок при завалах. Поскольку шахтеры сталкиваются с опасными и быстро меняющимися условиями, их работа характеризуется высоким риском для жизни и возникает необходимость создания специального горного оборудования, обеспечивающего скоростную проходку выработок малого сечения в экстремальных условиях.

Предпосылки создания комплекса для проходки выработок малого сечения в экстремальных условиях

С учетом современных тенденций, когда активно используются

альтернативные источники энергии, уголь все еще остается важнейшим ресурсом в энергетическом балансе многих стран мира, в частности Китая, Индии, США, Японии, России (рисунок 1.9), но его добыча сопровождается тяжелейшими условиями работы и риском для жизни шахтеров [98]. Угольные шахты относятся к объектам I класса опасности, а разрезы и объекты обогащения угля к II – IV классу опасности.

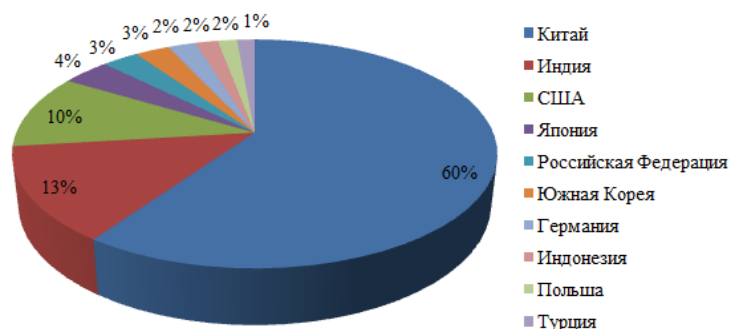


Рисунок 1.9 – Распределение потребления угля по странам мира за 2017 год

В тройку крупнейших потребителей угля входят такие страны как Китай, Индия и США, с потреблением угля 1892,6 млн. тонн, 424 млн. тонн и 332,1 млн. тонн соответственно [98].

В последние годы снизилась аварийность на угольных шахтах угледобывающих стран (рисунки 1.10 – 1.12), но задача проведения выработок малого сечения в экстремальных условиях по-прежнему остается актуальной [6, 16, 37, 60, 85, 86, 87, 88, 89, 103].



Рисунок 1.10 – Динамика добычи, травматизма со смертельным исходом и аварийности в угольной промышленности РФ [16, 60]

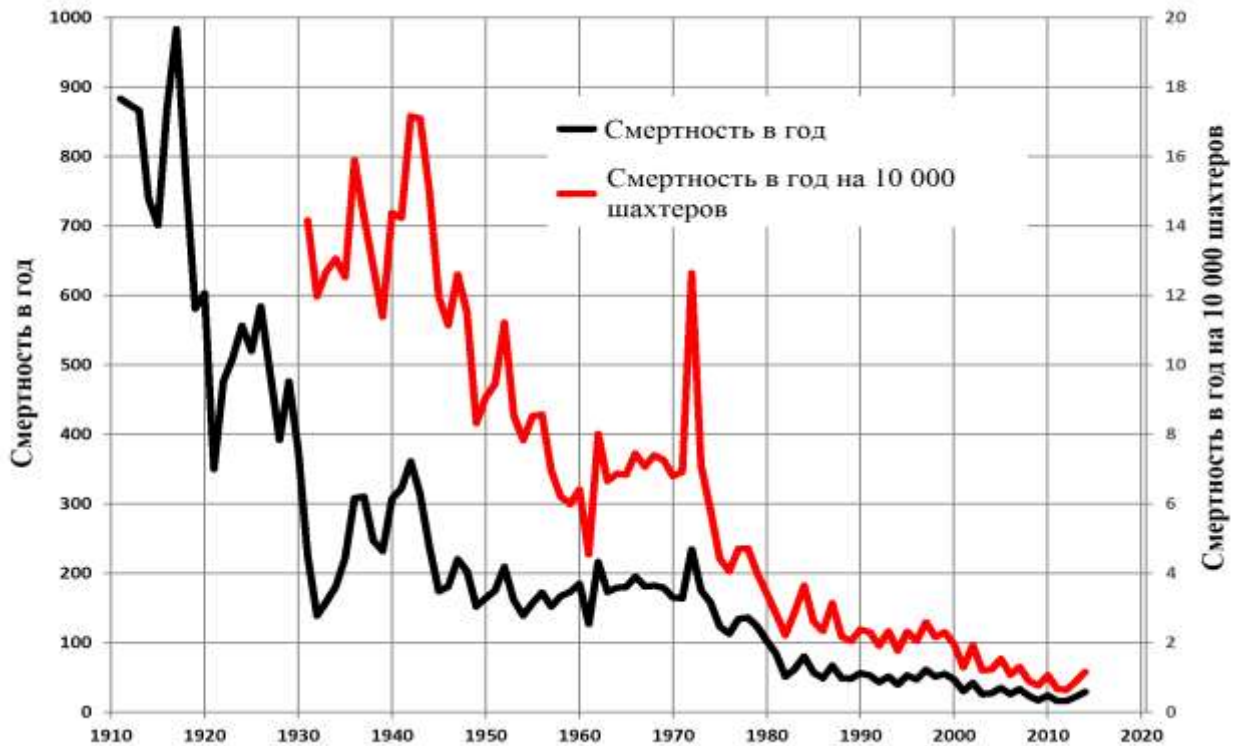


Рисунок 1.11 – Динамика смертельного травматизма при добычи угля в США [89]

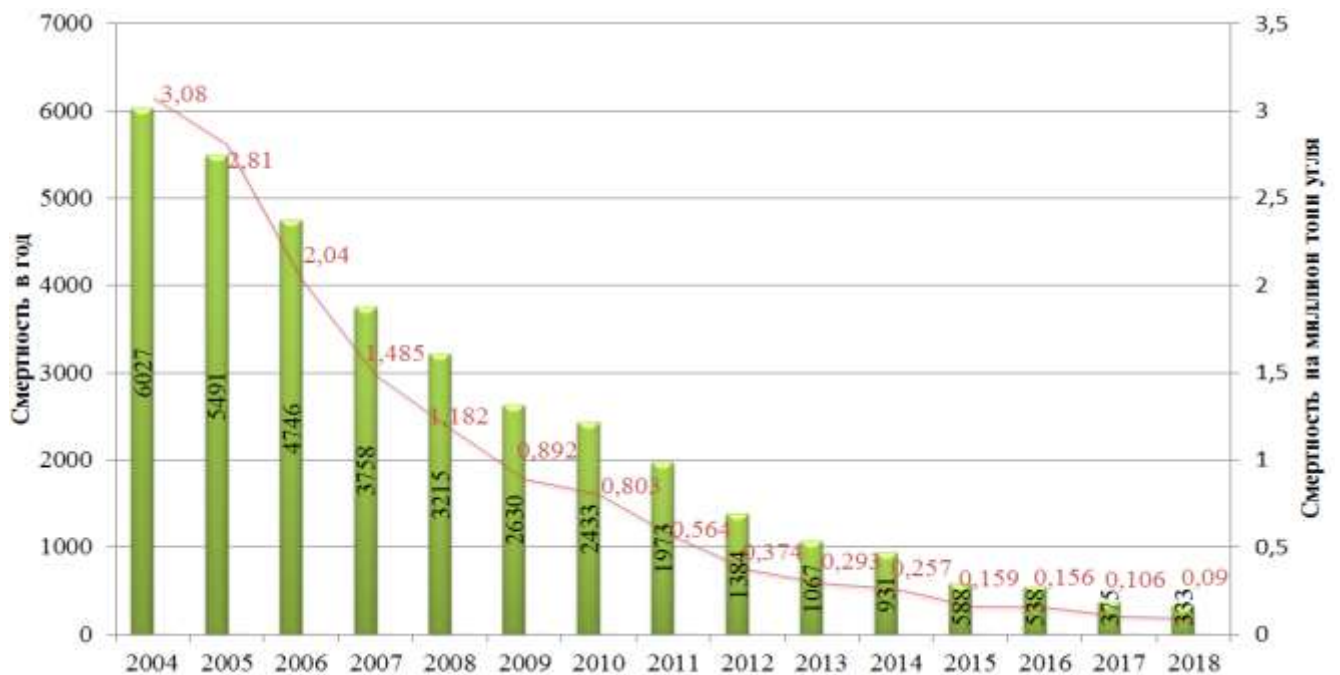


Рисунок 1.12 – Динамика смертельного травматизма при добычи угля в Китае [85, 86, 87]

Выработки малого сечения в экстремальных условиях на сегодняшний день проводят вручную. Отсутствие механизации трудоемких работ при проведении выработок малого сечения в экстремальных условиях ставит задачу создания эффективных и мобильных средств механизации для проходки таких выработок в различных горно-геологических условиях.

Анализ конструкций комплексов и оборудования для проведения выработок малого сечения в экстремальных условиях

При проведении выработок малого сечения в экстремальных условиях, проходке завалов, а также креплении обрушенных выработок помимо стандартного комплекта оснащения (противотеплового, противогазового и др.) используют гидравлические инструменты (рисунок 1.13) [7, 11, 12, 17, 28, 67].



Рисунок 1.13 – Гидравлические инструменты: 1 резак комбинированный; 2 маслостанция; 3 домкрат; 4 гидравлические рукава высокого давления; 5 расширитель гидравлический; 6 цилиндр гидравлический одноштоковый; 7 маслостанция

В настоящее время отечественными и зарубежными специалистами ведется разработка беспроводных машин-роботов (рисунок 1.14), оснащенных различными газовыми датчиками и камерами для улучшения видимости даже в условиях крайне слабого освещения, использование которых на первом этапе проходки выработок малого сечения в экстремальных условиях увеличило бы эффективность горнопроходческих работ. Кроме того, наличие машин-роботов значительно уменьшило бы трудоёмкость и опасность ведения проходческих работ, особенно в угольных шахтах, где высока вероятность присутствия взрывоопасных газов, а также возможного обрушения кровли выработок.

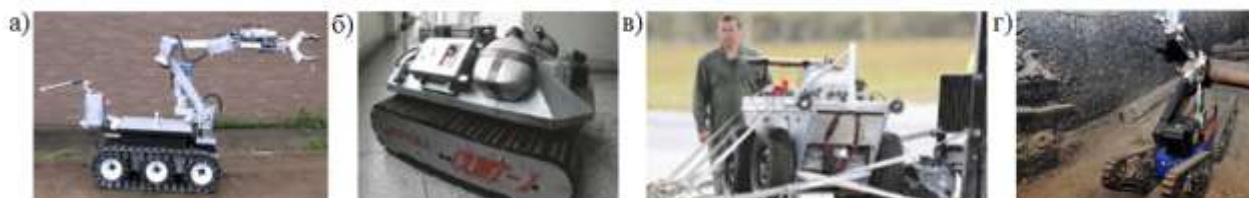


Рисунок 1.14 – Конструкции машин: а) Wolverine V2; б) CUMT-1; в) робот “Western AustraliaWater”; д) разведочный робот

Первый в мире робот для шахтных условий разработали в 1998 году в США. Робот оснащен датчиком обнаружения газа, инфракрасной камерой, гироскопом и радиочастотным приемо-передатчиком сигнала, но из-за

недостаточно развитого управляющего оборудования, дистанция его работы составляла всего 76 м [105].

В 2001 году для угольных шахт США “Remotec” был разработан и изготовлен робот “ANDROS Wolverine V2” [94, 105] (рисунок 1.14, а).

Робот, весом 550 кг, перемещался на гусеничном ходу и был оснащен навигационными и контрольными камерами с подсветкой, ночным видением, двусторонней голосовой связью и манипулятором. Робот “V2” управлялся дистанционно в реальном времени с расстояния до 1,5 км. Однако, в 2006 году при использовании робота “V2” [97, 105] в шахтных условиях он увяз в грунте из-за несовершенства ходового оборудования после прохождения 790 метров.

Первый робот для угольных шахт в Китае “CUMT-I” был разработан китайским университетом горного дела и технологии в 2006 году (рисунок 1.14, б) [101].

Ни “RATLER”, ни “CUMT-I” не были применены в условиях шахт из-за сложнейших экстремальных условий в разрушенных подземных выработках.

19 ноября 2010 года в результате взрыва газа на угольной шахте “Parker River” были использованы роботы с дифференциальным рулевым управлением “Western AustraliaWater” [105].

Роботизированную технику в России начали применять на угольных шахтах в экстремальных условиях с 2016 г. (рисунок 1.14, г) для проведения визуальной разведки с дистанции 1 км. Используемые роботы были оснащены камерами, датчиками газа и другим измерительным оборудованием, но их использование ограничивалось возможностями ходового оборудования, поскольку осуществление передвижения в шахте после обрушения пород кровли не представлялось возможным.

Требования к машинам-роботам достаточно высоки, они обуславливаются экстремальными горно-геологическими условиями угольных шахт. Машины должны соответствовать строгим требованиям безопасности, иметь взрывозащищенное исполнение [102, 104, 105], дистанционное управление, автономность действия и др.

Все указанные выше работы (рисунки 1.14, а – г) предназначены для сбора информации и могли бы использоваться на первом этапе проходки выработок малого сечения в экстремальных условиях, например, при проведении выработок с целью высвобождения заблокированных шахтеров в шахтах.

С целью обеспечения проведения выработок малого сечения в экстремальных условиях и уменьшения травмоопасных ситуаций ученые разрабатывают различные варианты комплексов горных машин.

Эллер А.Ф., Пушкина Н.Б. разработали агрегат для проведения выработок по завалу, содержащий «проходческую машину с винтоповоротным механизмом, крепь в виде упругой полосы, сложенной в телескопическую спираль, и блок приводов. Витки телескопической крепи при выдвигении проворачиваются» (рисунок 1.15) [51, 53].

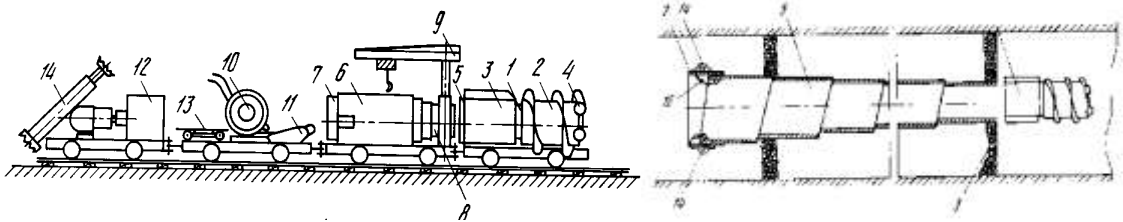


Рисунок 1.15 - Общая схема агрегата для проведения выработок по завалу

Указный агрегат имеет недостатки: устройство не может работать по неразрешенному массиву, по массиву включающему твердые включения, кроме того конструктивные особенности телескопической крепи ограничивают длину выработки.

Поповичем А.А. и др. предложен способ и устройство для строительства ходков малого сечения по шахтным завалам в массивах с нарушенной сплошностью пород (рисунок 1.16). «Корпус устройства состоит из внедряемых в завал заостренных пластин, которые перемещаются силовыми гидродомкратами, а также става обсадной крепи с приводом» [1, 53].

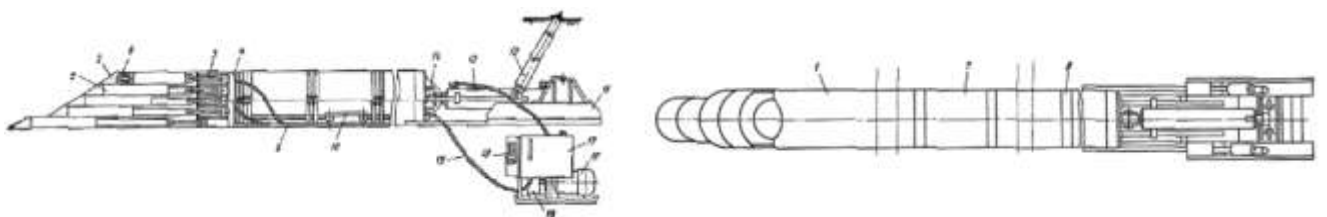


Рисунок 1.16 - Общая схема устройства для проведения выработок по завалу

«Недостатком является невозможность использования данного устройства в породах с высокой крепостью и по массивам без нарушения сплошности пород» [53].

1.2 Анализ конструкций проходческих комплексов для проведения выработок малого сечения в условиях шахт и рудников

Проходческий комбайн 4ПУ массой 10,5 т предназначен для проведения горизонтальных и наклонных (до 10 град) выработок малого сечения ($4-8,2 \text{ м}^2$) по породе крепостью $f < 4$. Проходческий комбайн 4ПУ (рисунок 1.17) обработку поверхности забоя производит стреловидным исполнительным органом с резцовой коронкой, транспортировка породы обеспечивается нагребными лапами и скребковым перегружателем.

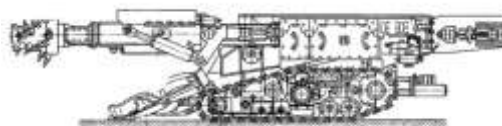


Рисунок 1.17 – Проходческий комбайн 4ПУ

Недостатком комбайна является ограничение работы по породам высокой крепости (коэффициент крепости $f < 4$), а также отсутствие средств крепления кровли выработки над комбайном, что ограничивает его использование в выработках с неустойчивой кровлей и боками.

ЦНИИподземмаш совместно с шахтой «Нагорная» разработали проходческо-нарезной комбайновый комплекс КН-5 (рисунок 1.18), обеспечивающий механизацию всех горнопроходческих операций при проведении выработок длиной более 150 м, сечением в проходке $7-13 \text{ м}^2$ с углом наклона $\pm 10^\circ$; выработки проводятся прямоугольной формы с плоской кровлей по углю и по углю с прической породы с коэффициентом крепости f до 4 [40].

Комплекс КН-5 осуществляет одновременно отбойку и погрузку горной массы, а также возведение временной и постоянной крепи. Возведение постоянной крепи механизировано, при этом затяжка осуществляется автоматически по мере передвижения комплекса, а бурение шпуров под анкеры производится бурильными машинами, установленными на манипуляторах в

хвостовой части комплекса. Применение сетки для затяжки кровли повышает безопасность работ, так как ликвидируется незакрепленное пространство между перекрытиями комплекса, выполняющими функции временной крепи, и постоянной крепью [40].

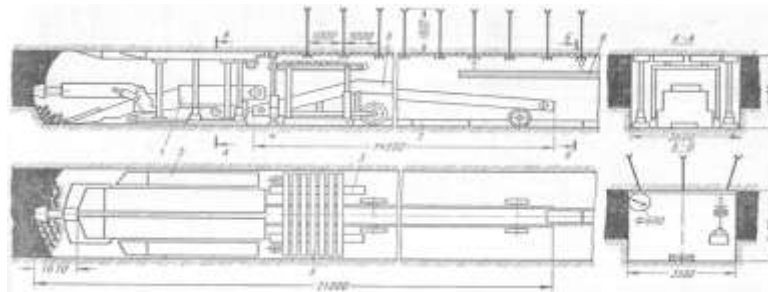


Рисунок 1.18 – Технологическая схема организации работ по проведению выработки комплексом КН-5: 1 – проходческий комбайн; 2 – левая и правая секция крепи (на базе очистной механизированной крепи 2М87); 3 – крепеукладчик; 4 – бурильная установка для анкерования; 5 – верхняк; 6 – перегружатель; 7 – скребковый конвейер; 8 – монорельс [40]

Недостатком комплекса является ограничение работы по породам высокой крепости (коэффициент крепости $f \leq 4$), довольно значительные габариты комплекса, которые многократно увеличивают время монтажно-демонтажных работ, что приводит к увеличению времени проходки сбойки.

Разработкой конструкции проходческой машины нового класса занимались такие ученые, как: Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Капустин А.Н., Ефременков А.Б. и др. На рисунке 1.19 показана конструкция гехода, движущегося в подземных условиях, посредством использования геосреды [62].

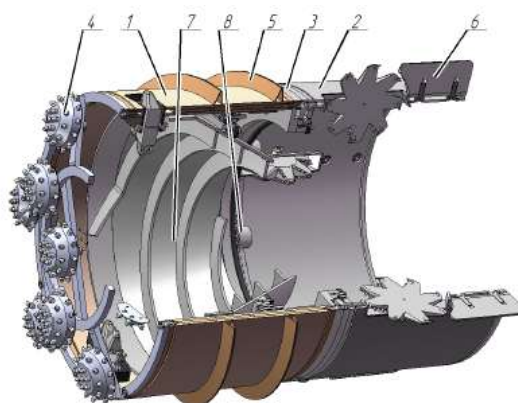


Рисунок 1.19 – Конструкция гехода: «1 – головная секция, 2 – стабилизирующая (хвостовая) секция, 3 – узел сопряжения секций, 4 – исполнительный орган разрушения забоя, 5 – внешний движитель с исполнительными органами, 6 – элементы противовращения с исполнительными органами, 7 – погрузочно-транспортная система, 8 – трансмиссия» [62]

Недостатками применения разработанной конструкции геодода при проведении проходческих работ являются значительная масса и габариты частей машины, которые повышают трудоемкость монтажно-демонтажных работ и операций по транспортировке к месту начала проходки выработки. При запуске геодода необходимо также использовать дополнительное стартовое устройство для обеспечения подачи на забой и уменьшения радиальных смещений при входе в горный массив, что ведет к увеличению сроков проходческих операций [34, 47, 62].

Разработкой конструкции проходческих машин для проведения выработок малого сечения занимается зарубежная фирма Sandvik. Проходческая машина Vortex Bore MD320 Trackbound (рисунок 1.20) весом 12 т предназначена для бурения восстающих вертикальных или наклонных выработок круглого сечения (1600 мм) по породам высокой крепости, длиной до 100 м и под углом до 70 градусов. Проходческая машина имеет компактное исполнение и позволяет проводить выработки малого сечения при сооружении ходков, рудоспусков, вентиляционных выработок, а также выработок для эвакуации заблокированных шахтеров [95].



Рисунок 1.20 – Проходческая машина Vortex Bore MD320 Trackbound

Недостатком применения разработанной конструкции проходческой машины при проведении проходческих работ являются: отсутствие оборудования, осуществляющего транспортирование породы; отсутствие средств крепления пройденной выработки, например, при проходке в массивах пород низкой крепости; невозможность проведения горизонтальных выработок.

Совершенствование проходческих комплексов для проведения выработок малого сечения с каждым годом ускоряет свой темп [90, 92, 99]. Проанализировав ручное оборудование, машины для разведки труднодоступных участков шахт, а также конструкции комплексов и устройств для проходки выработок малого сечения, можно сделать вывод о необходимости разработки конструктивно-технического решения проходческого комплекса, основанного на следующих принципах:

- весь комплекс должен состоять из быстро сборных узлов облегченного типа, транспортировку и сборку которых осуществляют 1-4 горнорабочих;
- скорость проходки выработки проходческим комплексом должна быть выше, чем при проведении выработки ручным способом;
- использование эффективных способов разрушения забоя сменными исполнительными органами для отбойки пород различной крепости;
- наличие механизированной крепи для удержания кровли и боков выработки над проходческим оборудованием;
- использование специального быстро раскладываемого комплекта рам для креплений пройденной выработки.

1.3 Анализ теоретических исследований процессов машин проходческих комплексов

На основе представленного выше анализа конструкций проходческих машин и комплексов для проведения выработок малого сечения обоснование компоновки проходческого комплекса может осуществляться с помощью, например, морфологического анализа [48] или методами определения рациональных параметров исполнительных органов машин комплексов.

При этом необходимо исследовать призабойное пространство проходческой выработки, где располагается рабочее оборудование, для определения условий работы исполнительных органов машин проходческого комплекса и повышения скорости проведения выработки малого сечения.

В качестве исполнительного органа проходческого комплекса могут применяться:

- резцовая коронка (проходческие работы ведутся по углю или по породам с $f \leq 6-8$) [19];
- гидравлические или гидропневматические ударные устройства (проходческие работы ведутся по породам с $f \leq 6-18$);
- гидравлические ножницы, бетонолом, дисковая пила (для разрезания стальных препятствий при проведении проходческих работ).

Использование сменных исполнительных органов в составе проходческого комплекса позволит увеличить производительность обработки забоя и расширит область использования комплекса в выработках с породами различной крепости.

1.3.1 Анализ стреловидных исполнительных органов избирательного действия

В настоящее время выпускаются корончатые, дисковые или комбинированные исполнительные органы проходческих комбайнов. Конические коронки (рисунок 1.21, а) являются основным исполнительным органом на стреловидных проходческих комбайнах избирательного действия [29].

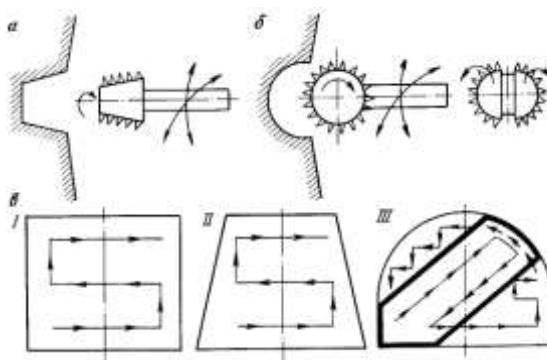


Рисунок 1.21 – Схемы исполнительных органов комбайнов избирательного действия: а) коническая коронка; б) аксиальная коронка; в) порядок обработки забоя

Известны коронки сферической формы, с вращающимися в разные стороны полушариями (рисунок 1.21, б), смонтированные на перемещающейся в горизонтальной и вертикальной плоскостях стреле. Разнонаправленное вращение полушарий сферической коронки усложняет трансмиссию привода коронки, но

уравновешивает крутящие моменты на исполнительном органе, это важно для обеспечения устойчивости комбайнов.

Комбайнами, с указанными выше исполнительными органами, могут проходиться выработки прямоугольного (схема I, рисунок 1.21, в), трапецеидального (схема II, рисунок 1.21, в) и арочного (схема III, рисунок 1.21, в) сечений. Обработка забоя, как правило, требует зарубки коронки в левый нижний угол выработки, затем перемещениями по горизонтальной и вертикальной плоскостям осуществляется разрушение всей площади забоя на выбранную глубину зарубки коронки. Конкретная траектория перемещения коронки выбирается в зависимости от направления трещин и кливажа забоя [29].

Достоинствами стреловидных исполнительных органов являются:

- возможность селективной выемки полезного ископаемого;
- высокая производительность при обработке мягких пород (уголь);
- относительно небольшие размеры и масса коронок.

Однако, значительным недостатком исполнительных органов избирательного действия является ограничение по крепости породы $f \leq 6-8$ [19], поэтому разрушение крепких пород (грунтов, твердых включений) целесообразно осуществлять ударными исполнительными органами.

Анализ методик расчета исполнительных органов избирательного действия

Непостоянство горно-геологических условий отрицательно влияет на конструкцию исполнительного органа и машины в целом, основная роль отводится уменьшению динамических нагрузок (вибраций) как на режущий инструмент коронки, так и на ротор электродвигателя, чтобы уменьшить перегрев основных частей и увеличить временной ресурс работы машины.

Важную роль в устранении этих недостатков играет схема набора резцов на исполнительном органе.

Рациональная схема размещения резцов на корончатом исполнительном органе

Для выравнивания нагрузки на корончатом исполнительном органе необходимо обеспечить формирование равномерной нагрузки на каждом резце коронки посредством расстановки резцов с равным линейным шагом и числом

резцов в линии резания. Необходимо руководствоваться тем, что величина момента на коронке должна оставаться постоянной при любом значении угла ее поворота [70, 20, 58].

Как видно из схемы расстановки резцов на коронке (рисунок 1.22, а), при разрушении забоя правой частью коронки в работе находятся резцы с номерами 1–6 и 12–13, т. е. восемь резцов, а при резании справа налево – пять (7–11). В этом случае нагружение коронки неравномерно по напорным усилиям. Устранение этого недостатка схемы набора резцов может быть осуществлено переходом от одновитковой схемы к многовитковой (рисунок 1.22, б). Она позволяет равномерно разместить резцы по боковой поверхности коронки и тем самым выровнять нагрузку и по напорным усилиям [70, 20].

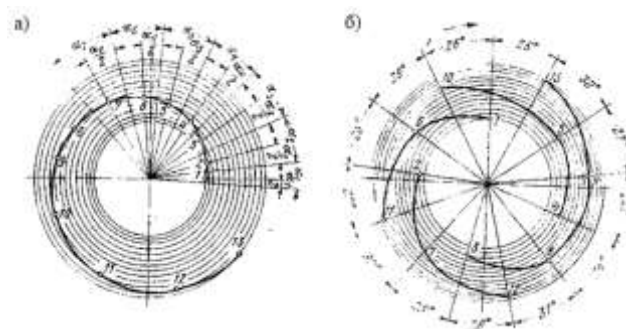


Рисунок 1.22 – Схема набора резцов на исполнительном органе проходческого комбайна избирательного типа: а – одновитковая; б – многовитковая

Выравнивание нагрузки на коронке за один оборот приводит как к значимому приросту технической производительности комбайна за счет снижения динамики работы коронки и повышению устойчивости комбайна, так и возможности корректного и эффективного потребления мощности привода, а также повышению срока службы узлов, приводов и всего комбайна в целом.

1.3.2 Анализ исполнительных органов ударного действия

При проведении подземных проходческих выработок малого сечения значительный объем энергоемких работ составляет разрушение крепких пород (грунтов, твердых включений и др.). В качестве исполнительных органов проходческого комплекса для разработки забоев, состоящих из крепких пород, могут использоваться гидро- или пневматические ударники, которые

монтируются на стреле комбайна или на манипуляторе технологической машины [74].

Предел прочности породы на сжатие или крепость породы по шкале Протодьяконова f , а также трещиноватость массива, в основном определяют возможность применения проходческих комбайнов с ударным исполнительным органом [63].

Отечественными и зарубежными предприятиями освоено производство машин ударного или ударно-поворотного действия с широкой областью применения: дробление негабаритов, рыхление и разрушение массивов пород (в том числе крепких пород), зачистка заколов на кровле, ремонт горных выработок и тоннелей) [74, 79, 75].

Машины ударного действия в сравнении с комбайнами избирательного действия имеют ряд преимуществ [4, 23, 27, 35, 59, 72, 73, 75, 76, 77, 79]:

- разрушение более крепких пород;
- снижение запыленности воздуха в призабойном пространстве;
- снижение времени обработки забоя и стоимости проходки горной выработки;
- снижение веса и габаритов исполнительного органа.

Однако использовать машины ударного действия по породам низкой крепости не рационально, так как машина с избирательным исполнительным органом обеспечивает на порядок большую производительность и, как следствие, сокращает время обработки забоя при проведении выработки.

Использование сменных исполнительных органов при различных горно-геологических условиях позволило бы существенно увеличить производительность отбойки и свести к минимуму время обработки забоя при проведении проходческих работ.

Для заданных горно-геологических условий выбор режима разработки забоя и обоснование типа ударника определяются с учетом показателей, влияющих на скорость отбойки породы и время выполнения вспомогательных операций [26, 42, 61].

У пневмо- и гидроударников скорость отбойки породы определяется [27, 41, 42, 43, 56, 57, 61, 84]:

$$V = 4A_{уд} F_{ц} / (\pi d^2 (\operatorname{tg}(\alpha/2) + \mu) \cdot \sigma_{ск} K_{зат}), \quad (1.1)$$

где $\sigma_{ск} = K_{\sigma} \sigma_{сж}$, а $K_{\sigma} = 0,25 \cdot (1 - (\sigma_{сж} - 50)/1000)$, $\sigma_{сж} = 10f$ (f – коэффициент крепости пород; d – наружный диаметр инструмента, м; α – угол заострения инструмента (долота), град; μ – коэффициент трения лезвия инструмента о породу; $K_{зат}$ – допускаемый коэффициент затупления; $\sigma_{сж}$ – максимальное значения прочности породы на сжатие, Н/м². Указанная формула сложна в использовании и не учитывает частоту ударов.

Барон Л.И. и Родионов Н.С. предлагают определять механическую скорость отбойки V_T (мм/мин) гидро- и пневмоударниками по формуле [31]:

$$V_T = K \frac{A n_{п}}{D_K} \sqrt{V_d}, \quad (1.2)$$

где A – энергия удара, Дж; $n_{п}$ – число ударов поршня, уд/мин; D_K – диаметр инструмента, мм; V_d – показатель дробимости, K – коэффициент, выбирается в зависимости от свойств породы.

Указанная формула содержит эмпирические показатели и может иметь большой разброс значений.

1.4 Анализ тяговых усилий при перемещении частей комплекса

Временное поддержание кровли выработки над проходческим оборудованием может обеспечиваться механизированной шагающей крепью, одновременно являющейся ходовым оборудованием комплекса.

Методики тягового расчета распорно-шагающего комплекса

Основы методики тягового расчета представлены для распорно-шагающего комплекса КН-5Н (рисунок 1.23) и имеют ряд особенностей конструкции, определяемых, в частности, необходимостью проведения выработок с существенным (до + 35°) наклоном [19].

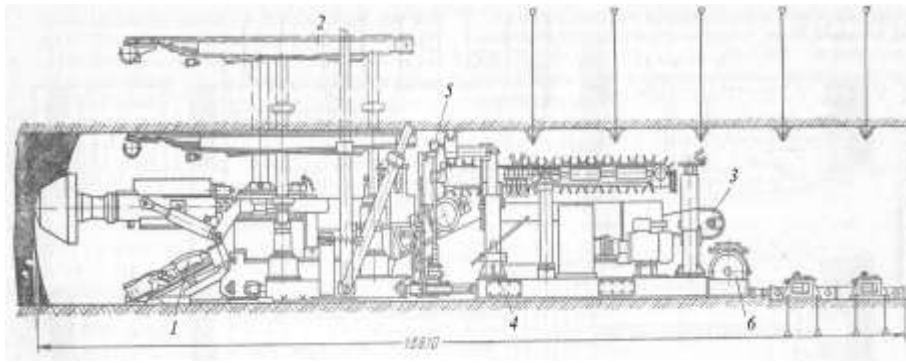


Рисунок 1.23 – Общая схема комбайнового комплекса КН-5Н [40]: 1 – проходческий комбайн; 2 – распорно-шагающая крепь; 3 – конвейер ленточный; 4 – крепильщик; 5 – оборудование для возведения анкерной крепи; 6 – электрооборудование

Каждая из перемещаемых попеременно частей комплекса либо опирается при перемещении на почву выработки, либо имеет самостоятельный распор. Центральная секция комплекса может перемещаться как без внедрения, так и с внедрением коронки в забой. Одновременно с центральной секцией комплекса перемещается конвейер с установленным на нем оборудованием для возведения постоянной крепи [19, 40].

Основания центральной секции и опора конвейера имеют гладкие поверхности скольжения по почве выработки. Опорные лыжи боковых секций оснащены шипами для создания большей устойчивости при их распоре. Дополнительные сопротивления перемещению возникают на носке питателя и от натяжения предохранительной сетки. Поэтому формулы, определяющие необходимые усилия перемещения центральной и боковых секций комплекса КН-5Н, соответственно имеют вид [19, 33, 40, 69]:

$$F_T = G_0(\mu \cos \beta + \sin \beta) + P_H + P_C; \quad (1.3)$$

$$F'_T = G_0(\mu' \cos \beta + \sin \beta), \quad (1.4)$$

где G_0 – вес центральной секции комплекса, а также конвейера, бурильных установок и другого оборудования, опирающегося на основания центральной секции и опору конвейера, Н; μ – коэффициент сопротивления перемещению основания (опор) центральной секции и конвейера ($\mu = 0,4 - 0,6$); β – угол наклона выработки; P_H – усилие сопротивления перемещению носка питателя, Н; P_C – усилие натяжения предохранительной сетки, Н; G_0 – вес одной боковой секции, Н.

$$G_0 + 2G_\sigma = G_\kappa \quad (1.5)$$

где G_κ – вес комплекса, Н; μ' – коэффициент сопротивления перемещению оснований боковых секций, оснащенных шипами ($\mu' = 0,7-1,3$).

Методики тягового расчета комплекса бурового действия

Комплекс бурового действия включают в себя комбайн, а также оборудование, механизмирующее процессы транспортирования горной массы и возведения постоянной крепи. Дополнительные сопротивления перемещению этого оборудования учитываются при проверке тяговой способности распорно-шагающего хода комбайна величиной усилия на крюке комбайна [19, 40]:

$$P_\kappa = G_{\text{дон}} (\mu \cos \beta + \sin \beta), \quad (1.6)$$

где $G_{\text{дон}}$ – вес оборудования комплекса, не входящего в состав комбайна, Н; μ – коэффициент сопротивления перемещению опорных поверхностей оборудования комплекса по почве выработки; β – угол наклона выработки.

Недостатком методики тягового расчета распорно-шагающего комплекса является то, что в данной методике не учитывается воздействие на крепь вертикальных и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки, также не учитывается влияние изменения крепости пород при расчете тягового усилия.

Математическая модель механизированной крепи зоны обрушения

Рогов Ю.И. в работе [68] моделировал параметры механизированной крепи зоны обрушения «МКЗО» (рисунок 1.24) для определения функциональных зависимостей скорости крепления от:

$$v_{кр} = f(D, D_1); v_{кр} = f(TЗ); v_{кр} = f(K_T); v_{кр} = f(G_1, G_2); v_{кр} = f(B),$$

где D, D_1 – диаметры гидроцилиндров; $TЗ$ – время простоя (паузы); K_T – коэффициент сопротивления выдвиганию секции крепи (учитывает силу трения основания секции по почве); G_1, G_2 – вес передней и задней частей секции крепи; B – шаг передвижки.

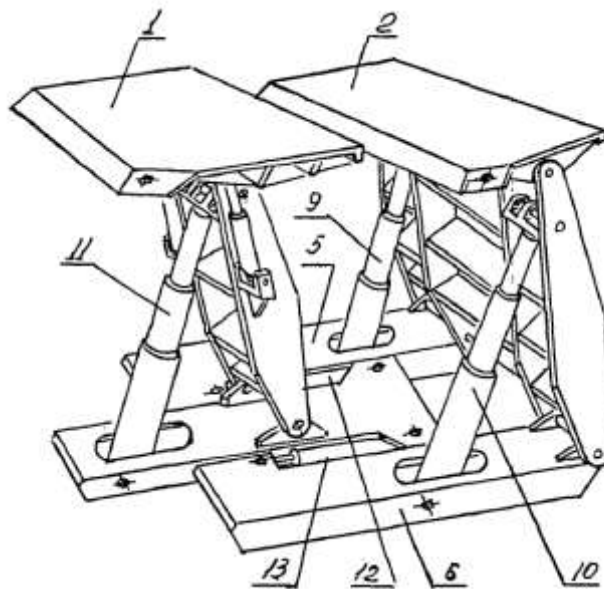


Рисунок 1.24 – Общий вид крепи МКЗО [68]: 1, 2 – козырьки перекрытия секции; 5, 6 – боковые лыжи; 9, 10 – задние гидростойки крепи; 11 – передняя гидростойка крепи; 12, 13 – гидродомкраты передвижки

Из результатов моделирования следует (рисунок 1.25, кривая 1), что коэффициент сопротивления выдвигению секции крепи K_T оказывает незначительное влияние на величину скорости крепления ($v_{кр}$) и времени передвижки секции, а при значительном увеличении K_T начинается нелинейное уменьшение $v_{кр}$.

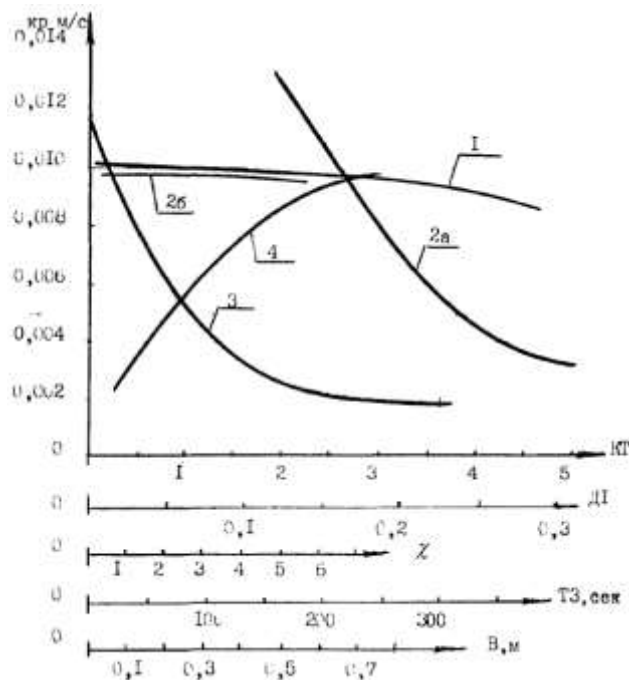


Рисунок 1.25 – Изменение зависимости скорости крепления от параметров крепи [68]: коэффициента сопротивления передвижки секции (K_T); диаметра цилиндра, штока (D_1); соотношения весов частей секции (χ); времени простоя (T_3); шага передвижки (B)

В работе Рогова Ю.И. коэффициент сопротивления выдвиганию секции крепи использовался при определении давления от активной нагрузки и составлял $K_T = 0 - 5$. Значения интервала коэффициента сопротивления выдвиганию секции крепи недостаточно информативно освещены в работе, непонятна область его использования, а также его физическая сущность. Не учтено влияние горного массива на перекрытия крепи, действующего со стороны кровли и боков выработки.

1.5 Имитационное моделирование пооперационной трудоемкости

В диссертации Вороновой Э.Ю. [45] приводятся результаты имитационного моделирования при исследовании изменения пооперационной трудоемкости и скорости проходки, при выполнении операций цикла (рисунок 1.26 – 1.27).

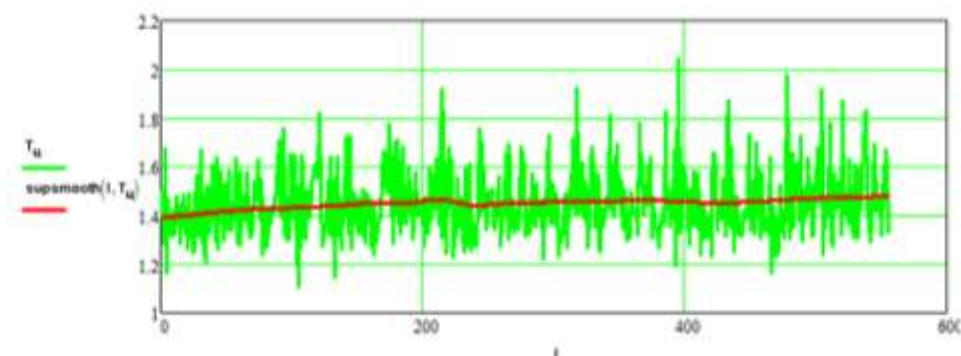


Рисунок 1.26 – Изменение трудоемкости выполнения операций циклов

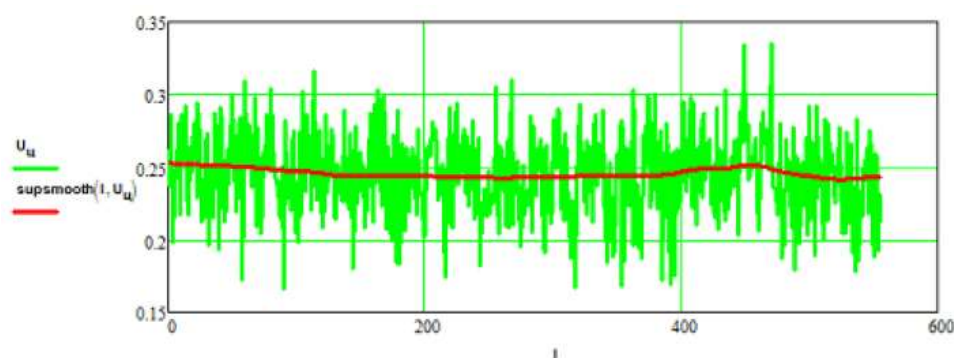


Рисунок 1.27 – Изменение скорости проходки по циклам

Однако в данной работе подробные силовые расчеты приведены только для проходческого взрывонавалочного комплекса, а для машин, обрабатывающих забой, в основном, используются показатели из хронометражных или нормированных данных. Имитационная модель хорошо доказывает связь

операционных параметров при сравнении продолжительности по циклам, но не учитывает каждую операцию цикла проходки, в частности по обработке забоя.

Выводы по первой главе

1. Отсутствие механизации трудоемких работ при проведении выработок малого сечения ставит задачу создания эффективных и мобильных средств механизации для проходки таких выработок в различных по крепости породах и устойчивости кровлях.

2. Приведенный обзор существующих комплексов для проведения проходческих выработок малого сечения, реализованных в горной промышленности, показывает, что вопросы по повышению скорости проведения проходческих выработок путем совмещения основных операций цикла проходки, освещены слабо и недостаточно изучены.

3. Несмотря на наличие научных исследований по механизации проходческих работ при проведении выработок малого сечения, в настоящее время недостаточно освещены вопросы, связанные с оценкой влияния нагрузок, действующих на конструкции проходческих комплексов со стороны прилегающих пород выработки при проходке в породах различной крепости и кровлях различной устойчивости для обоснования параметров силового оборудования проходческого комплекса.

4. Разработке комплексов для проходки по породам с широким диапазоном крепости уделено недостаточно внимания, что требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Задачи исследования:

1. Проведение теоретических исследований по выявлению закономерностей изменения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи от воздействия внешних нагрузок при его пошаговом перемещении в различных по крепости породах и устойчивости кровлям и разработке алгоритма функционирования комплекса при проведении выработки малого сечения.

2. Создать экспериментальный стенд и провести экспериментальные исследования для определения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи при передвижки его частей в зависимости от схемы нагружения модели комплекса в массиве.

3. Провести моделирование функционирования машин проходческого комплекса на основе имитационной модели при скоростной проходке выработки малого сечения по породам различной крепости и кровлям различной устойчивости с учетом параллельных и последовательных процессов проходческого цикла.

4. Разработать методику расчета и выбора основных параметров проходческого комплекса, а также рекомендации области его применения.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В соответствии с ранее поставленной целью могут быть сформулированы задачи теоретических исследований. Основными задачами являются:

- Определение величин коэффициентов сопротивления передвижки секций шагающей крепи проходческого комплекса при различном горном давлении.
- Составление номограммы определения диаметров гидродомкратов передвижки и гидростоек шагающей крепи проходческого комплекса.
- Разработка имитационной модели процесса функционирования проходческого комплекса при проведении выработки малого сечения по породам различной крепости и кровлям различной устойчивости с совмещением процессов проходческого цикла.

2.1 Разработка схемного решения механизированного проходческого комплекса для скоростного проведения выработок малого сечения в массивах пород различной крепости и кровлях различной устойчивости

В настоящее время большинство выработок малого сечения проводят вручную, что ограничивает скорость проходки и подвергает шахтеров высокому риску при их нахождении вблизи призабойного пространства, а существующие горные машины и оборудование, используемые при проходческих работах в шахтных условиях, имеют крупные габариты и не позволяют обеспечивать проходку выработок малого сечения.

С целью механизации трудоемких работ и уменьшения сроков проходки выработок малого сечения необходимо разработать механизированный проходческий комплекс, который в максимально короткий срок пройдет горизонтальную или наклонную выработку малого сечения.

Для обеспечения механизации процесса проходки выработки необходимо обосновать компоновку комплекса и руководствоваться при этом следующими положениями:

1. Необходимо разработать проходческое оборудование, обеспечивающее проходку эвакуационных выработок малого сечения по породам различной крепости;

2. Крепление призабойного пространства, как со стороны кровли, так и боков выработки элементами механизированного комплекса для обеспечения безопасности шахтеров и проходческого оборудования от внезапного обрушения участков массива горных пород (использование шагающей механизированной крепи МКЗО как наиболее простого способа крепления выработки) [68, 50];

3. Конструкция проходческого комплекса должна состоять из узлов, часть из которых обладает взаимозаменяемостью.

4. Процесс транспортирования отбитой от забоя горной массы целесообразно осуществлять скреперной доставкой либо конвейерным транспортом (ленточный, скребковый конвейер) [32, 64].

5. Необходимо использовать вентилятор местного проветривания для осуществления проветривания призабойного пространства выработки малого сечения с использованием вентиляционных гибких труб, монтируемых на рамной крепи [32, 64].

6. Для обеспечения крепления кровли и боков пройденной выработки необходимо использовать быстро устанавливаемую рамную крепь [32, 64].

На рисунке 2.1 показана предварительная компоновка проходческого комплекса, главной целью которого является проведение выработки малого сечения в максимально короткий срок. Отбойка породы обеспечивается проходческим оборудованием 1, шагающей крепью 2 обеспечивается крепление кровли и боков выработки над проходческим оборудованием вблизи призабойного пространства. Ленточные перегружатели 3, установленные последовательно вдоль выработки, осуществляют транспортировку отбитой от забоя горной массы. Вентилятором местного проветривания обеспечивается подача воздуха по вентиляционной гибкой трубе 4, смонтированной на рамной крепи [32, 64].

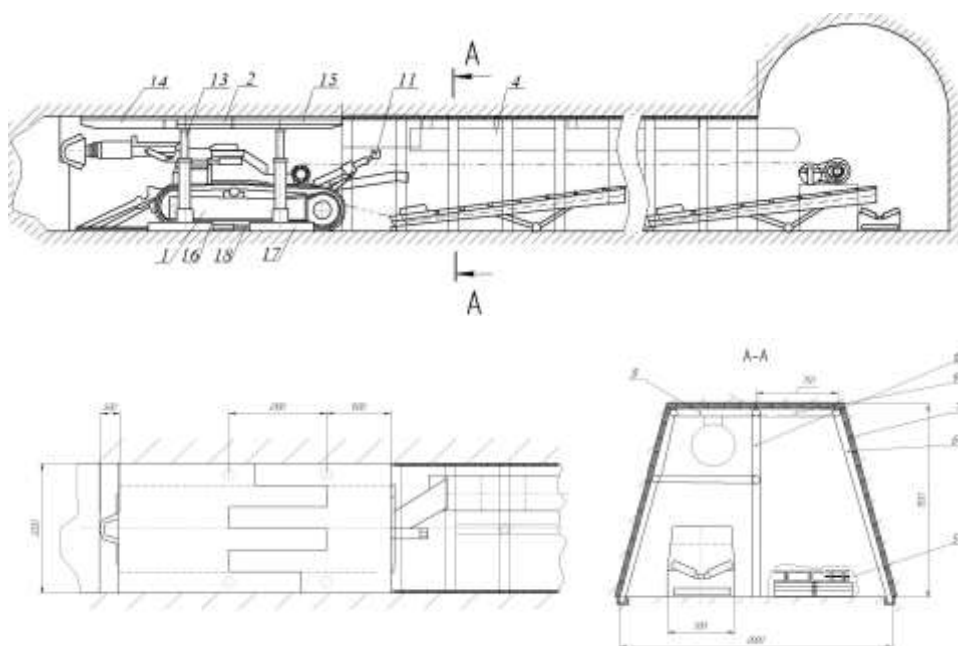


Рисунок 2.1 – Компоновка комплекса

Крепление кровли и боков пройденной выработки малого сечения обеспечивается путем установки рамной крепи 5 с затяжкой, которая транспортируется по выработке к месту установки в сложенном состоянии лебедкой проходческого комплекса. Рамная крепь состоит из боковых и центральной стоек 6, 10, верхняка 8, 9. Монтаж крепи осуществляется крепеустановщиком 11 [9, 32, 46, 53, 64, 80, 82, 83, 106].

2.2 Определение силовых и геометрических параметров гидродомкрата и гидростойки проходческого комплекса на базе шагающей крепи

Проведение выработки малого сечения изменяет напряженное состояние массива, так как столб породы над выработкой перестает иметь непосредственную опору и вес этого столба перераспределяется на соседние части массива. Вокруг выработки возникают сжимающие в стенках и растягивающие по почве и кровле напряжения (рисунок 2.2). Впоследствии это увеличивает риск внезапных вывалов пород и может привести к травмоопасным ситуациям для проходчиков, обеспечивающих проведение выработки.

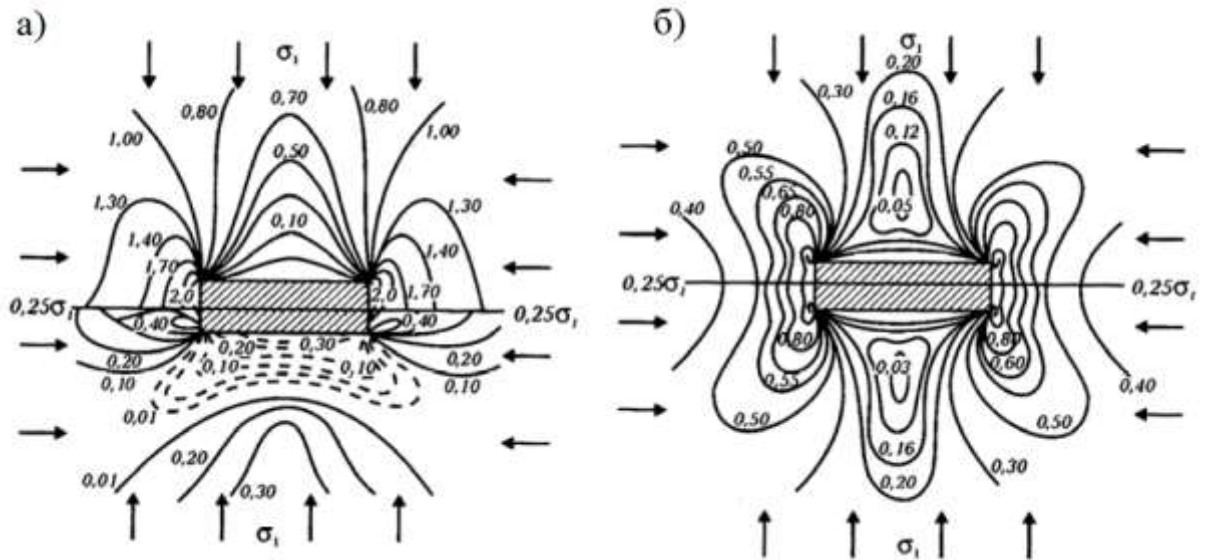


Рисунок 2.2 – Изолинии напряжений вокруг выработки прямоугольного сечения: а – нормальные; б – максимальные

При проходке горизонтальных или наклонных выработок малого сечения без использования шагающей крепи, обнаженными и незакрепленными участками массива пород являются кровля, почва и стенки выработки. Вследствие отсутствия крепления призабойного пространства вблизи контура обнажений увеличивается концентрация напряжений (σ) и в том случае, когда напряжения превосходят предел прочности пород, происходит их разрушение или пластическое течение. Область влияния выработки, вызванная перераспределением напряжений в массиве пород, зависит от формы и наибольшего линейного размера (l) сечения выработки. Наибольшая концентрация напряжений проявляется в углах выработок и вершинах впадин [38].

Во избежание разрушения незакрепленных участков массива пород у призабойного пространства при проведении проходческой выработки используется шагающая крепь, предназначенная для временного поддержания кровли над проходческим оборудованием и шахтерами, что позволит снизить травмоопасные ситуации для шахтеров, находящихся в зоне риска (рисунок 2.3) [32, 46, 53, 64, 106].

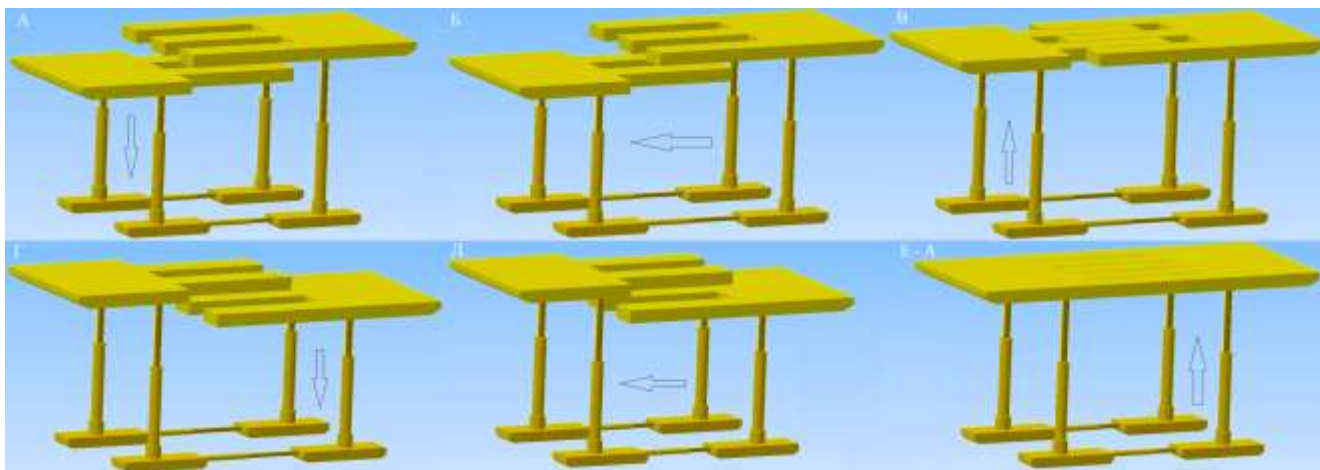


Рисунок 2.3 – «Схема шагания крепи: а – перекрытие передней части опускается; б – передняя секция выдвигается на забой; в – перекрытие передней части поднимается до упора в кровлю, г – перекрытие задней части опускается, д – задняя секция передвигается к передней части, е – перекрытие задней части поднимается до упора в кровлю» [53]

Свойства пород кровли и почвы определяют тип механизированной крепи и ее несущую способность. Для разработанной конструкции механизированной шагающей крепи проходческого комплекса необходимо составить номограммы определения диаметров гидродомкратов передвижки и гидростоек шагающей крепи при различных вариантах нагружения проходческого комплекса.

2.3 Теоретические исследования по определению параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи при передвижке

Исследования механизированной шагающей крепи, в том числе на экспериментальном стенде для определения рациональных параметров крепи (при переменных факторах крепости пород забоя, устойчивости кровли и боков выработки, а также вариантов нагружения перекрытий крепи комплекса) основаны на решении уравнения баланса сил при передвижке нагруженной секции крепи.

На рисунке 2.4 представлены варианты нагружения шагающей крепи проходческого комплекса при проходке выработки малого сечения.

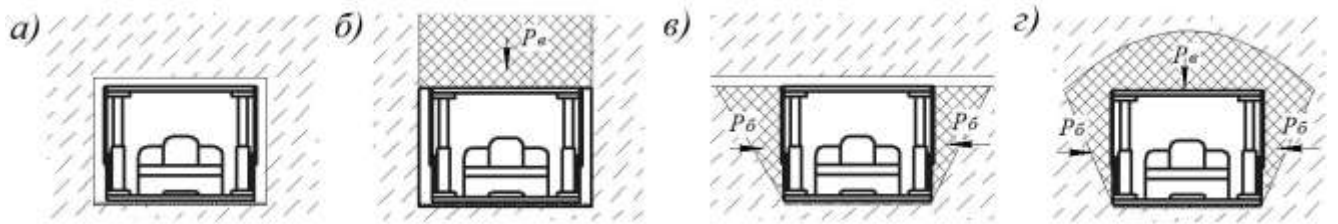


Рисунок 2.4 – Варианты нагружения шагающей крепи проходческого комплекса: а – отсутствие внешних нагрузок на шагающую крепь комплекса; б – нагружение со стороны кровли выработки; в – нагружение со стороны боков выработки; г – нагружение со стороны кровли и боков выработки

1. В простейшем случае, когда рассматривается динамический режим движения, усилие передвижки шагающей крепи проходческого комплекса в горизонтальной выработке при отсутствии нагрузки на перекрытия и стенки шагающей крепи (рисунок 2.4, а) определяется по формуле:

$$m \frac{dv}{dt} = F_T - G_{\text{шк}i} \mu, \quad (2.1)$$

где $G_{\text{шк}i}$ – вес передней или задней секции комплекса, Н; μ – коэффициент сопротивления перемещению стальных поверхностей оснований секции крепи по породе ($\mu = 0,4-0,6$).

При движении крепи в установившемся режиме с постоянной скоростью, когда ускорение $\frac{dv}{dt} = 0$, формула примет вид

$$F_T = G_{\text{шк}i} \mu \quad (2.2)$$

С учетом того, что $\mu = k_{\text{сопр}}$:

$$F_T = G_{\text{шк}i} k_{\text{сопр}}, \quad (2.3)$$

где $k_{\text{сопр}}$ – коэффициент сопротивления передвижки секции крепи проходческого комплекса ($k_{\text{сопр}} = 0,4-0,6$). (См. приложение Б, п.1).

Усилие передвижки шагающей крепи при учете наклона выработки, как указано в п. 1.4, определяется по формуле:

$$F_T = G_{\text{шк}i} (\mu \cos \beta \pm \sin \beta), \quad (2.4)$$

где β – угол наклона выработки.

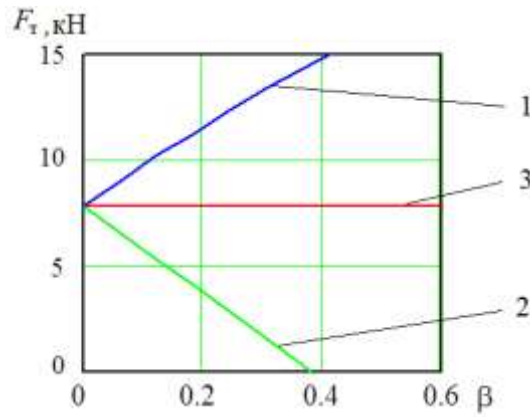


Рисунок 2.5 – График теоретической зависимости усилия передвигки шагающей крепи проходческого комплекса в выработке, при отсутствии нагрузки на перекрытия и стенки крепи в зависимости от угла наклона: 1 – при подъеме; 2 – при спуске; 3 – без наклона

2. Усилие передвигки шагающей крепи проходческого комплекса в горизонтальной выработке с учетом вертикальной нагрузки (P_v) полной массы столба породы, действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки (рисунок 2.6), определяется по формуле:

$$\begin{aligned} F_T &= G_{\text{шки}} \mu + P_v = (G_{\text{шки}} + 2G_{\text{кровли}}) \mu = (G_{\text{шки}} + 2G_{\text{шки}} k_{\text{мас}}) \mu = \\ &= G_{\text{шки}} \mu (1 + 2k_{\text{мас}}), \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $G_{\text{кровли}}$ – вес массы столба породы, действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки, Н; $k_{\text{мас}}$ – коэффициент масс

$$k_{\text{мас}} = \frac{G_{\text{кровли}}}{G_{\text{шки}}}, \quad (2.6)$$

С учетом того, что $\mu \cdot (1 + 2k_{\text{мас}}) = k_{\text{сопр}}$:

$$F_T = G_{\text{шки}} k_{\text{сопр}}, \quad (2.7)$$

где $k_{\text{сопр}}$ – коэффициент сопротивления передвигки секции крепи комплекса ($k_{\text{сопр}} = 0,5 - 3$). (См. приложение Б, п.3).

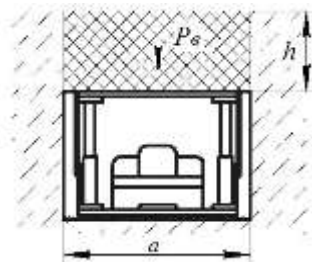


Рисунок 2.6 – Расчетная схема для определения усилия передвигки шагающей крепи проходческого комплекса при вертикальной нагрузке (P_v), действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки

Вес столба породы, при которой перекрытия шагающей крепи испытывают равномерно распределенную нагрузку со стороны кровли выработки, определяется:

$$G_{\text{кровли}} = g\rho 2alb, \text{Н} \quad (2.8)$$

где g – ускорение свободного падения ($g=9,8$ Н/кг), Н/кг; ρ – плотность пород, кг/м³; l, a, h – длина, ширина и высота обрушившегося пласта, м.

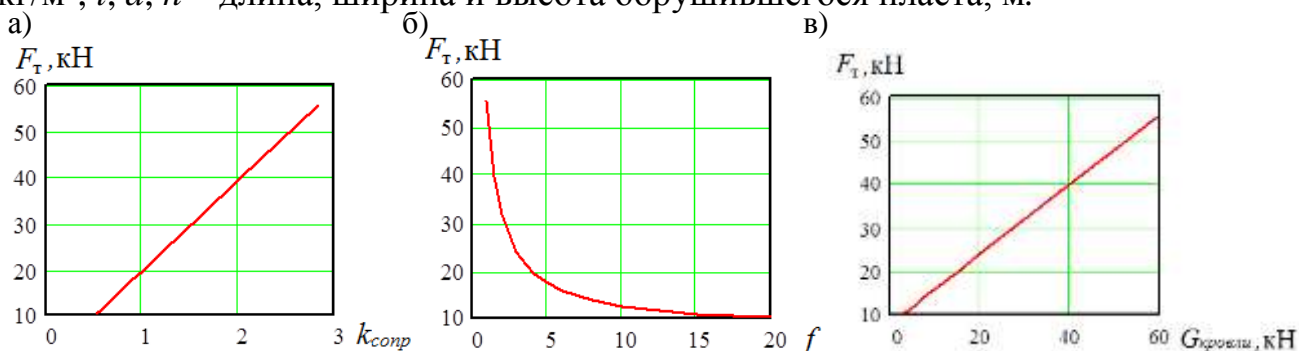


Рисунок 2.7 – График теоретической зависимости усилия передвижки шагающей крепи в горизонтальной выработке с учетом вертикальной нагрузки (P_v), действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки в зависимости от: а – коэффициента сопротивления передвижки секции крепи комплекса; б – коэффициента крепости пород по классификации М.М. Протоdjeяконова; в – веса пород, действующих на перекрытия крепи со стороны кровли выработки

3. Усилие передвижки шагающей крепи проходческого комплекса в горизонтальной выработке с учетом боковых нагрузок (P_b), действующих на боковые стенки крепи (рисунок 2.8), определяется по формуле:

$$\begin{aligned} F_T &= G_{\text{шк}i} \mu + 2P_b = G_{\text{шк}i} \mu + 2G_{\text{бок}} \mu = (G_{\text{шк}i} + 2G_{\text{шк}i} k_{\text{мас}}) \mu = \\ &= G_{\text{шк}i} \mu (1 + 2k_{\text{мас}}), \end{aligned} \quad (2.9)$$

где $G_{\text{бок}}$ – вес боковых пород, действующих на боковые стенки крепи, Н; $k_{\text{мас}}$ – коэффициент масс

$$k_{\text{мас}} = \frac{G_{\text{бок}}}{G_{\text{шк}i}}, \quad (2.10)$$

С учетом того, что $\mu \cdot (1 + 2k_{\text{мас}}) = k_{\text{сопр}}$:

$$F_T = G_{\text{шк}i} k_{\text{сопр}}, \quad (2.11)$$

где $k_{\text{сопр}}$ – коэффициент сопротивления передвижки секции крепи проходческого комплекса ($k_{\text{сопр}} = 0,4-0,85$). (См. приложение Б, п.4).

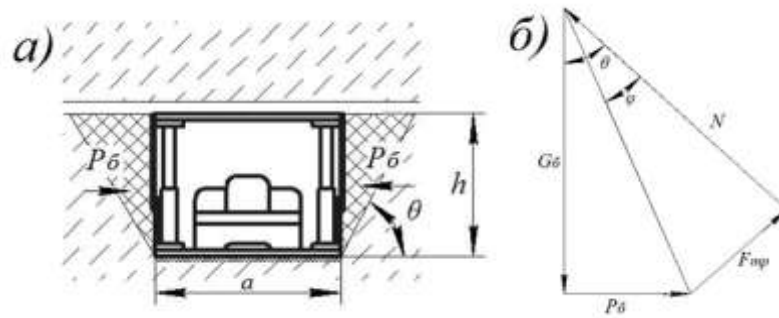


Рисунок 2.8 – Расчетная схема для определения усилия передвижки шагающей крепи проходческого комплекса при боковых нагрузках (P_6), действующих на боковые стенки шагающей крепи: а – схема нагрузок; б – многоугольник сил

Боковая нагрузка, действующая на боковые стенки шагающей крепи определяется по формуле [18, 38, 39, 71]:

$$G_{\text{бок}} = P_6 = \frac{gph^2l}{2} \operatorname{tg}^2 \theta = \frac{gph^2l}{2} \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \quad (2.12)$$

где θ – угол сползания боковых пород

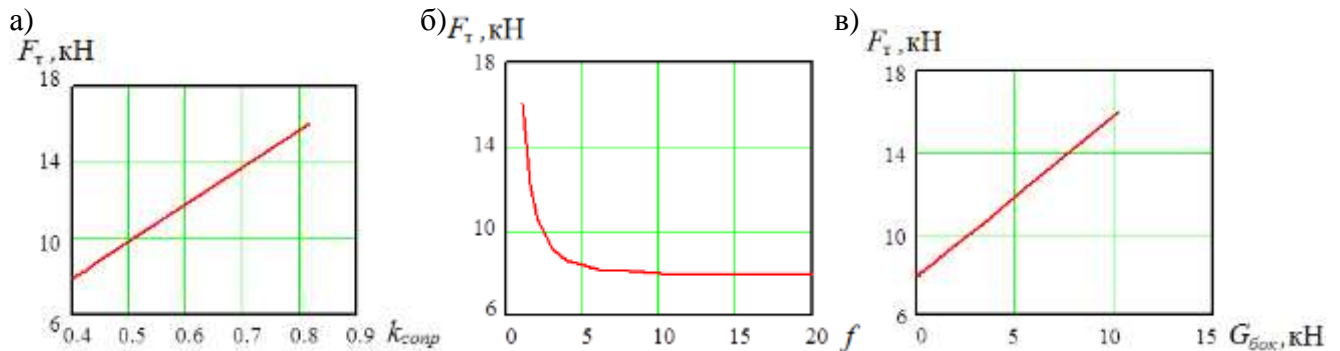


Рисунок 2.9 – График теоретической зависимости усилия передвижки шагающей крепи в горизонтальной выработке с учетом боковых нагрузок (P_6), действующих на боковые стенки шагающей крепи со стороны боков выработки в зависимости от: а – коэффициента сопротивления передвижки секции; б – коэффициента крепости пород по классификации М.М. Протождяконова; в – веса пород, действующих на боковые стенки шагающей крепи со стороны боков выработки

4. Усилие передвижки шагающей крепи проходческого комплекса в горизонтальной выработке с учетом давления со стороны кровли ($P_в$), а также боковых нагрузок (P_6), в случае образования призм сползания, действующих на боковые стенки крепи (рисунок 2.10), определяется по формуле:

$$F_T = G_{\text{шк}i} \mu + P_в + 2P_6 = (G_{\text{шк}i} + 2G_{\text{кровли}}) \mu + 2G_{\text{бок}} \mu = (G_{\text{шк}i} + 2G_{\text{шк}i} \kappa_{\text{мас}1} + 2G_{\text{шк}i} \kappa_{\text{мас}2}) \mu = G_{\text{шк}i} \mu (1 + 2\kappa_{\text{мас}1} + 2\kappa_{\text{мас}2}) \quad (2.13)$$

С учетом того, что $\mu(1 + 2\kappa_{\text{мас}1} + 2\kappa_{\text{мас}2}) = k_{\text{сопр}}$:

$$F_T = G_{\text{шк}i} k_{\text{сопр}}, \quad (2.14)$$

где $k_{\text{сопр}}$ – коэффициент сопротивления передвижки секции крепи проходческого комплекса ($k_{\text{сопр}} = 0,5-6$). (См. приложение Б, п.5).

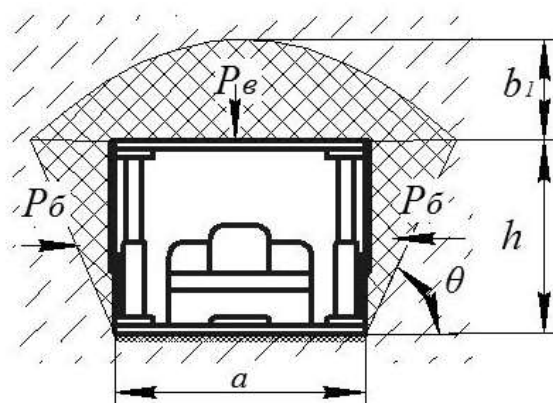


Рисунок 2.10 – Расчетная схема для определения усилия передвижки шагающей крепи проходческого комплекса с учетом нагружения со стороны кровли и боков выработки

Величина бокового давления ($P_б$) по П.М. Цимбаревичу определяются как активное давление на подпорную стенку от сползающих призм породы (рисунок 2.10) [18, 38, 39, 71]:

$$G_б = P_б = \frac{g\rho hl}{2}(2b_1 + h)tg^2\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right) \quad (2.15)$$

Давление со стороны кровли ($P_в$) в случае образования призм сползания [18, 38]:

$$G_{\text{кровли}} = P_в = g2apb_1l = g2apl\left[a + h \cdot ctg\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right)\right], \quad (2.16)$$

где $\varphi = \arctg f$ - угол внутреннего трения.

Высота свода обрушения определяется по формуле [18, 38, 39]:

$$b_1 = \frac{a_1}{f} = \frac{a + h \cdot ctg\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right)}{tg\varphi}, \quad (2.17)$$

где f – коэффициент крепости по классификации М.М. Протоdjяконова для связных пород и коэффициент внутреннего трения для мягких пород.

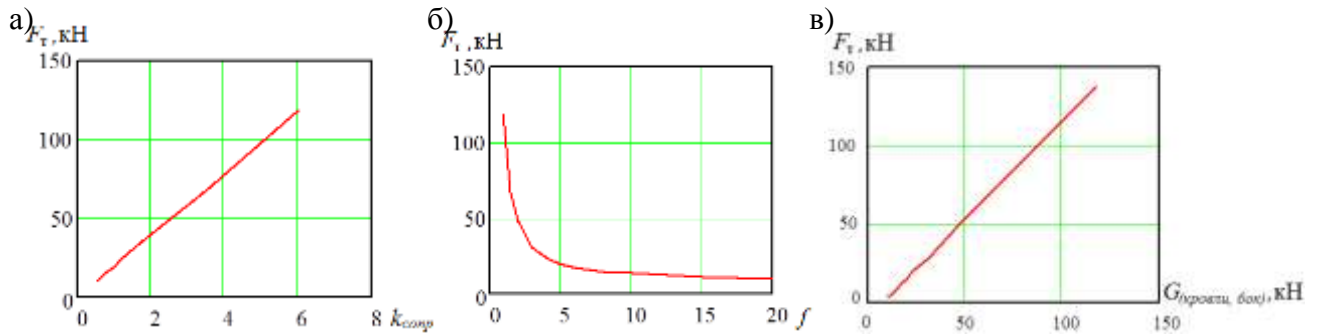


Рисунок 2.11 – График теоретической зависимости усилия передвижки шагающей крепи в горизонтальной выработке с учетом вертикальной (P_v) и боковых (P_b) нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки в зависимости от: а – коэффициента сопротивления передвижки секции крепи проходческого комплекса; б – коэффициента крепости пород по классификации М.М. Протоdjeяконова; в – веса пород, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки

Из рисунка 2.5, кривая 3 видно, что при весе секции шагающей крепи 19,6 кН, усилие, необходимое для передвижки крепи обеспечивается в 7,8 кН, что 2,5 раза меньше веса секции крепи.

Максимально допустимый угол наклона выработки, при котором будет обеспечиваться безопасное проведение проходческой выработки, составляет 35° . дальнейшее увеличение угла наклона выработки приведет к сползанию проходческого оборудования (рисунок 2.5).

Как видно из рисунков 2.7, а, б, в 2.9, а, б, в и 2.11, а, б, в при увеличении коэффициента крепости пород в выработке (f) по шкале М.М. Протоdjeяконова, уменьшается влияние массива горных пород на шагающую крепь проходческого комплекса, посредством образования более устойчивого свода, тем самым уменьшаются значения вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки, что впоследствии приводит к уменьшению значений коэффициента сопротивления передвижки секций шагающей крепи проходческого комплекса и тем самым уменьшается усилие, необходимое для передвижки крепи.

Значение коэффициента сопротивления передвижки секции крепи проходческого комплекса имеет широкий диапазон варьирования, обусловленный вариантом нагружения комплекса (рисунок 2.4) [71]:

1) отсутствие внешних нагрузок на перекрытиях комплекса ($k_{сопр} = 0,4-0,6$), определяется по формуле

$$k_{\text{сопр}} = \mu, \quad (2.18)$$

где μ – коэффициент сопротивления перемещению стальных поверхностей оснований секции крепи по породе ($\mu = 0,4-0,6$).

2) нагрузка со стороны кровли выработки ($k_{\text{сопр}} = 0,5-3$) и определяется по формуле

$$k_{\text{сопр}} = \mu \left(1 + \frac{2(g\rho 2alb)}{G_{\text{шк}i}} \right), \quad (2.19)$$

где g – ускорение свободного падения ($g=9,8$ Н/кг), Н/кг; ρ – плотность пород, кг/м³; a – полупролет свода, м; l, b – длина, высота свода обрушения, м.

Высота свода обрушения определяется по формуле [38, 18]:

$$b = \frac{a}{f}, \quad (2.20)$$

где f – коэффициент крепости по классификации М.М. Протодяконова для связных пород и коэффициент внутреннего трения для мягких пород.

3) нагрузка со стороны боков выработки ($k_{\text{сопр}} = 0,4-0,85$) и определяется по формуле

$$k_{\text{сопр}} = \mu \left(1 + \frac{2 \left(\frac{g\rho h^2 l}{2} \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \right)}{G_{\text{шк}i}} \right), \quad (2.21)$$

где h – высота выработки; θ – угол сползания боковых пород; $\varphi = \arctg f$ – угол внутреннего трения.

4) нагрузка со стороны кровли и боков выработки ($k_{\text{сопр}} = 0,5-6$) и определяется по формуле

$$k_{\text{сопр}} = \mu \left(1 + \frac{2 \left(g\rho 2al \left[a + h \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{90^\circ + \varphi}{2} \right) \right] \right)}{G_{\text{шк}i}} + \frac{2 \left(\frac{g\rho hl}{2} (2b_1 + h) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right) \right)}{G_{\text{шк}i}} \right), \quad (2.22)$$

Высота свода обрушения определяется по формуле [18, 38]:

$$b_1 = \frac{a_1}{f} = \frac{a + h \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right)}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (2.23)$$

где a_1 – полупролет свода естественного равновесия, м.

На основании формул (2.18 – 2.23) построен график изменения коэффициента сопротивления передвижки секции крепи проходческого комплекса в зависимости от коэффициента крепости пород при различных вариантах нагружения перекрытий и боковых ограждений шагающей крепи [71].

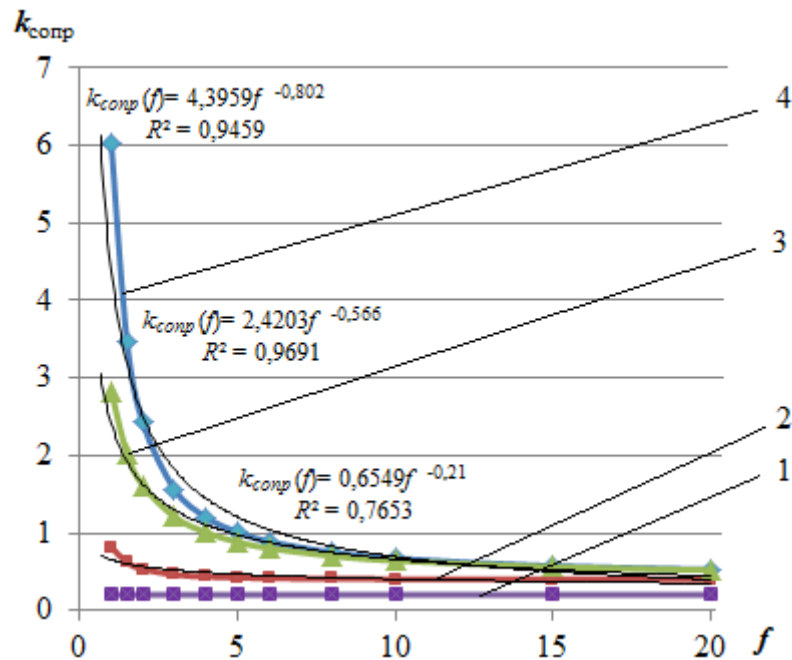


Рисунок 2.12 – График зависимости коэффициента сопротивления передвижки секции крепи проходческого комплекса ($k_{сопр}$) от коэффициента крепости пород (f) при: 1 – при отсутствии нагрузки на перекрытия и стенки крепи; 2 – при наличии боковых нагрузок, действующих на боковые стенки крепи со стороны боков выработки; 3 – при наличии вертикальной нагрузки, действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки; 4 – при наличии вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки

По результатам теоретических исследований определен интервал значений коэффициента сопротивления передвижки секции шагающей крепи проходческого комплекса в диапазоне $k_{сопр}=0,4-0,6$ при отсутствии внешних нагрузок на перекрытия комплекса, а при нагружении соответственно: со стороны кровли выработки перекрытий комплекса $k_{сопр}=0,5-3,0$; со стороны боков выработки ограждений комплекса $k_{сопр}=0,4-0,85$; со стороны кровли и боков выработки перекрытий и ограждений комплекса $k_{сопр}=0,5-6,0$, при этом коэффициент сопротивления

передвижки элементов проходческого комплекса выражается степенной зависимостью от крепости пород в разных условиях проведения выработки комплексом в горном массиве при различных вариантах нагружения частей комплекса и воздействия почвы на основания комплекса [71].

Методика расчета силовых, скоростных и конструктивных параметров гидроцилиндров

Основными элементами секции шагающей механизированной крепи являются гидроцилиндры – гидравлические стойки и гидравлические домкраты. Стойки, предназначенные для поддержки перекрытий механизированной крепи, обеспечивают управление кровлей. Гидродомкраты передвижки служат для перемещения частей секции шагающей крепи комплекса друг относительно друга.

Ниже приведена [14] методика выбора основных характеристик гидравлических цилиндров с использованием параметрических рядов диаметров поршней и давлений гидравлической системы.

Главным параметром силового цилиндра является усилие выдвигания поршня F (Н), которое при проектировании определяется усилием перемещения частей крепи друг относительно друга (F_H) с учетом числа цилиндров и коэффициента запаса k_3 . Таким образом, необходимое усилие

$$F = k_3 \frac{F_H}{n}, \quad (2.24)$$

где k_3 – коэффициент запаса при дроссельном регулировании следует принимать 1,5–3 в соответствии с техническими требованиями к цилиндрам; n – количество гидродомкратов ($n=2$), обеспечивающих передвижку крепи.

При номинальном давлении p (МПа) диаметр гидроцилиндра может быть определен с учетом коэффициента полезного действия η_m (0,85–0,96) и коэффициента потерь давления в гидросистеме η_r (0,75–0,94):

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{F}{p \cdot \eta_m \cdot \eta_r}} \quad (2.25)$$

Рабочее давление в гидросистеме, а также диаметр поршня гидроцилиндра должны соответствовать параметрическим рядам (таблица 2.1, таблица 2.2), согласно ГОСТ 6540-68 [22].

Таблица 2.1 – Параметрический ряд номинальных давлений

$p_{\text{ном}}$, МПа									
2,5	6,3	10,0	16,0	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0

Таблица 2.2 – Параметрический ряд диаметров поршней (основной ряд)

$d_{\text{п}}$, мм									
10	12	16	20	25	32	40	50	63	80
100	125	160	200	250	320	400	500	630	800

Обоснование выбора гидродомкрата шагающей крепи

На рисунке 2.13 показана номограмма определения типов гидродомкрата на основе силовых параметров гидроцилиндров в зависимости от коэффициента крепости пород в выработке (f) по шкале М.М. Протоdjяконова.

В соответствии с крепостью пород в выработке (f) по шкале М.М. Протоdjяконова выбирается наибольшее значение коэффициента сопротивления передвижки шагающей крепи проходческого комплекса соответствующее неблагоприятным горно-геологическим условиям, при которых значения вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки максимальны. На основе этого коэффициента сопротивления передвижки крепи комплекса выбирается гидродомкрат передвижки крепи (с учетом коэффициента запаса и количества гидродомкратов, работающих в паре), обеспечивающий необходимое усилие передвижки в зависимости от диаметра поршня гидродомкрата и давления в гидравлической сети.

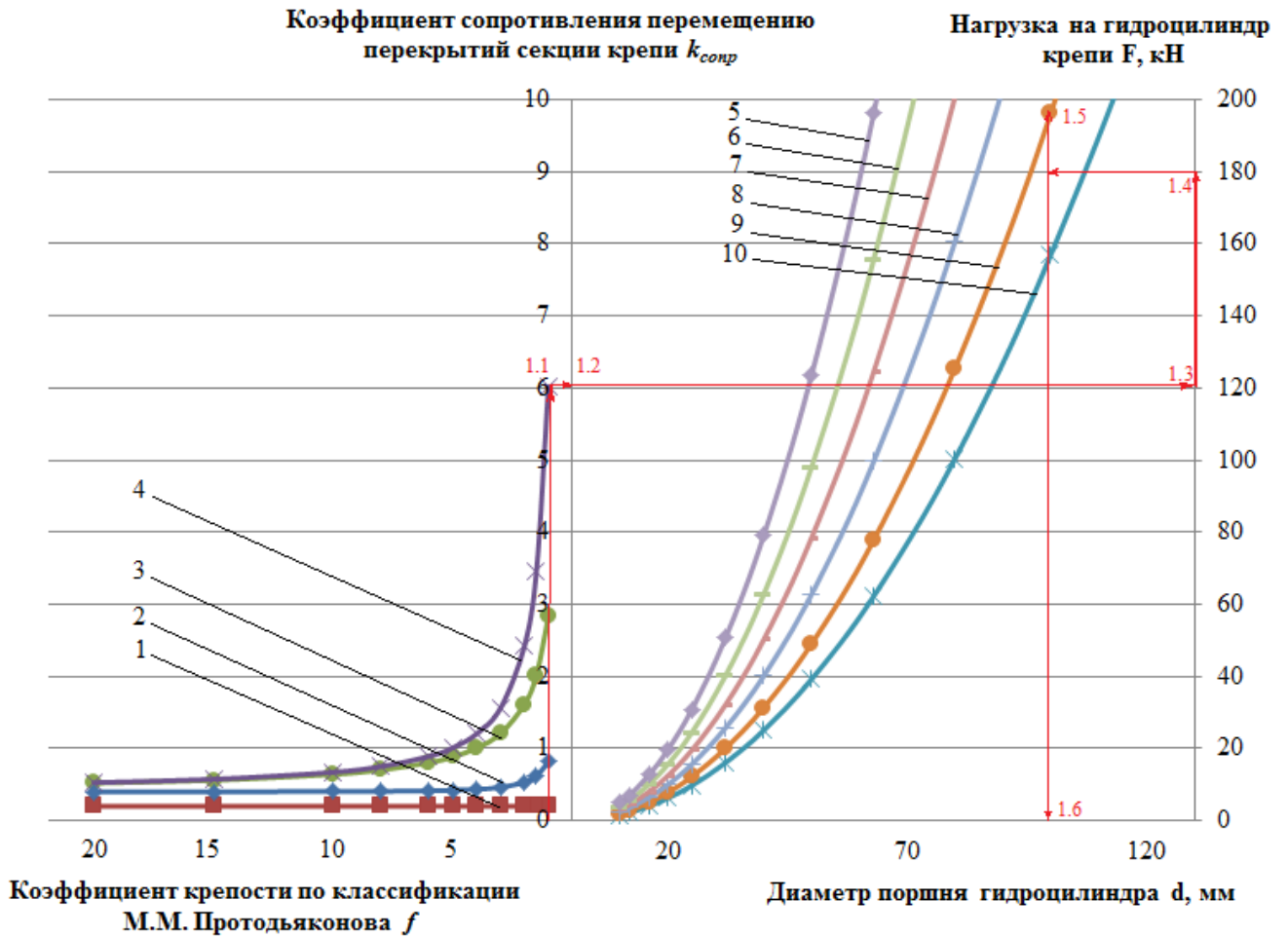


Рисунок 2.13 – Номограмма определения типов гидродомкрата на основе силовых параметров гидроцилиндров в зависимости от коэффициента крепости пород в выработке по шкале М.М. Протодьяконова:

1 – график теоретической зависимости коэффициента крепости пород от коэффициента сопротивления передвижки шагающей крепи проходческого комплекса при отсутствии нагрузки на перекрытия и стенки крепи; 2 – при наличии боковых нагрузок, действующих на боковые стенки крепи со стороны боков выработки; 3 – при наличии вертикальной нагрузки, действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки; 4 – при наличии вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки; 5 – зависимость усилия передвижки от диаметра поршня при давлении в гидравлической сети 63 МПа; 6 – 50 МПа; 7 – 40 МПа; 8 – 32 МПа; 9 – 25 МПа; 10 – 20 МПа

Так, например, при крепости пород в выработке по шкале М.М. Протодьяконова ($f=1$) максимальное теоретическое значение коэффициента сопротивления передвижки секции крепи комплекса ($k_{сопр}=6$) соответствующее неблагоприятным горно-геологическим условиям, при которых значения вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки максимальны (точка 1.1, 1.2 на рисунке 2.13). При известном значении коэффициента сопротивления передвижки крепи комплекса определяется необходимое рабочее усилие, развиваемое

гидродомкратом передвижки крепи ($F_H=120$ кН) (точка 1.3 на рисунке 2.13). Дальнейшее определение усилия передвижки крепи осуществляется с учетом коэффициента запаса ($k_3=3$) и количества гидродомкратов ($n=2$), обеспечивающих передвижку крепи. Таким образом, усилие гидродомкрата должно быть не меньше 180 кН (точка 1.4 на рисунке 2.13).

В соответствии с параметрическими рядами диаметров поршней гидроцилиндров и номинальных давлений в гидравлической сети значение усилия гидродомкрата передвижки крепи уточняется (точка 1.5 на рисунке 2.13, $F=196$ кН) при диаметре поршня гидродомкрата ($d=100$ мм) (точка 1.6 на рисунке 2.13) и давлении в гидравлической сети ($p=25$ МПа).

2.4. Определение силовых и геометрических параметров гидростойки шагающей крепи проходческого комплекса

Наиболее неблагоприятными условиями работы механизированной крепи являются воздействия вертикальных и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки (глава 2, пункт 2.3). По результатам моделирования наибольшее теоретическое значение вертикального усилия, действующие на перекрытия крепи со стороны составляет 110 кН (рисунок 2.14, Приложение Б).

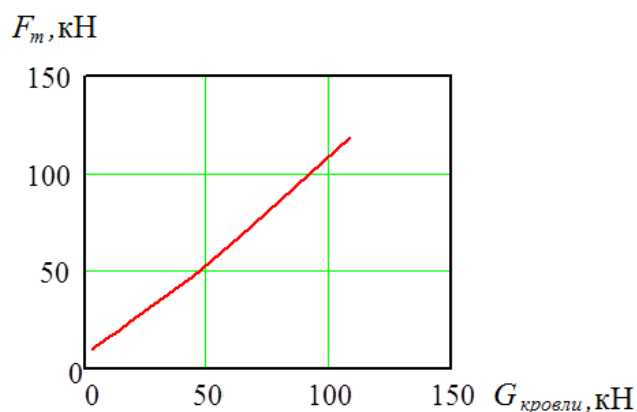


Рисунок 2.14 – График теоретической зависимости усилия передвижки шагающей крепи в горизонтальной выработке с учетом вертикальной нагрузки, действующей на перекрытия, крепи со стороны кровли выработки в зависимости от веса пород, действующих на перекрытия крепи со стороны кровли выработки

На рисунке 2.15 представлены варианты нагружения шагающей крепи.

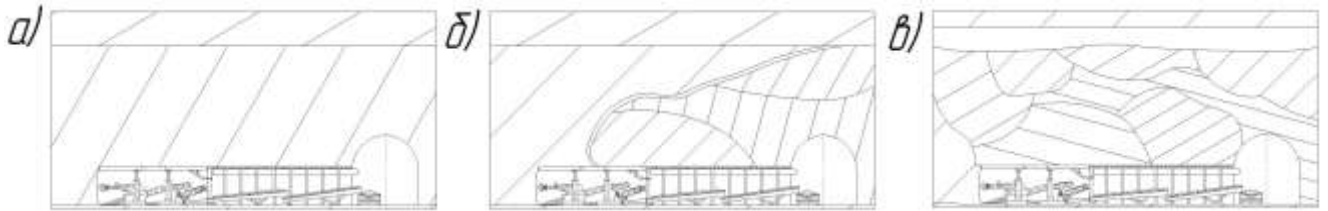


Рисунок 2.15 – Варианты нагружения шагающей крепи: а – отсутствие внешних нагрузок на механизированную шагающую крепь (устойчивая кровля); б – нагружение задней секции крепи; в – распределенная нагрузка со стороны кровли выработки

На рисунке 2.16 представлена номограмма определения типов гидростойки на основе силовых параметров гидроцилиндров в зависимости от нагрузки, действующей со стороны кровли выработки.

В соответствии с максимальным теоретическим значением вертикальной нагрузки на шагающую крепь определяется рабочее усилие гидростойки крепи, при которой крепь воспринимает нагружение, как со стороны кровли, так и боков выработки. Силовые параметры гидростойки крепи определяются с учетом рабочего усилия, коэффициента запаса и количества стоек. Таким образом, обеспечивается необходимое усилие поддержки в зависимости от диаметра поршня гидростойки и давления в гидравлической сети [106].

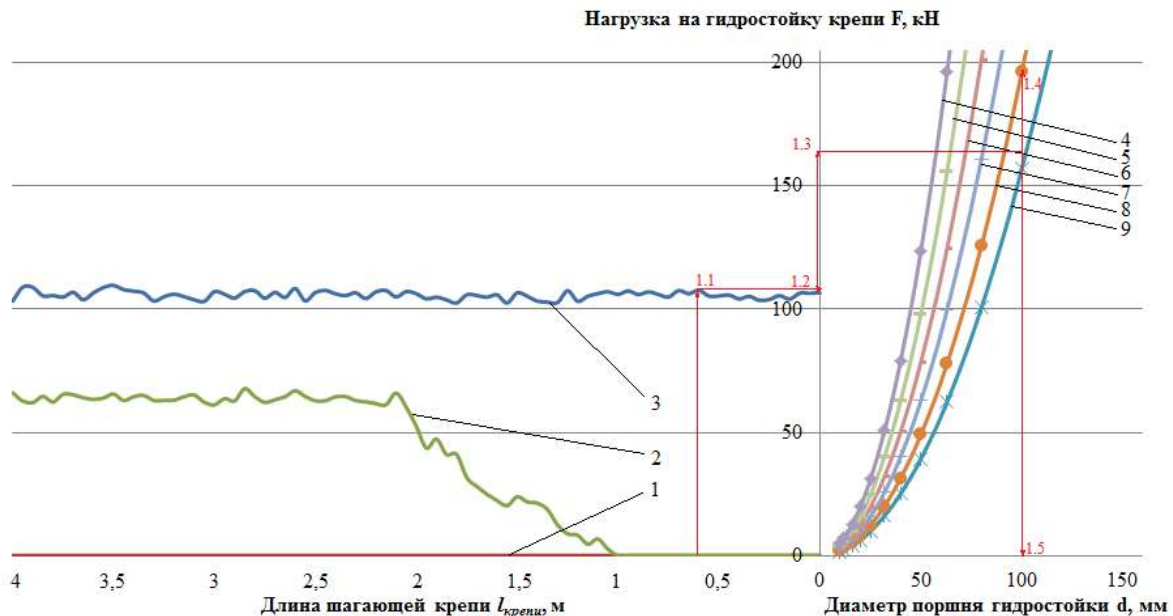


Рисунок 2.16 – Номограмма определения типов гидростойки на основе силовых параметров гидроцилиндров в зависимости от нагрузки, действующей со стороны кровли: 1 – график теоретической зависимости вертикальной нагрузки от длины выработки при устойчивой кровле; 2 – при нагружении задней секции крепи; 3 – при распределенной нагрузке; 4 – зависимость усилия передвижки от диаметра поршня при давлении в гидравлической сети 63 МПа; 5 – 50 МПа; 6 – 40 МПа; 7 – 32 МПа; 8 – 25 МПа; 9 – 20 МПа

Так, например, максимальное теоретическое значение вертикальной распределенной нагрузки на шагающую крепь составляет ($F=110$ кН) для неблагоприятных горно-геологическим условий, при которых значения вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки максимальны (точка 1.1 на рисунке 2.16). Тем самым необходимое рабочее усилие, развиваемое гидростойкой крепи составляет ($F_H=110$ кН) (точка 1.2 на рисунке 2.16). Дальнейшее определение усилия гидростойки осуществляется с учетом коэффициента запаса ($k_3=3$) и количества гидростоек ($n=2$), обеспечивающих передвижку крепи. Таким образом, усилие гидростойки должно быть не меньше 165 кН (точка 1.3 на рисунке 2.16).

В соответствии с параметрическими рядами диаметров поршней гидроцилиндров и номинальных давлений в гидравлической сети значение усилия гидростойки крепи уточняется (точка 1.4 на рисунке 2.16, $F=196$ кН) при диаметре поршня гидростойки ($d=100$ мм) (точка 1.5 на рисунке 2.16) и давлении в гидравлической сети ($p=25$ МПа).

2.5 Анализ операций цикла проходки механизированным проходческим комплексом

Как было отмечено в первой главе, одним из актуальных направлений является осуществление механизации трудоемких проходческих работ, что требует разработки универсального проходческого комплекса для проведения выработок малого сечения, состоящего из унифицированных узлов, с целью повышения скорости проходческих работ и сокращения травматизма шахтеров, которые до настоящего времени применяют ручной способ проходки выработок малого сечения.

С целью обеспечения высокоскоростной проходки при проведении выработок малого сечения необходимо определить все временные составляющие проходческого цикла и разработать конструкцию проходческого комплекса, позволяющего совмещать операции проходческого цикла.

Определение производительности исполнительных органов разных типов

Для обеспечения более эффективного разрушения массива пород при проходке выработки малого сечения проходческий комплекс снабжен сменными исполнительными органами (ИО).

На рисунке 2.17 представлены варианты исполнительных органов (ИО) проходческой машины.

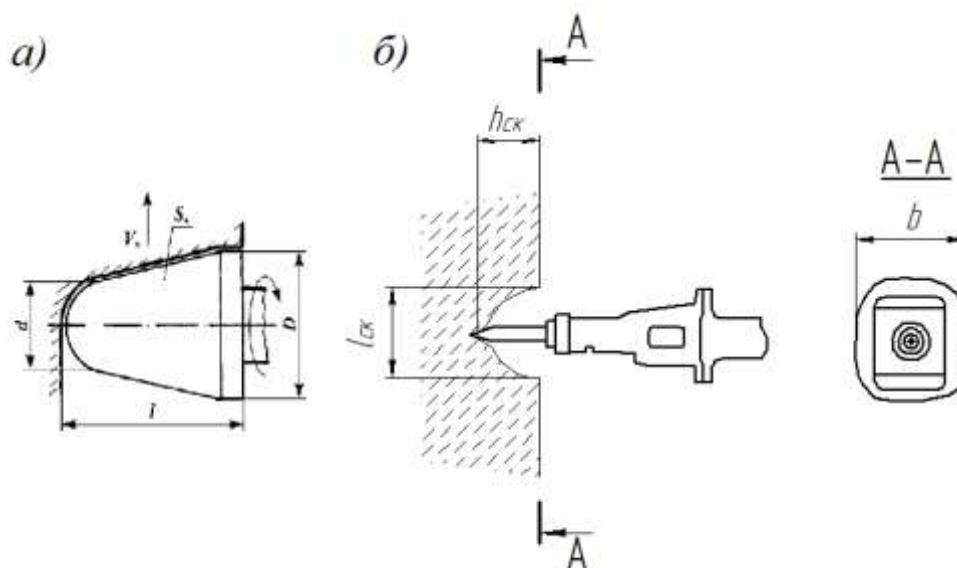


Рисунок 2.17 – Схема стреловидного исполнительного органа проходческой машины:
а) с коронкой; б) с ударником

Использование сменных исполнительных органов, смонтированных на стреле проходческой машины, обусловлено переменной крепостью пород при проходке выработки малого сечения. При проходке по углю или мягким породам рекомендуется использовать исполнительный орган в виде резцовой коронки (рисунок 2.17, а), а в случае отбойки крепких пород или включений – ударник (рисунок 2.17, б) [32, 64].

1. Расчет производительности корончатого исполнительного органа (рисунок 2.17, а) вращательного действия может быть произведен по формуле [81]:

$$Q_{\text{тех}} = m_{\text{сл}} \cdot B \cdot v_{\text{п}} \cdot \kappa_{\text{тех}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.26)$$

где $m_{\text{сл}}$ – длина коронки; B – величина заглубления коронки в массиве угля или породы; $v_{\text{п}}$ – скорость перемещения коронки; $\kappa_{\text{тех}}=0,7-0,9$.

Толщина снимаемого слоя корончатый исполнительным органом определяется по формуле:

$$m_{\text{сл}} = \frac{D_{\text{к}}}{1,5}, \text{ м}, \quad (2.27)$$

где $D_{\text{к}}$ – максимальный диаметр конической коронки по резцам ($D_{\text{к}}=0,3$ м).

Усредненные значения величины заглубления коронки исполнительного органа в массив пород определяются по формуле:

$$B = \frac{D_{\text{к}}}{f - 0,5}, \text{ м}, \quad (2.28)$$

где f – крепость породы.

Значение максимально возможной скорости перемещения корончатого исполнительного органа по забою:

$$v_{\text{п}} = \frac{N_{\text{кИО}} \cdot \eta_{\text{кИО}}}{60 H_{\text{в}} m_{\text{сл}} B}, \text{ м/мин}, \quad (2.29)$$

где $N_{\text{кИО}}$ – мощность привода исполнительного органа, кВт ($N_{\text{кИО}}=70$ кВт); $\eta_{\text{кИО}}$ – КПД привода исполнительного органа ($\eta_{\text{кИО}}=0,8-0,9$); $H_{\text{в}}$ – удельная энергоемкость процесса разрушения, кВт·ч/м³ ($H_{\text{в}}=0,8-2,9$ кВт·ч/м³).

2. Расчет производительности ударного исполнительного органа (рисунок 2.17, б) [32, 46, 63, 64]:

$$Q_{\text{тех}} = \frac{l_{\text{ск}} \cdot h_{\text{ск}} \cdot b}{(t_{\text{р.уд}} + t_{\text{вс}})}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.30)$$

где $l_{\text{ск}}$, $h_{\text{ск}}$, b – ширина, глубина и высота скола, м, ($l_{\text{ск}}=0,3$ м, $b=0,3$ м), $t_{\text{р.уд}}$, $t_{\text{вс}}$ – соответственно время удара и время на переустановку, с ($t_{\text{р.уд}}=3$ с; $t_{\text{вс}}=6$ с):

$$h_{\text{ск}} = h \cdot n_{\text{уд}} \cdot t_{\text{р.уд}} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \quad (2.31)$$

где h – среднее заглубление за один удар, мм/уд; $n_{\text{уд}}$ – количество ударов производимое ударником ($n_{\text{уд}}=30-70$ уд/с).

Глубину заглубления h (м) пики отбойного молотка можно определить по формуле [55, 84]:

$$h = \sqrt{\frac{A_{y\partial}}{Z \cdot d \cdot \sigma_{сж} \cdot (\operatorname{tg}(\alpha/2) + \mu) \cdot K}}, \quad (2.32)$$

где $\sigma_{сж} = K_{\sigma} \sigma_{сж}$, а $K_{\sigma} = 0,25 \cdot (1 - (\sigma_{сж} - 50) / 1000)$, $\sigma_{сж} = 10f$ (f – коэффициент крепости пород; Z – число лезвий долота; d – диаметр долота, м; α – угол заточки лезвия долота, град; μ – коэффициент трения инструмента о породу; K – коэффициент затупления лезвий долота; $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы на зажатие, Па; $A_{y\partial}$ – энергия удара, Дж.

В соответствие с формулами 2.26 – 2.32 построен график (рисунок 2.18) зависимости производительности корончатого и ударного исполнительного органа проходческого оборудования от крепости пород.

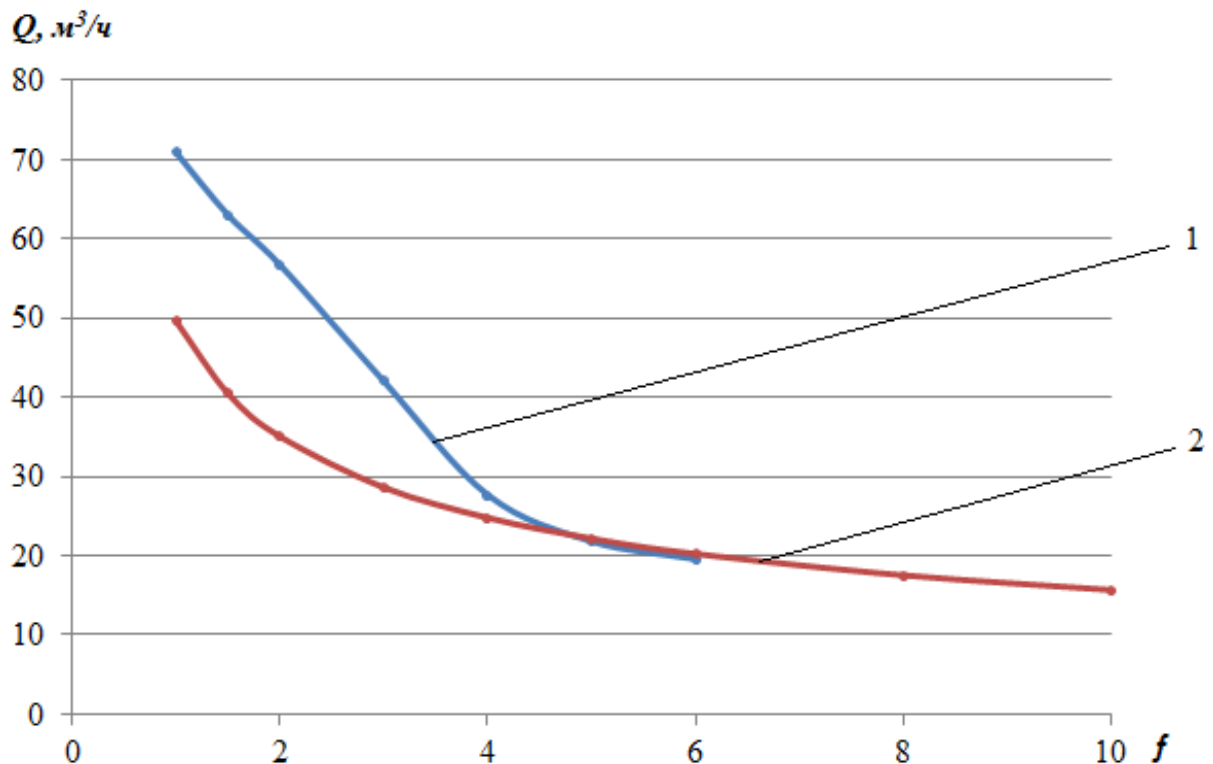


Рисунок 2.18 – Зависимость изменения производительности отбойки проходческим комбайном от крепости пород при использовании исполнительного органа: 1 – корончатого; 2 – ударного

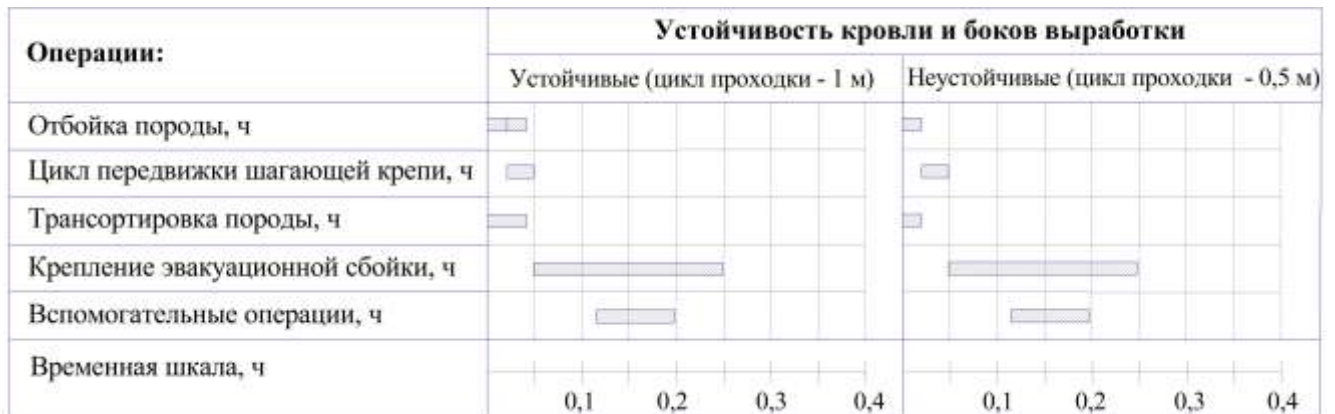
Из рисунка 2.18 видно, что производительность исполнительного органа вращательного действия (рисунок 2.18, п.1) по мягким породам выше ударного (рисунок 2.18, п.2), но при увеличении крепости пород горного массива эффективность отбойки корончатым исполнительным органом многократно снижается и для отбойки крепких пород ($f \geq 5$) рекомендуется использовать сменный исполнительный орган ударного действия. Эффективное использование

сменных исполнительных органов проходческого комплекса позволит увеличить скорость проходческих работ путем проходки выработки по породам различной крепости.

Применение проходческого комплекса при проведении выработок малого сечения на шахтах позволит совместить операции проходческого цикла посредством механизации проходки.

В таблице 2.3 представлена планограмма проходки выработки малого сечения при совмещении операций проходческого цикла.

Таблица 2.3 – планограмма проходки выработки малого сечения при совмещении операций проходческого цикла



Из планограммы (таблица 2.3) видно, что максимальное количество параллельных операций при проходческом цикле достигается при проходке в выработках с устойчивой кровлей, когда шаг крепления пройденной выработки максимальный.

Определение времени обработки забоя

$$T_{\text{обр.заб } i} = \frac{V}{Q_{\text{техн}}} = \frac{Sl}{Q_{\text{техн}}}, \quad (2.33)$$

где V – объем выработанного пространства, м^3 ; S – площадь сечения выработки ($S=2,25 \text{ м}^2$); l – глубина выработанного пространства ($l=0,5\text{м}$); $Q_{\text{тех}}$ – техническая производительность отбойки породы, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Определение времени обработки забоя

$$T_{\text{ОЗ}i} = T_{\text{обр.заб } i} + T_{\text{заменаИО}} = 0,0231 \text{ ч}, \quad (2.34)$$

где $T_{\text{заменаИО}}$ – время на замену исполнительного органа проходческого комплекса ($T_{\text{заменаИО}} = 0,05$ ч).

Расчет времени цикла шагания механизированной крепи:

$$T_{\text{ЦШ}} = T_{\text{ОП}} + T_{\text{ВП}} + T_{\text{ПП}} + T_{\text{ОЗ}} + T_{\text{ВЗ}} + T_{\text{ПЗ}}, \quad (2.35)$$

где $T_{\text{ОП}} + T_{\text{ВП}} + T_{\text{ПП}} + T_{\text{ОЗ}} + T_{\text{ВЗ}} + T_{\text{ПЗ}}$ – время опускания, выдвижения, подъема передней и задней частей секции шагающей крепи проходческого комплекса гидродомкратами распора и передвижки.

1. Время выдвижения передней секции шагающей крепи проходческого комплекса гидродомкратами передвижки:

$$T_{\text{ВП}} = \frac{V_1}{Q_1}, \quad (2.36)$$

где V_1 – объем рабочей (поршневой) полости гидродомкратов передвижки; Q_1 – расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня.

Объем рабочей полости:

$$V_1 = S_1 \cdot l_{\text{перед}} \cdot Z_{\text{Ц}}, \quad (2.37)$$

где S_1 – площадь поршневой полости гидродомкрата передвижки; $Z_{\text{Ц}}$ – количество гидродомкратов ($Z_{\text{Ц}} = 2$); $l_{\text{перед}}$ – шаг передвижки ($l_{\text{перед}} = 0,5$ м).

Площадь поршневой полости гидродомкрата определяется по формуле:

$$S_1 = \frac{D_{\text{П}}^2}{1,27}, \quad (2.38)$$

где $D_{\text{П}}$ – диаметр поршня гидродомкрата передвижки.

Предварительный расчет диаметра гидродомкрата:

$$D_{\text{П}}^* = 1,13 \sqrt{\frac{(G_{\text{шкi}} \cdot k_{\text{сопр}} \cdot k_3) / Z_{\text{Ц}}}{p \cdot \eta_{\text{М}} \cdot \eta_{\text{Г}}}} \quad (2.39)$$

где $G_{\text{шкi}}$ – вес передней секции комплекса, Н; $k_{\text{сопр}}$ – коэффициент сопротивления передвижки секции крепи проходческого комплекса ($k_{\text{сопр}} = 6$); k_3 – коэффициент запаса при дроссельном регулировании следует принимать 1,5-3 в соответствии с техническими требованиями к цилиндрам; $Z_{\text{Ц}}$ – количество гидродомкратов или гидростоек ($Z_{\text{Ц}} = 2$); p – номинальное давление (МПа); $\eta_{\text{М}}$ – коэффициент

полезного действия (0,85-0,96); η_r – коэффициент потерь давления в гидросистеме (0,75-0,94).

Окончательный выбор диаметров поршней гидроцилиндров секции крепи, а также рабочего давления в гидросистеме осуществляется с использованием номограммы определения типов гидродомкрата (рисунок 2.13).

Расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня:

$$Q_1 = \frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} v_1 Z_{\Pi}, \quad (2.40)$$

где v_1 – скорость прямого хода поршня гидродомкрата передвижки ($v_1=0,083$ м/мин); D_{Π} – диаметр поршня гидродомкрата передвижки.

2. Время выдвигания (подтягивания) задней секции шагающей крепи проходческого комплекса гидродомкратами передвижки:

$$T_{\text{вз}} = \frac{V_2}{Q_2}, \quad (2.41)$$

где V_2 – объем штоковой полости гидродомкратов передвижки; Q_2 – расход гидравлической жидкости при обратном ходе поршня.

Объем штоковой полости:

$$V_2 = S_2 \cdot l_{\text{перед}} \cdot Z_{\Pi}, \quad (2.42)$$

где S_2 – площадь штоковой полости гидродомкрата передвижки; Z_{Π} – количество гидродомкратов ($Z_{\Pi} = 2$); $l_{\text{перед}}$ – шаг передвижки ($l_{\text{перед}} = 0,5$ м).

Площадь штоковой полости гидродомкрата определяется по формуле:

$$S_2 = \frac{D_{\Pi}^2 - d_{\text{ш}}^2}{1,27}, \quad (2.43)$$

где D_{Π} – диаметр поршня гидродомкрата передвижки; $d_{\text{ш}}$ – диаметр штока гидродомкрата передвижки.

Диаметр штока гидродомкрата в соответствии с ГОСТ 6540-68 [22] определяется по формуле:

$$d_{\text{ш}} = (0,3-0,7)D_{\Pi} \quad (2.44)$$

Расход гидравлической жидкости при обратном ходе поршня:

$$Q_2 = \frac{\pi(D_{\text{п}}^2 - d_{\text{ш}}^2)}{4} v_2 Z_{\text{ц}}, \quad (2.45)$$

где v_2 – скорость обратного хода поршня гидродомкрата передвижки ($v_2=1,5$ м/мин); $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня гидродомкрата передвижки.

3. Время опускания перекрытия передней секции шагающей крепи проходческого комплекса:

$$T_{\text{оп}} = \frac{V_3}{Q_3}, \quad (2.46)$$

где V_3 – объем штоковой полости гидростойки; Q_3 – расход гидравлической жидкости при обратном ходе поршня.

Объем штоковой полости:

$$V_3 = S_3 \cdot l_{\text{опуск}} \cdot Z_{\text{ц}}, \quad (2.47)$$

где S_3 – площадь штоковой полости гидростойки секции крепи ($S_3 = S_2$); $Z_{\text{ц}}$ – количество гидростоек ($Z_{\text{ц}} = 2$); $l_{\text{опуск}}$ – ход поршня при опускании перекрытия ($l_{\text{опуск}} = 0,2$ м).

Расход гидравлической жидкости при обратном ходе поршня:

$$Q_3 = \frac{\pi(D_{\text{п}}^2 - d_{\text{ш}}^2)}{4} v_3 Z_{\text{ц}}, \quad (2.48)$$

где v_3 – скорость обратного хода поршня гидродомкрата передвижки ($v_3=1,5$ м/мин); $D_{\text{п}}$, $d_{\text{ш}}$ – диаметр поршня и штока гидростойки соответствуют диаметрам поршней и штоков гидродомкратов передвижки шагающей крепи.

4. Время опускания перекрытия задней секции шагающей крепи проходческого комплекса:

$$T_{\text{оз}} = T_{\text{оп}} \quad (2.49)$$

5. Время подъема перекрытия передней секции шагающей крепи проходческого комплекса:

$$T_{\text{пш}} = \frac{V_4}{Q_4}, \quad (2.50)$$

где V_4 – объем поршневой полости гидростойки шагающей крепи; Q_4 – расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня.

Объем рабочей полости:

$$V_4 = S_4 \cdot l_{\text{подн}} \cdot Z_{\text{ц}}, \quad (2.51)$$

где S_4 – площадь поршневой полости гидростойки крепи ($S_4 = S_1$); $Z_{\text{ц}}$ – количество гидродомкратов ($Z_{\text{ц}} = 2$); $l_{\text{подн}}$ – ход поршня при поднятии перекрытия ($l_{\text{подн}} = 0,2$ м).

Расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня:

$$Q_4 = \frac{\pi \cdot D_{\text{п}}^2}{4} v_4 Z_{\text{ц}}, \quad (2.52)$$

где v_4 – скорость прямого хода поршня гидродомкрата передвижки ($v_4 = 1$ м/мин); $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня гидростойки соответствует диаметру поршня гидродомкрата передвижки шагающей крепи.

6. Время подъема перекрытия задней секции шагающей крепи проходческого комплекса:

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пп}} \quad (2.53)$$

Расчет времени установки рамы крепления сбойки ($T_{\text{кС}}$) при условии, что материал уже доставили на место установки лебедкой, а кровля относительно устойчива представлен в таблице 2.4 [32, 64]:

Таблица 2.4– Операции цикла установки рамы крепления сбойки

Операции	Продолжительность, мин
1. Установка боковых (левая, правая) перекладин и центральной стойки рамной крепи	0,5 - 1
2. Установка боковых стоек (закрепление)	0,5 - 1
3. Затяжка кровли и боков выработки	5 - 10

Время необходимое на установку 1 рамной крепи с затяжкой $T_{\text{кС}} = 0,2$ ч.

Время подготовительных операций (сумма времени, необходимое на наращивание гибкой вентиляционной трубы, подтягивание конвейера и др.): $T_{\text{по}} = 0,083$ ч.

Расчет времени i -го цикла проходки:

$$T_{\text{ци}} = T_{\text{ози}} + T_{\text{цш}} + T_{\text{кС}} + T_{\text{по}}, \quad (2.54)$$

где $T_{\text{ози}}$, $T_{\text{цш}}$, $T_{\text{кС}}$, $T_{\text{по}}$ – время образования забоя, цикла шагания, крепления сбойки, подготовительных операций.

Расчет i -й цикла скорости проходки выработки малого сечения (м/ч):

$$v_i = \frac{L_{\text{ЦИКЛ}}}{T_{\text{Ц}i}}, \quad (2.55)$$

где $L_{\text{ЦИКЛ}}$ – подвигание забоя за цикл проходки ($L_{\text{ЦИКЛ}}=0,5-1,0$ м).

Расчет времени проходки выработки (сбойки):

$$T_{\text{прох. сб}} = \frac{L}{\bar{v}}, \quad (2.56)$$

где L – длина сбойки (м); \bar{v} – средняя скорость проходки выработки (м/ч).

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}, \quad (2.57)$$

где n – число циклов проходки выработки.

Рассмотренные выше процессы основных операций проходческого цикла при проведении проходческих работ позволяют разработать алгоритм операций проведения выработки малого сечения с учетом минимизации количества последовательных операций проходческого цикла и увеличения числа операций, проводимых параллельно, для уменьшения сроков проходческих работ с учетом требований, предъявляемых к работе проходческого комплекса: крепость пород, устойчивость кровли, глубина проходческих работ, а также безопасность и высокая скорость проведения выработок, при минимальных затратах времени на транспортировку и монтаж комплекса.

2.6 Исследование зависимости скорости проходки выработки малого сечения от времени выполнения основных операций цикла и параметров машин проходческого комплекса

2.6.1 Выбор набора исходных данных и допущений модели

Для установления структуры имитационной модели работы проходческого комплекса для проведения проходческих работ посредством проходки выработки малого сечения необходимо выбрать исходные данные имитационной модели (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Исходные данные структуры имитационной модели

Наименование	Обозначение	Величина	Единицы измерения	Примечания
Сечение выработки в проходке	S_n	2,25	м ²	-
Ширина выработки в проходке	b_n	1,5	м	
Высота выработки в проходке	h_n	1,5	м	
Крепость породы по шкале проф. М.М.Протоdjeяконова	f	2-10	-	
Плотность горной массы	γ	1300 - 2800	кг/м ³	
Угол наклона выработки	α	0	град	
Длина выработки в проходке	L	60	м	
Подвигание забоя за цикл проходки	$L_{цикл}$	0,5	м	
Число циклов проходки	n	120	-	
i цикл	n_i	1	-	
Тип крепи (анкерная или рамная)	-	-	-	Рамная крепь
Тип исполнительного органа (ИО)	<i>КИО, УИО, ДИО</i>	-	-	Используется сменные ИО: корончатый, ударный, дополнительный

2.6.2 Разработка алгоритма имитационной модели

Для установления структуры имитационной модели необходимо представлять последовательность действий при моделировании работы проходческого комплекса [100]. Алгоритм этапов моделирования приведен на рисунке 2.19. Моделирование проводилось с использованием Mathcad (Приложение В).

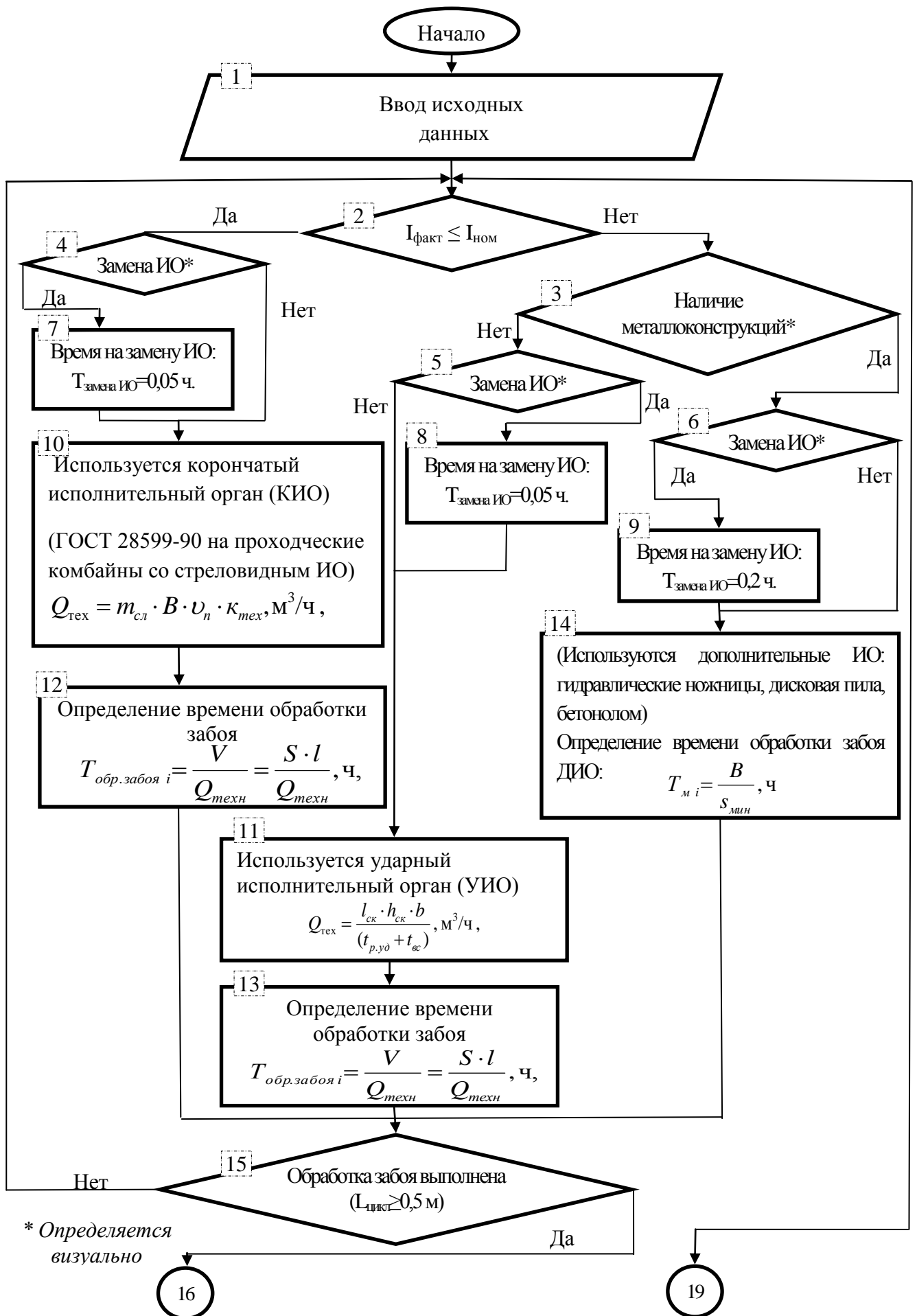
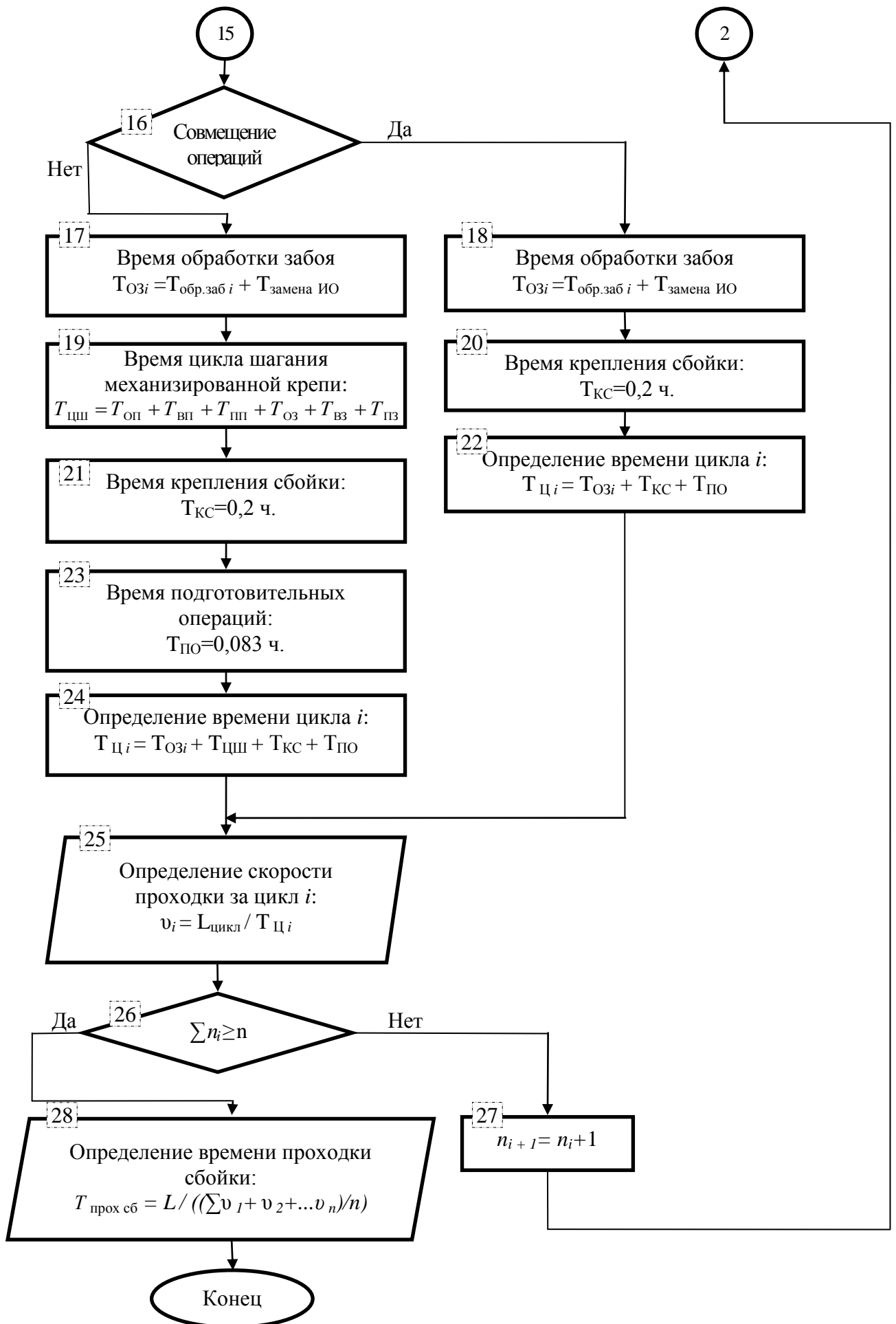


Рисунок 2.19 – Блок-схема алгоритма проведения проходческих работ



Окончание рисунка 2.19 – Блок-схема алгоритма проведения проходческих работ

Далее рассмотрены этапы алгоритма. В блоке 1 производится ввод исходных данных, блок 2 – сверяется показание фактического значения силы тока с номинальным на исполнительном органе проходческого комплекса, блок 3 – проверка на наличие обрушенных металлоконструкций, 4, 5, 6 – проверка на соответствие установленного исполнительного органа комплекса условиям в призабойном пространстве, 7, 8, 9 – расчет времени на замену исполнительного органа соответствующего условиям в призабойном пространстве, 10, 11 – расчет технической производительности сменных исполнительных органов проходческого комплекса, 12, 13, 14 – расчет времени обработки забоя за i -й цикл при использовании сменных исполнительных органов комплекса, 15 – проверка на соответствие подвигания забоя за цикл, 16 – проверка на наличие совмещенных операций при проходке проходческой сбойки, 17, 18 – расчет времени обработки забоя за i -й цикл, 19 – расчет времени цикла шагания механизированной крепи, 20, 21 – расчет времени крепления сбойки, 23 – расчет времени подготовительных операций, 22, 24 – расчет суммарного времени i -го цикла, 25 – расчет скорости проходки за i -й цикл, 26 – проверка на соответствие полного выполнения всех циклов при проведении проходческих работ, 27 – расчет нового цикла проходческих работ, 28 – расчет окончательного времени проходки проходческой сбойки при проведении проходческих работ.

2.6.3 Результаты имитационного моделирования

Результаты моделирования представлены на рисунке 2.20, 2.21, из которых видно, что на величину скорости проведения выработки значительное влияние оказывают крепость породы по шкале проф. М.М. Протодяконова (f), шаг передвижки проходческого комплекса, а также частота замен исполнительного органа (ИО) вследствие наличия неоднородного состава пород забоя при прохождении выработки малого сечения.

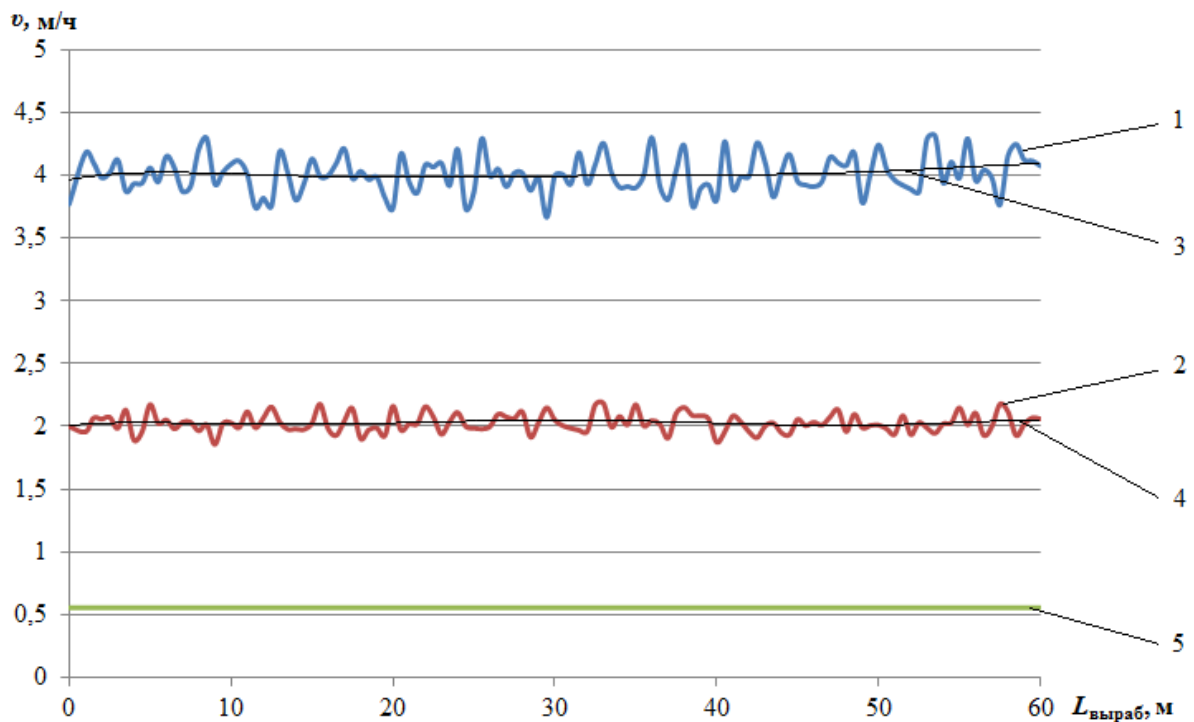


Рисунок 2.20 – График зависимости скорости проходки выработки малого сечения от ее длины при использовании: 1 – проходческого комплекса с шагом передвижки (частотой крепления) каждый 1 м; 2 – проходческого комплекса с шагом передвижки каждые 0,5 м; 3, 4 – проходческого комплекса с шагом передвижки каждый 0,5 – 1 м (усредненные значения скоростей проходки); 5 – ручного труда (усредненные значения скорости проходки выработки)

Анализ графика на рисунке 2.20 показывает, что скорость проведения выработки малого сечения по забою с крепостью пород ($f=2$) при использовании проходческого комплекса с шагом передвижки ($L_{\text{цикл}}=1\text{ м}$) (рисунок 2.20, п.3) в 2 раза выше, чем при проходке комплексом с ($L_{\text{цикл}}=0,5\text{ м}$) (рисунок 2.20, п.4), а также в 4 раза выше при применении проходческого комплекса (рисунок 2.20, п.4) в сравнении с ручной проходкой (рисунок 2.20, п.5) при необходимом частом креплении проходческой выработки каждые 0,5 м.

Анализ графика на рисунке 2.21 показывает, что даже в сложных горно-геологических условиях, когда породный состав забоя меняется ($f=2-6$) и появляется необходимость смены исполнительного органа проходческого комбайна и частого крепления пройденной выработки каждые 0,5 м, скорость проходки проходческого комплекса как минимум в 3,5 раза выше, чем скорость проведения сбойки вручную шахтерами по однородному забою ($f=2$) с использованием минимального технического оснащения (ручных инструментов).

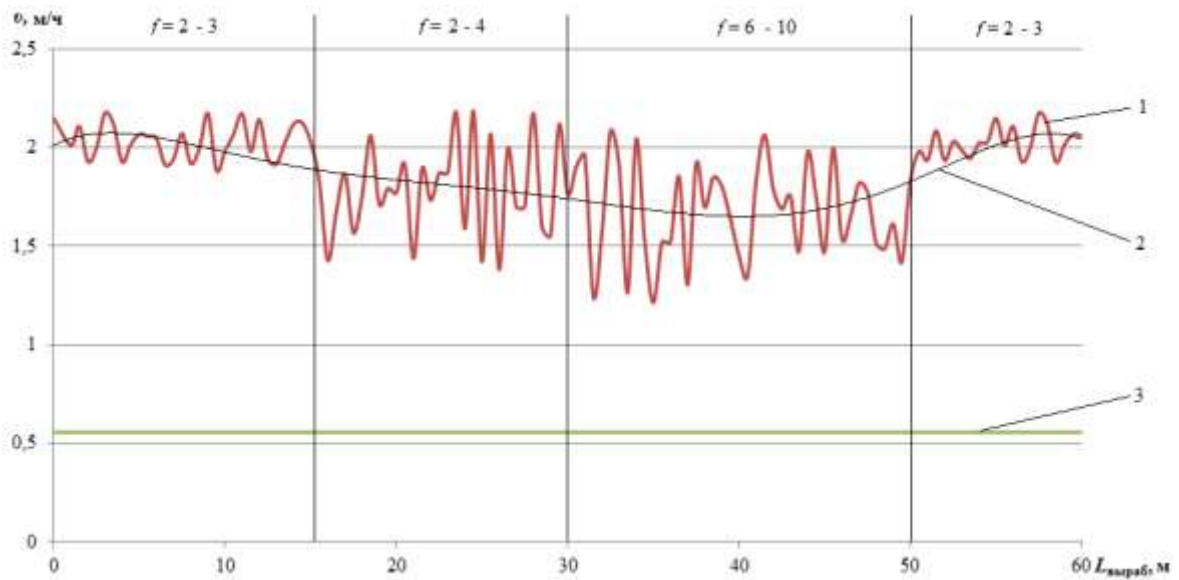


Рисунок 2.21 – График зависимости скорости проходки выработки малого сечения выработки от ее длины с использованием: 1 – проходческого комплекса со сменными исполнительными органами; 2 – проходческого комплекса (усредненные значения скорости проходки выработки); 3 – ручного труда (усредненные значения скорости проходки выработки)

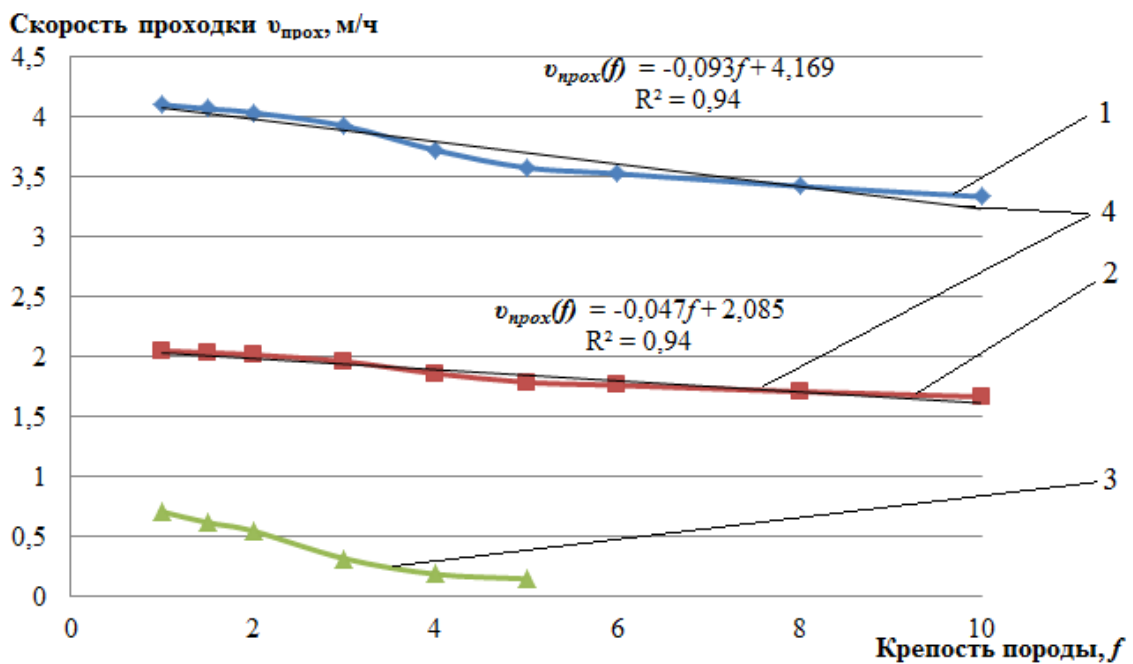


Рисунок 2.22 – График зависимости скорости проведения выработки малого сечения от крепости пород (f) при использовании: 1 – проходческого комплекса с шагом передвижки (частотой крепления) каждый 1 м; 2 – проходческого комплекса с шагом передвижки каждые 0,5 м; 3 – ручного труда; 4 – проходческого комплекса (усредненные значения скоростей проходки)

По результатам имитационного моделирования представленного на рисунке 2.22 видно, что на величину скорости проведения выработки малого сечения значительное влияние оказывают крепость породы (f), частота крепления

выработки ($L_{\text{цикл}}$), зависящая от устойчивости кровли и боков выработки, а также частота операций по замене исполнительного органа.

На рисунке 2.23 представлена зависимость времени проведения выработки малого сечения $2,25 \text{ м}^2$ от длины выработки при проходке механизированным и ручным способом.

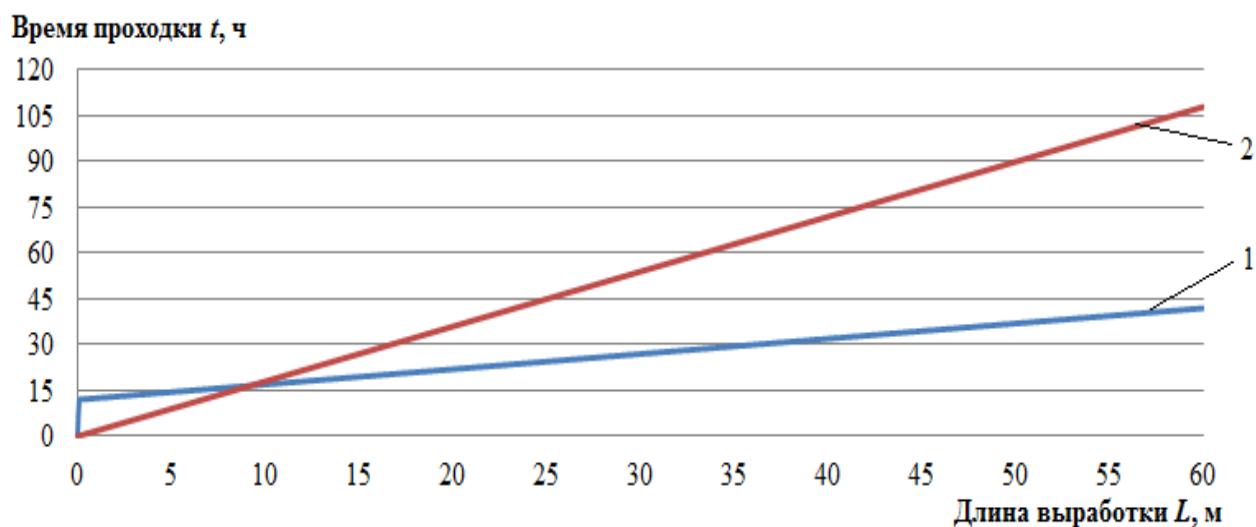


Рисунок 2.23 – Изменение времени проведения выработки малого сечения $2,25 \text{ м}^2$ от длины выработки по породам горного массива крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые $0,5 \text{ м}$ при проходке: 1 – механизированной; 2 – ручной

Рациональная область применения проходческого комплекса при проведении выработки малого сечения $2,25 \text{ м}^2$ с учетом времени на МДР (12 ч) в сравнении с ручной проходкой по породам горного массива крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые $0,5 \text{ м}$ начинается с длины выработки 10 м и ограничивается критерием эффективности оборудования по отгрузке и транспортировке породы, что подтверждается результатами имитационного моделирования, при этом зависимость скорости проведения выработки проходческим комплексом от коэффициента крепости пород выражается линейной функцией.

Выводы по второй главе

1. Теоретически обосновано необходимое усилие передвижки частей проходческого комплекса на базе шагающей крепи, которое определяет продолжительность цикла проходческих работ, при этом величина усилия передвижки должна быть не менее 392 кН, а величина коэффициента сопротивления передвижки выражается степенной зависимостью от крепости пород горного массива и находится в пределах ($k_{сопр}=0,4-6,0$), что позволяет оценить влияние нагружения частей комплекса со стороны прилегающего горного массива при различных крепостях пород на основной параметр (усилие передвижки).

2. Составлена номограмма определения диаметров гидродомкратов передвижки и гидростоек шагающей крепи проходческого комплекса в зависимости от горно-геологических условий.

3. Определена рациональная область применения проходческого комплекса при проведении выработки малого сечения $2,25 \text{ м}^2$ в сравнении с ручной проходкой по породам горного массива крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые 0,5 м которая начинается после прохождения 10 м сбойки и ограничивается критерием эффективности транспортного оборудования по отгрузке породы, что подтверждается результатами имитационного моделирования, при этом зависимость скорости проходки проходческим комплексом от коэффициента крепости пород выражаются линейной функцией.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ СЕКЦИИ КРЕПИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

3.1 Постановка задач экспериментальных исследований

В соответствии с поставленными в главе 1 целью и задачами требуется выполнение стендовых исследований для подтверждения расчетов, полученных теоретически, и подтверждения используемых в теоретической части допущений:

1. Определить масштабный коэффициент на основе критериев подобия методом анализа уравнений и законов механики, при переходе от параметров модели к параметрам оригинала.

2. Разработка и изготовление экспериментального стенда для изучения характера изменения усилий передвижки секций шагающей крепи проходческого комплекса, а также для определения значений коэффициента сопротивления передвижки крепи комплекса при различных вариантах нагружения последней.

3. Уточнение методики проведения стендовых исследований.

4. Проведение стендовых исследований, получение осциллограмм усилий передвижки модели крепи и их обработка с использованием статистических методов.

5. Анализ результатов стендовых экспериментов.

3.2 Этапы физического моделирования образца шагающей крепи

Параметры проходческого комплекса в значительной степени зависят от усилия передвижки секции шагающей крепи при обработке забоя и необходимости быстрого крепления выработанного пространства, поэтому предусматривается экспериментальное исследование шагающей крепи в лабораторных условиях на экспериментальном стенде имитирующем переменные вертикальные и боковые нагрузки, действующие со стороны кровли и боков выработки.

С целью дальнейшего перерасчета величин коэффициента передвижки секции крепи проходческого комплекса, полученных на экспериментальном

стенде в фактические значения подобным при проведении реальных горных работ необходимо установить масштабный коэффициент.

Исследование взаимодействия проходческого комплекса с многофазными средами производится по методике масштабного моделирования [5, 15].

1. Получение исходной информации о процессе передвижки крепи на основании: уравнений движения, энергетического баланса и др.; законов механики, характеризующих протекание процесса; размерных и безразмерных параметров, определяющих протекание процесса.

2. Получение критериев подобия: методом анализа уравнений; методом анализа размерностей; на базе анализа законов механики.

3. Установление масштабных зависимостей индикаторов подобия, связывающих масштабы величин, входящих в критерии подобия.

4. Определение параметров модели по предварительной информации о параметрах оригинала.

5. Получение формул, определяющих закономерности перехода от параметров модели к параметрам оригинала.

6. Изготовление масштабной модели (проектирование, расчет, изготовление).

7. Проверка соответствия модели оригиналу (методом экспериментов с масштабными моделями).

8. Проведение экспериментов на модели и определение параметров комплекса в соответствии с задачами моделирования.

3.3 Определение масштабного коэффициента при перемещении модели крепи проходческого комплекса

Порода выработки представляет собой пластическую среду, которая обладает свойствами трения и сцепления между частицами, составляющими среду. Движение проходческого комплекса установившееся [5, 15].

Далее выполняются следующие этапы:

1. Составляются исходные уравнения: уравнение напряженного состояния среды, зависимости для определения сил, мощности и других факторов.

На рисунке 3.1 представлена схема процесса перемещения проходческого комплекса при установившемся режиме работы.

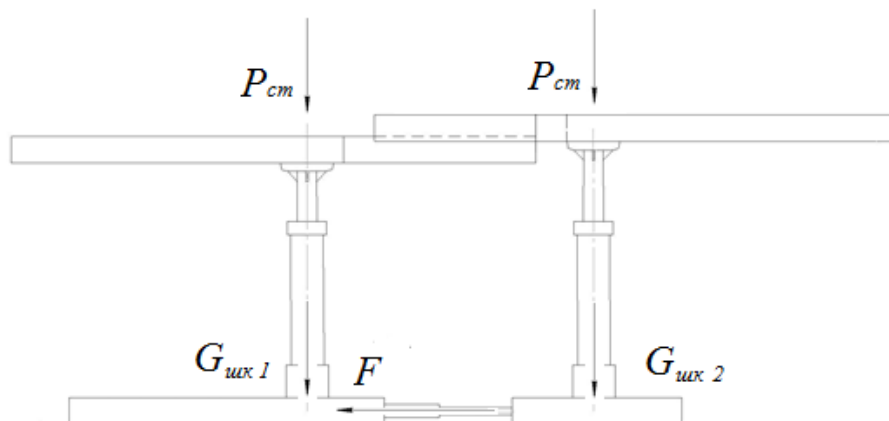


Рисунок 3.1 – Схема процесса перемещения проходческого комплекса на базе шагающей крепи при установившемся режиме работы

Уравнение сопротивления передвижки шагающей крепи имеет вид

$$F = G_{шкi} \mu + P_{ст} \quad (3.1)$$

Вес секции крепи

$$G_{шкi} = mg \quad (3.2)$$

Усилие передвижки шагающей крепи может быть записано в виде уравнения

$$F = mg\mu + P_{ст} \quad (3.3)$$

Давление в гидравлической сети [13]

$$P_{ном} = \frac{F}{S_{п} \eta_{мех}} \quad (3.4)$$

2. Определение критериев подобия методом анализа уравнений и законов механики.

На основании (3.1) получают уравнение пропорциональности

$$F \sim mg\mu \sim P_{ст} \quad (3.5)$$

Безразмерную функцию μ принимают в качестве критерия подобия

$$\Pi_2 = \mu \quad (3.6)$$

После деления оставшиеся членов получаем еще два критерия подобия

$$\Pi_1 = \frac{P_{\text{ст}}}{mg}, \quad \Pi_3 = \frac{P_{\text{ст}}}{F} \quad (3.7)$$

Критерии Π_1 и Π_2 являются определяющими, так как включают в свою структуру определяющие процесс параметры. Π_3 является определяемым критерием, так как содержит в своей структуре определяемую величину F . Критерий Π_3 соблюдается автоматически при соблюдении определяющих критериев Π_1 и Π_2 .

Из соотношения (3.4) получают определяемый критерий Π_4 путем деления правой части уравнения на левую

$$\Pi_4 = \frac{F}{S_{\Pi} \eta_{\text{мех}} P_{\text{ном}}} \quad (3.8)$$

3. Составление масштабных уравнений (путем замены параметров на соответствующие масштабы этих величин).

Из критерия $\Pi_1 - \Pi_4$ получаем масштабное уравнение

$$k_{P_{\text{ст}}} = k_m k_g, \quad (3.9)$$

Из Π_2 получаем масштабное уравнение

$$k_{\mu} = 1, \quad (3.10)$$

$$\text{Из } \Pi_3 \quad k_F = k_{P_{\text{ст}}} \quad (3.11)$$

$$\text{Из } \Pi_4 \quad k_{P_{\text{ном}}} = \frac{k_F}{k_{S_{\Pi}} k_{\eta_{\text{мех}}}} \quad (3.12)$$

Из масштабных уравнений (3.9) и (3.11) следует, что при $k_g = 1, k_F = k_{P_{\text{ст}}} = k_m$

При $k_{\eta_{\text{об}}} = 1, k_{\eta_{\text{мех}}} = 1$ масштаб давлений в гидравлической сети определяется по формуле

$$k_{P_{\text{ном}}} = \frac{k_F}{k_{S_{\Pi}}} \quad (3.13)$$

4. Определение параметров модели.

Масса модели определяется по формуле:

$$m_m = \frac{m_n}{k_m}, \quad (3.14)$$

где k_m – масштабный коэффициент (задаваемая величина), m_n – масса проектируемого образца передней и задней части секции шагающей крепи ($m_n=2000$ кг).

Ускорение свободного падения при $k_g = 1$ для модели и оригинала одинаково.

$$g_m = g_n \quad (3.15)$$

Вертикальная нагрузка полной массы столба породы, действующей на перекрытия крепи определяем на основании (3.9)

$$P_{ст\ м} = \frac{P_{ст\ н}}{k_m} \quad (3.16)$$

Коэффициент сопротивления перемещению стальных поверхностей оснований секции крепи по породе определяем на основании (3.10)

$$\mu_m = \mu_n \quad (3.17)$$

Усилие передвижки секции комплекса (определяемая величина) устанавливается на основании (3.9) и (3.11) для модели

$$F_m = \frac{F_n}{k_m} \quad (3.18)$$

Давление в гидравлической сети для модели на основании (3.13)

$$P_{ном\ м} = \frac{P_{ном\ н} \cdot k_{S_n}}{k_m} \quad (3.19)$$

Усилие передвижки секции проходческого комплекса, при переходе от параметров модели к параметрам оригинала, определяется по формуле

$$F_n = F_m k_m, \quad (3.20)$$

где k_m – масштабный коэффициент, F_m – экспериментальное значение усилия передвижки модели проходческого комплекса.

Масштабный коэффициент определяется по формуле

$$k_m = \frac{m_n}{m_m} = \frac{2000}{4} = 500, \quad (3.21)$$

где m_n – масса секции проходческого комплекса (оригинал); m_m – масса модели секции проходческого комплекса.

На экспериментальном стенде необходимо определить наибольшее значение усилия передвижки модели проходческого комплекса при нагружении боковых стенок и перекрытий модели крепи проходческого комплекса со стороны кровли и боков выработки. С учетом масштабного коэффициента ($k_m=500$), при переходе от параметров модели к параметрам оригинала необходимо сравнить экспериментальные значения усилия передвижки модели крепи с теоретическими значениями усилия передвижки секции крепи проходческого комплекса, при нагружении боковых стенок и верхних перекрытий крепи комплекса, полученные во 2 главе.

3.4 Лабораторный стенд для исследования процесса передвижки секции шагающей крепи

В соответствии с требованиями и задачами исследования, сформулированными ранее, был спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд для определения фактического значения $k_{сопрот}$ (рисунок 3.2, а, б). Стенд включает в себя: модель шагающей крепи 1, которая установлена в коробе 2, в которой дополнительно устанавливаются перегородки, позволяющие имитировать различное давление на модель шагающей крепи, как со стороны кровли, так и с боков выработки, посредством загрузки в короб различной породы 3. Лебедка 4 с электроприводом 5 обеспечивают постоянную скорость при замере усилия передвижки крепи тензодатчиком 6. Показания тензодатчика посредством экранированного кабеля 7 фиксируются цифровым терминалом 8 с выходом на персональный компьютер 9, где в реальном времени фиксируются время и усилие передвижки в программе COM Port Toolkit (рисунок 3.3).

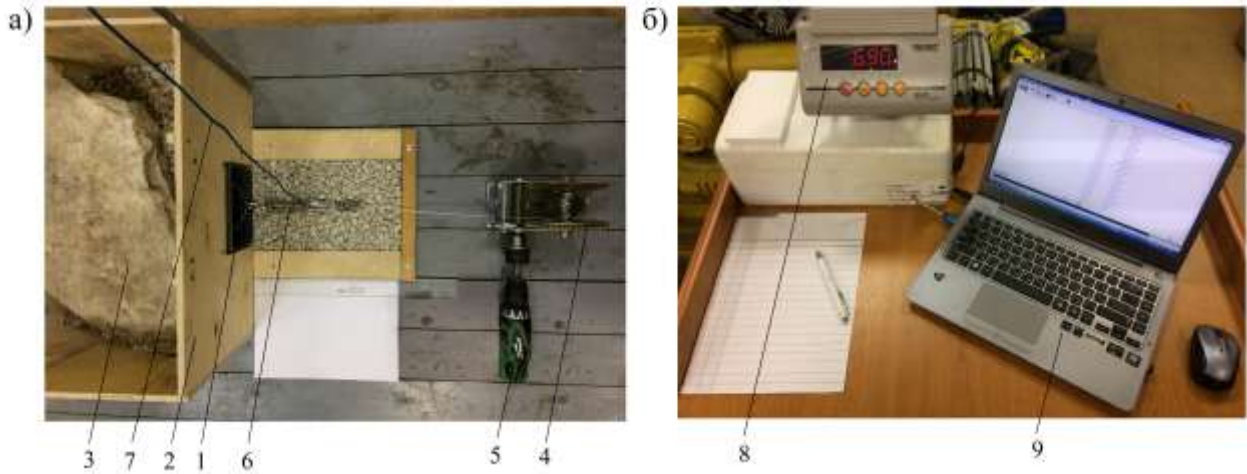


Рисунок 3.2 – Лабораторный стенд для определения фактического значения $k_{\text{сopрот}}$: а) общий вид; б) измерительное оборудование

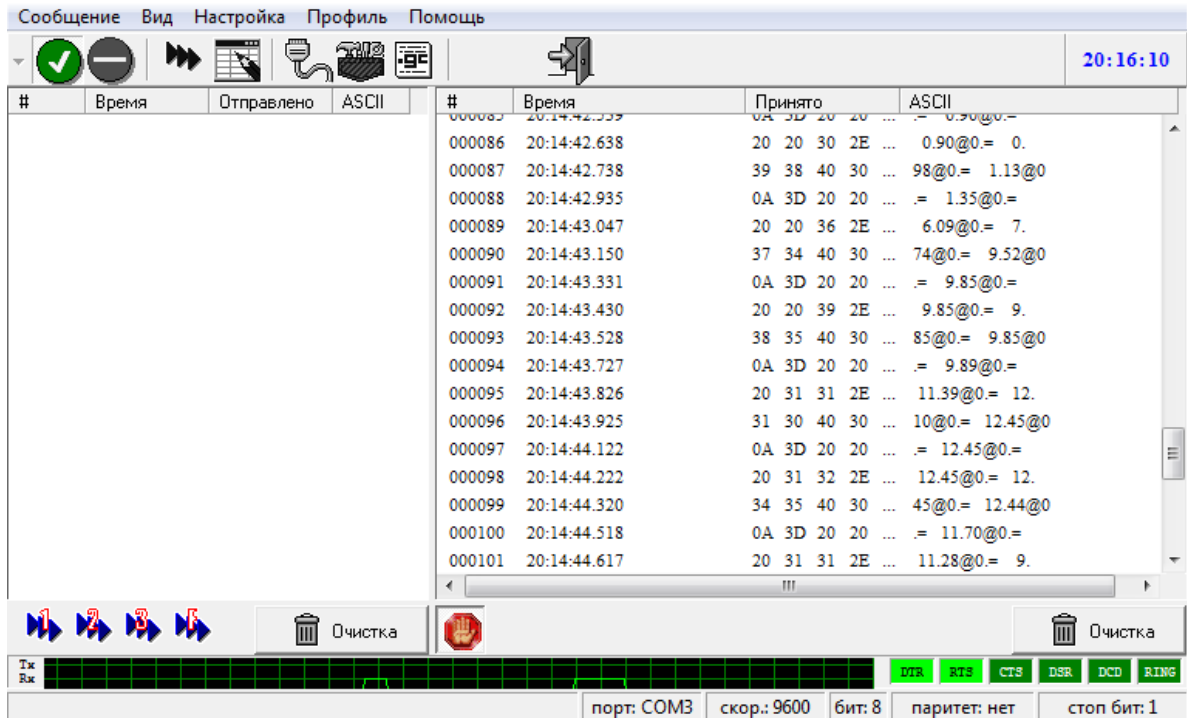


Рисунок 3.3 – Выходные данные полученные записанные в программе COM Port Toolkit

При проведении эксперимента использовался датчик 1 (рисунок 3.4) тензорезисторного типа предназначенный для преобразования воздействующей на них статической и квазистатической силы в нормированный выходной электрический сигнал. Фиксация датчика осуществлялась при помощи креплений 2. Характеристика тензодатчика приведена в таблице 3.1.

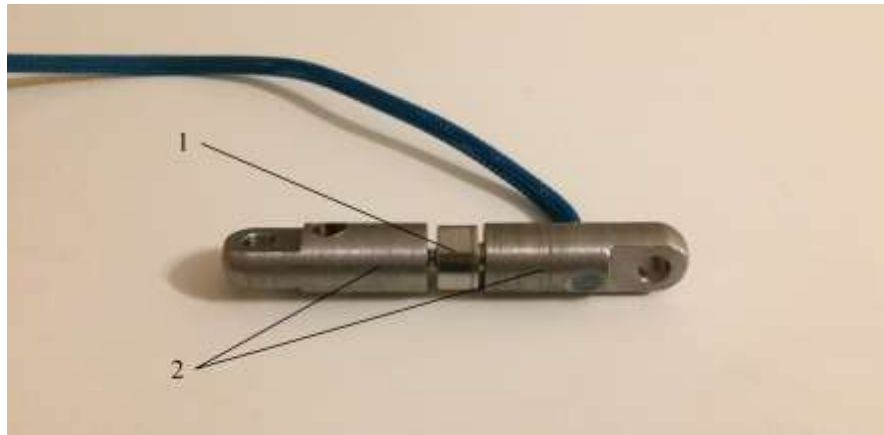


Рисунок 3.4 – Датчик тензорезисторного типа

Таблица 3.1 – Характеристика датчика

Наибольший предел измерения, Н	980	Рабочий диапазон температур, °С	-20..+80
Рабочий коэффициент передачи, мВ/В	1.0±20%	Предельно допустимая нагрузка, %	120
Класс точности, %	1	Разрушающая нагрузка, %	200
Класс защиты	IP66	Входное сопротивление, Ом	350±30
Материал	Нержавеющая сталь	Выходное сопротивление, Ом	350±5

Замер усилия передвижки модели крепи в реальном времени осуществлялся цифровым терминалом и фиксировался на персональном компьютере (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – общий вид цифрового индикатора и персонального компьютера
Характеристика цифрового терминала приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристика цифрового терминала:

Материал корпуса	Пластик повышенной прочности
Питания датчиков, В	±5 (100 мА)
Не более датчиков, шт x Ом	7x350 или 15x750
Интерфейс RS-232	Опция

3.4.1 Исходные данные

Устойчивость кровли и боков пройденной выработки зависит от мощности, прочности и трещиноватости породных слоев, входящих в литологический состав пород. К породам угольных месторождений относятся аргиллит ($2,3 - 2,6 \text{ г/см}^3$), алевролит ($2,00 - 2,44 \text{ г/см}^3$), песчаник ($2,64 - 2,70 \text{ г/см}^3$) и известняк ($1,9 - 2,7 \text{ г/см}^3$).

Экспериментальные исследования проводились на образцах известняковой породы с плотность – 2700 кг/м^3 и фракцией 10-15 мм (рисунок 3.6). Испытуемые образцы по своим физико-механическим свойствам соответствуют вмещающим угольный пласт породам.



Рисунок 3.6 – Образцы известняка

3.4.2 Методика проведения эксперимента

Установление зависимости коэффициента сопротивления передвижки крепи проходческого комплекса в известняковых породах шахт в зависимости от различных факторов следует осуществлять в соответствии с методикой проведения эксперимента [65].

Программа испытаний

Для определения влияния коэффициента сопротивления передвижки крепи комплекса для различных вариантов нагрузки крепи необходимо осуществить замеры усилия передвижки при усредненном значении скорости передвижки $v = 0,1 \text{ м/с}$, которая соответствует максимальной скорости передвижки шагающей крепи в горных условиях, а также шаге передвижки $t=0,2\text{м}$ при различных условиях нагружения модели крепи P_b и P_6 .

Значения нагрузок P_v и P_6 для модели крепи определялись на основе расчетов, представленных в главе 2 и приложении Б, а также с учетом масштабного коэффициента, определенного ранее в п. 3.3.

1.1. Определение коэффициента трения нижнего основания модели крепи при отсутствии вертикальных и боковых нагрузок.

1.2. При вертикальной нагрузке ($P_v=120$ Н) на перекрытия шагающей крепи.

1.3. При боковой нагрузке ($P_6=20$ Н) на ограждения шагающей крепи.

1.4. При вертикальной и боковой нагрузке на перекрытия шагающей крепи ($P_v=220$ Н и $P_6=60$ Н).

Определение минимального количества измерений с использованием методов статистической оценки

Для определения минимального количества измерений усилия передвижки модели крепи (F_m , Н) при различных вариантах нагружения крепи необходимо провести предварительный эксперимент с количеством замеров n которое составляет в зависимости от трудоемкости опыта от 2 до 50 [2, 25, 36, 66].

Минимальное количество измерений (минимальный объем выборки) определяется по формуле:

$$N_{\min} = \frac{\sigma^2 t^2}{\delta^2}, \quad (3.22)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение по одной выборке; δ – точность оценки; t

– значение независимой переменной в функции Лапласа $\Phi(t) = \frac{\gamma}{2}$ при $\gamma = 0,95$,

$t = 1,96$.

Среднеквадратичное отклонение по одной выборке определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (F_{m_i} - \bar{F}_m)^2}{n - 1}}. \quad (3.23)$$

где x_i – абсолютные значения параметра, n – число замеров в выборке.

Среднее значение параметра по одной выборке:

$$\overline{F}_m = \frac{\sum_{i=1} F_{m_i}}{n-1}. \quad (3.24)$$

Точность величины математического ожидания определяется по формуле:

$$\delta = \frac{t_\gamma \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (3.25)$$

где n – число замеров в выборке; t_γ – квантиль распределения Стьюдента, определяемый для заданной доверительной вероятности γ и числа степеней свободы $f (f = n - 1)$ [25].

В таблице 3.3 представлены максимальные значения усилий передвижки модели крепи F_{m_i} , полученные при проведении эксперимента, а так же результаты расчета дисперсии воспроизводимости, точности величины математического ожидания и минимального количества измерений для каждой серии опытов.

Таблица 3.3 – значения журнала проведения эксперимента, а так же результаты расчета для каждой серии опытов

№ опыта	Значение F_{m_i} в серии опытов				\overline{F}_m	σ	δ	N_{\min}
	F_{m_1}	F_{m_2}	F_{m_3}	F_{m_4}				
1	15,288	13,722	15,729	14,721	14,86	0,87	1,38	1,52
2	113,052	95,942	110,446	104,468	105,98	7,59	12,08	1,52
3	28,973	30,619	32,479	29,584	30,41	1,54	2,44	1,52
4	241,086	233,788	235,357	224,898	233,89	6,74	10,72	1,52

В соответствии с формулой (3.22), а также результатами расчета, представленными в таблице 3.3 необходимо осуществить не менее 2-х опытов (N) для каждой серии из варианта нагружения модели крепи.

На основе формул 3.23 – 3.25 необходимо проверить воспроизводимость измерений.

Доверительный интервал не должен превышать значения

$$J_z = \frac{2 \cdot \varepsilon}{\bar{x}} \leq (3 - 5\%) \quad (3.26)$$

Доверительный интервал среднеквадратичного отклонения (дисперсия)

$$J_\sigma = \sigma \sqrt{\frac{n-1}{\chi_1^2}} \div \sigma \sqrt{\frac{n-1}{\chi_2^2}}, \quad (3.27)$$

где χ_1 и χ_2 - значения критерия Пирсона [25, 66].

Значение дисперсии не должно превышать:

$$J_{\sigma} = \frac{\sigma \cdot \sqrt{n-1} \cdot (\sqrt{1/\chi_1^2} + \sqrt{1/\chi_2^2})}{\bar{x}} \leq (3-5\%). \quad (3.28)$$

Однородность дисперсий проверяется по формуле

$$G = \frac{\sigma_{v\max}^2}{\sum_{v=1}^N \sigma_v^2} \quad (3.29)$$

Воспроизводимость оценивается на основе однородности дисперсий при сравнении с критическим значением Кохрена [25].

3.5 Последовательность проведения испытаний

Перед проведением экспериментальных исследований на основание короба экспериментального стенда (рисунок 3.7) устанавливается модель шагающей крепи. Далее в корпус короба устанавливаются перегородки, позволяющие имитировать различное давление на модель шагающей крепи, как со стороны кровли, так и с боков выработки, посредством загрузки в короб различной породы. Далее при включении лебедки обеспечивалось выдвигание модели шагающей крепи из под породы со средней скоростью.

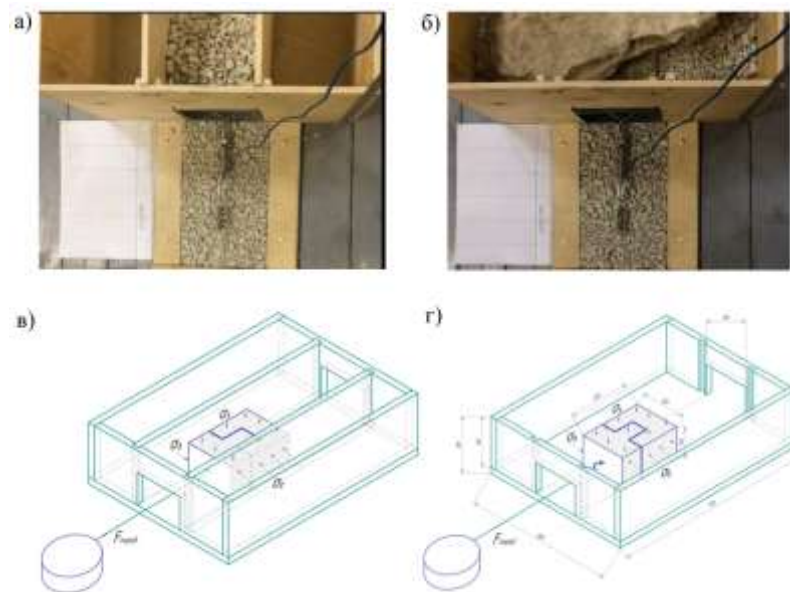


Рисунок 3.7 – Лабораторный стенд для определения фактического значения $k_{\text{сопрот}}$: а, в – с использованием ограничивающих перегородок; б, г – без использования ограничивающих перегородок

Исследования по определению зависимости коэффициента сопротивления передвижки шагающей крепи проходческого комплекса в известняковых породах шахт в зависимости от различных вариантов нагрузки крепи проводились в соответствии с разработанной программой-методикой. Замер усилия передвижки модели крепи производился тензодатчиком, показания тензодатчика фиксировались цифровым индикатором с выходом на персональный компьютер, где в реальном времени фиксировались время и усилие передвижки в программе.

Калибровка измерительного оборудования

При проведении эксперимента использовался датчик тензорезисторного типа предназначенный для преобразования воздействующей на них статической и квазистатической силы в нормированный выходной электрический сигнал. Показания с тензодатчика обрабатывались цифровым терминалом и в реальном времени фиксировались на персональном компьютере.

Для определения и подтверждения действительных значений, определяемых метрологических характеристик и пригодности средств измерений проводится калибровка оборудования с использованием коэффициента калибровки [21, 44].

Значения коэффициента калибровки

$$K = \frac{\sigma}{A} \quad (3.30)$$

где σ – сигнал на входе измерительной схемы (измеряемая величина), A – сигнал на выходе измерительной схемы. При калибровке σ рассчитывают или измеряют другим (более точным) прибором.

3.6 Результаты стендовых исследований шагающей крепи при различных видах нагружения

Результаты цикла экспериментов позволили построить диаграмму зависимости усилия передвижки модели крепи F_m , Н от времени, при различных вариантах нагружения модели крепи, среднем значении скорости передвижки ($v = 0,1$ м/с) и шаге передвижки ($l=0,2$ м) (рисунки 3.8 – рисунок 3.11) [71].

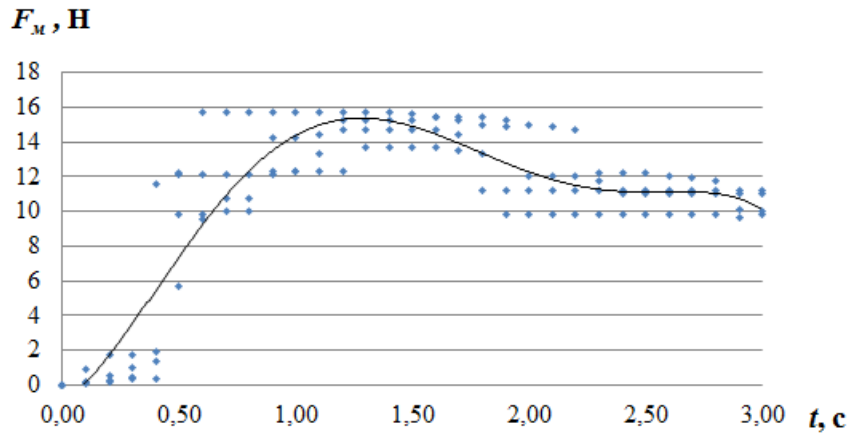


Рисунок 3.8 – Зависимости усилия передвижки модели крепи от времени передвижки при отсутствии приложенных нагрузок на модель крепи

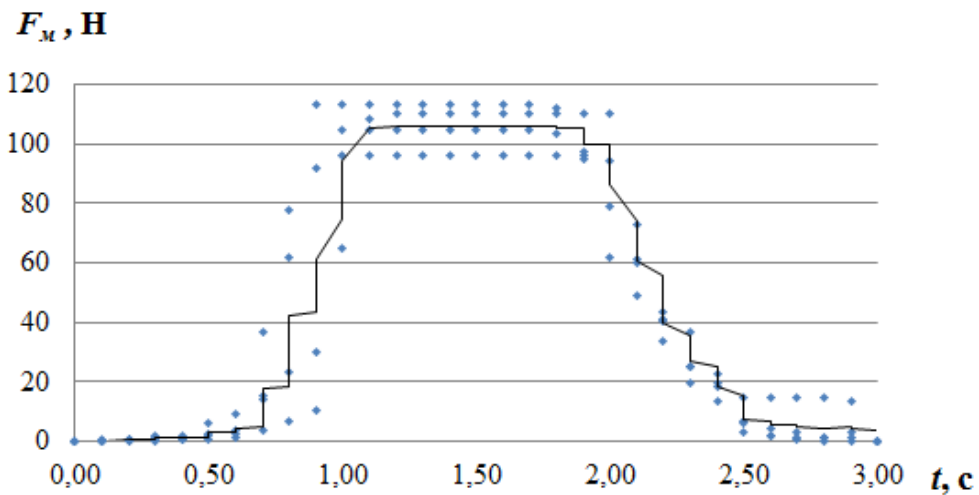


Рисунок 3.9 – Зависимости усилия передвижки модели крепи от времени передвижки при нагружении вертикальной нагрузкой, действующей на перекрытия модели крепи

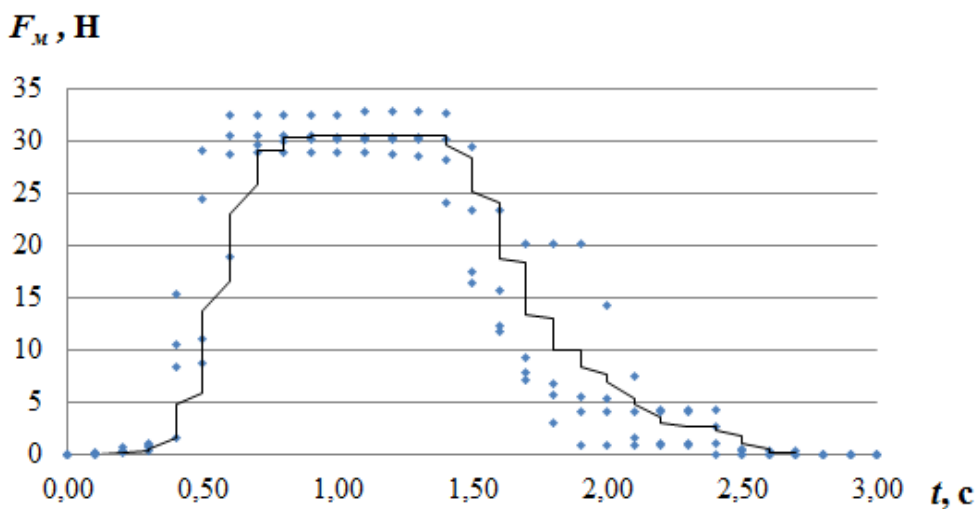


Рисунок 3.10 – Зависимости усилия передвижки модели крепи от времени передвижки при нагружении боковыми нагрузками, действующие на боковые стенки модели крепи

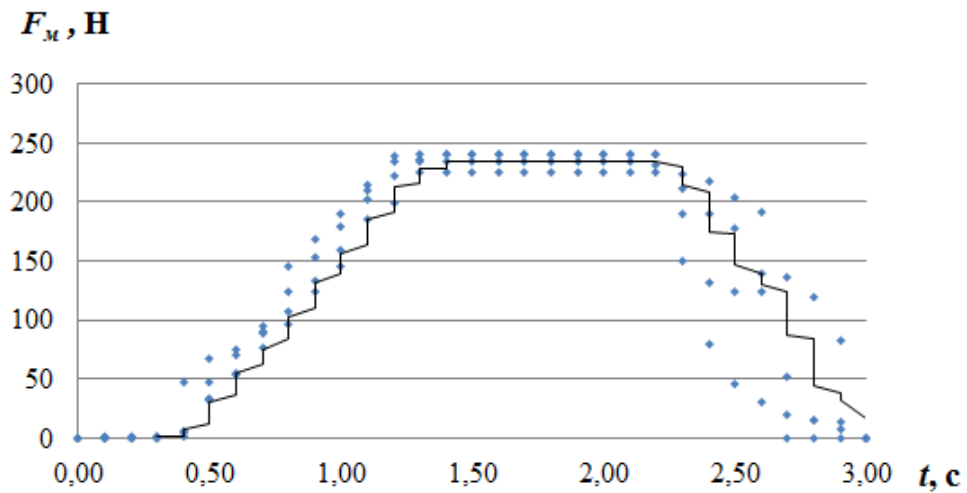


Рисунок 3.11 – Зависимости усилия передвижки модели крепи от времени передвижки при нагружении вертикальной и боковыми нагрузками, действующие на перекрытия, боковые стенки модели крепи

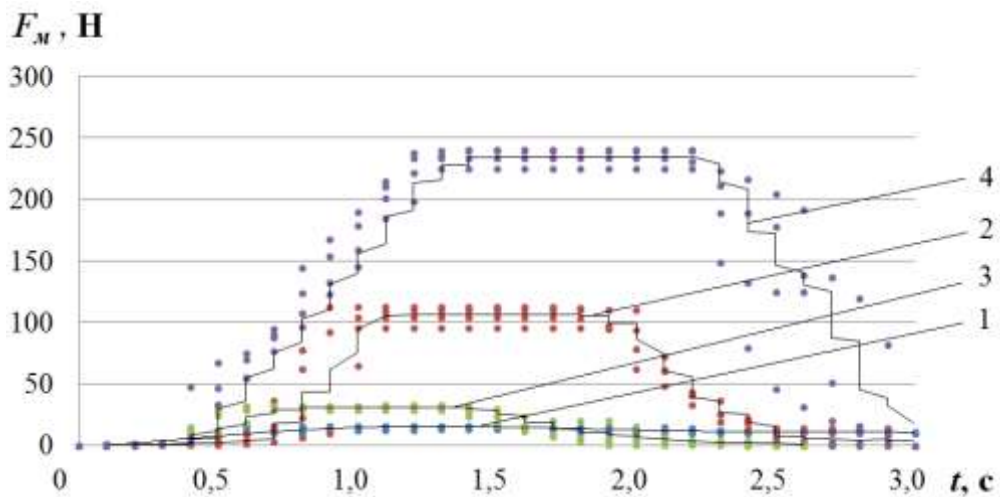


Рисунок 3.12 – Зависимости усилия передвижки модели крепи в образцах известняковых пород от времени: 1 – без нагружения модели; 2 – при нагружении вертикальной нагрузкой, действующей на перекрытия со стороны кровли выработки; 3 – боковыми нагрузками, действующие на боковые стенки крепи со стороны боков выработки; 4 – при нагружении вертикальной и боковыми нагрузками, действующие на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки

Как видно из рисунков 3.8 – 3.11, для четырех различных условий проведения эксперимента, графики зависимостей усилий передвижки модели крепи во времени существенно отличаются по величине усилия и имеют одинаковые точки перегиба. То есть, в определенное время происходит изменение усилий передвижки крепи, например, на графиках (рисунок 3.12, п. 1-4) только в момент времени соответствующий 0,5 с усилия передвижки модели крепи резко возрастают. Задержка во времени обуславливается включением электропривода и натягом стального троса на барабане лебедки. Дальнейшие изменения значений

усилий передвижки модели крепи происходят примерно в момент, соответствующий 0,7 – 1,1 с начала проведения эксперимента, при этом кривые на графике выполаживаются и принимают значения: 15,4 Н; 104,5 Н; 29,6 Н; 233,8 Н (рисунок 3.12, п. 1-4). Стабилизация усилия передвижки модели крепи при вытягивании крепи по почве выработки (рисунок 3.12, п. 1) характерна для интервала времени 2 – 3 с; 1 – 2 с при нагружении модели со стороны кровли выработки (рисунок 3.12, п. 2); 0,7 – 1,5 с при нагружении модели крепи со стороны боков выработки (рисунок 3.12, п. 3); 1,2 – 2,2 при нагружении модели крепи со стороны кровли и боков выработки (рисунок 3.12, п. 4). В следующие 2 – 3 с от начала эксперимента кривые 1, 2, 3, 4 (рисунок 3.12, п. 1 – 4) уменьшаются и стабилизируются со значениями усилий передвижки 5 – 16 Н.

Анализ графиков на рисунке 3.12 показывает:

1. Для различных вариантов нагружения на перекрытия, боковые стенки модели крепи со стороны кровли и боков выработки могут быть определены тяговые усилия модели крепи, соответствующие максимальным значениям осциллограммы:

- усилие передвижки модели без нагружения соответствует 15,4 Н (кривая 1 на рисунке 3.12);

- усилие передвижки модели при наличии вертикальной нагрузки, действующей на перекрытие модели со стороны кровли выработки составляет 104,5 Н (кривая 2 на рисунке 3.12);

- усилие передвижки модели при наличии боковых нагрузок, действующих на боковые стенки крепи со стороны боков выработки, соответствует 29,6 Н (кривая 3 на рисунке 3.12);

- усилие передвижки модели при наличии вертикальной, боковых нагрузок, действующих на перекрытие, боковые стенки крепи модели со стороны кровли, боков выработки, соответствует 233,8 Н (кривая 4 на рисунке 3.12);

2. Увеличение нагружения крепи упрощает осциллограмму и позволяет сразу получить максимальное значение тягового усилия в первые секунды опыта (кривые 2 – 4, рисунок 3.12);

3. Локальные точки перегибов на осциллограммах, изменения амплитуды силы при всех разных режимах нагружения модели происходят приблизительно в одно и тоже время (0,5; 1; 2,5 с), скорее всего эти перегибы в графиках обусловлены условиями проведения эксперимента и связаны с различной степенью выдвижения модели крепи относительно короба.

4. Графики осциллограмм усилий передвижки модели крепи во времени подтверждают теоретические зависимости главы 2 о связи усилия передвижки крепи при различных вариантах нагружения со стороны кровли и боков через график сопротивления передвижки крепи, причем из графика видно (кривая 4 на рисунке 3.12), что этот коэффициент сопротивления передвижки существенно выше 1.

Таблица 3.4 – Значения доверительного интервала и дисперсии для графиков зависимости усилия передвижки модели крепи в образцах известняковых пород от времени.

Показатели	Название графиков			
	$P_B=0 \text{ Н}, P_6=0 \text{ Н}$	$P_B=120 \text{ Н}$	$P_6=20 \text{ Н}$	$P_B=220 \text{ Н}, P_6=60 \text{ Н}$
Доверительный интервал $J_z, \%$	0,16	0,23	0,16	0,1
Дисперсия $J_{\sigma}, \%$	0,58	0,71	0,5	0,29

Из таблицы 3.4 видно, что при доверительной вероятности $p = 0,95$, значения доверительного интервала и дисперсии, определенные по формулам 3.27, 3.28 не превышают допустимого значения (5 %), из чего следует достаточность воспроизводимости экспериментальных данных [25].

После расчета значений дисперсии отклонения для каждой серии опытов с одинаковыми числами степеней свободы (таблица 3.3) необходимо проверить однородность дисперсий, используя критерий Кохрена, основанного на законе распределения отношения максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий [2, 25, 66].

$$G = \frac{\sigma_{v \max}^2}{\sum_{v=1}^N \sigma_v^2}; \quad (3.31)$$

$$G = \frac{\sigma_{v\max}^2}{\sum_{v=1}^N \sigma_v^2} = \frac{57,61}{280,23} = 0,2055,$$

где G – критерий Кохрена; $\sigma_{v\max}^2$ – максимальная дисперсия в серии; $\sum_{v=1}^N \sigma_v^2$ – сумма всех дисперсий.

Проверка гипотезы о воспроизводимости измерений, заключается в сравнении расчетного и табличного значения критерия Кохрена. Ряд дисперсии однороден, если соблюдается условие $G \leq G_{\text{табл}}$.

При уровне значимости $\alpha = 0,05$, числе степеней свободы $f=4-1 = 3$ и числе экспериментов $n=4$ находим табличное значение критерия Кохрена $G_{\text{табл}}=0,6841$ [25, 66].

Проведенные расчеты подтверждают однородность дисперсии.

Как говорилось во 2 главе п. 2.3 наибольшее значение усилия передвижки крепи проходческого комплекса, при поведении проходческих работ, проявляется при нагружении перекрытий и ограждений частей комплекса со стороны кровли и боков выработки малого сечения (рис. 3, п. 4) и составляет ($F_m = 233,78$ Н).

Как говорилось во 2 главе п. 2.3, наибольшее значение усилия передвижки крепи комплекса, а также коэффициента сопротивления передвижки крепи проходческого комплекса, при поведении проходческих работ, проявляется при нагружении перекрытий и ограждений частей комплекса со стороны кровли и боков выработки малого сечения (рисунок 2.13, п. 4) и составляют ($F_m = 118,2$ кН и $k_{\text{сопр}} = 6$). Максимальные значения нагрузок на части комплекса со стороны выработки обуславливаются низким значением крепости породы ($f=1$) при котором устойчивость пород кровли и боков выработки снижается и образуется свод обрушения (рисунок 2.10, Приложение Б).

На основе результатов, полученных экспериментально, видно (рисунок 3.12, п. 4, что наибольшее значение усилия передвижки модели крепи комплекса составляет ($F_m = 233,78$ Н) при варианте нагружения на перекрытия и боковые стенки модели. С учетом масштабного коэффициента ($k_m = 500$) при переходе от

параметров модели к параметрам оригинала значения усилия передвижки секции крепи комплекса и коэффициента сопротивления передвижки составляют $F_n = 116,9$ кН и $k_{\text{сопр}} = 5,9$), что подтверждает значения, полученные теоретически.

Анализ полученных значений показал:

1. коэффициент трения стали по породе 0,3 – 0,4;
 2. интервал коэффициента сопротивления передвижки крепи, величина которого рассчитывалась во 2 главе, в эксперименте соответствует теоретическим значениям и составляет 0,4-6.

3. максимальная величина коэффициента сопротивления передвижки соответствует самому неблагоприятному режиму выдвигания модели, при наличии вертикальных и боковых нагрузок на шагающую крепь, при этом коэффициент сопротивления движению равен 6.

Экспериментальные исследования и стенд в целом подтвердили правильность выбора допущений, принятых в теоретической части, позволили установить фактическое значения коэффициента трения и фактический интервал коэффициента сопротивления передвижки крепи комплекса.

3.7 Анализ результатов численного моделирования процесса нагружения шагающей крепи проходческого комплекса в среде Phase2

Определение нагрузки на шагающую крепь и конфигурации зоны неупругих деформаций, при проведении выработки с сечением $2,25$ м² для проведения проходческих работ, проводились с использованием программы Phase2.

На рисунке 3.13 представлена конфигурация зоны неупругих деформаций при различных вариантах разрушения кровли, боков и почвы выработки.

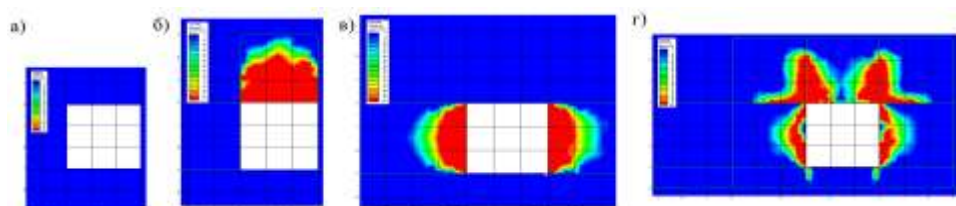


Рисунок 3.13 – Зоны неупругих деформаций: а – отсутствие внешних нагрузок на механизированную шагающую крепь; б – нагружение со стороны кровли выработки; в – нагружение со стороны боков выработки; г – нагружение со стороны кровли и боков выработки

На рисунке 3.13 зона неупругих деформаций представлена изменением цвета. Область красного цвета соответствует полному разрушению пород, окружающих выработку, область зеленого цвета характеризует наличие трещиноватости близлежащих пород, а область синего цвета соответствует устойчивым породам.

В соответствие с зоной неупругих деформаций определяются нагрузки на шагающую крепь при различных вариантах разрушения кровли, боков и почвы выработки по формуле

$$Q = \gamma S l, \text{ кН}, \quad (3.32)$$

где γ – плотность пород в выработке; S – площадь зоны неупругих деформаций, м^2 ; l – длина шагающей крепи, м.

По результатам численного моделирования значения нагрузок на 1 м шагающей крепи составляют:

- $Q=0$ кН при отсутствии внешних нагрузок на механизированную шагающую крепь;
- $Q=50$ кН при нагружении со стороны кровли выработки;
- $Q=14$ кН при нагружении со стороны боков выработки (значения для боковой нагрузки, действующей с одной стороны);
- $Q=90$ кН при нагружении со стороны кровли и боков выработки.

Значения нагрузок на шагающую крепь совпадают с теоретическими значениями, полученными во 2 главе.

3.8 Анализ 3D моделирования процесса нагружения шагающей крепи проходческого комплекса в среде AutoDesk Inventor

Постановка задачи:

Необходимо определить предел нагрузки (напряжений) деталей крепи проходческого комплекса, а также коэффициент запаса прочности и смещений в зависимости от максимальных усилий (точечных, распределенных) со стороны кровли и боков выработки, полученных во 2 главе.

Анализ критических напряжений в элементах крепи в зависимости от точечного нагружения перекрытий крепи проходческого комплекса

На рисунке 3.14 показаны результаты моделирования процесса деформации частей механизированной шагающей крепи методом конечных элементов в зависимости от приложенной точечной нагрузки, имитирующей вариант нагружения перекрытий крепи крупными кусками породы с выступающими углами, образовавшимися в результате обрушения кровли и боков выработки.

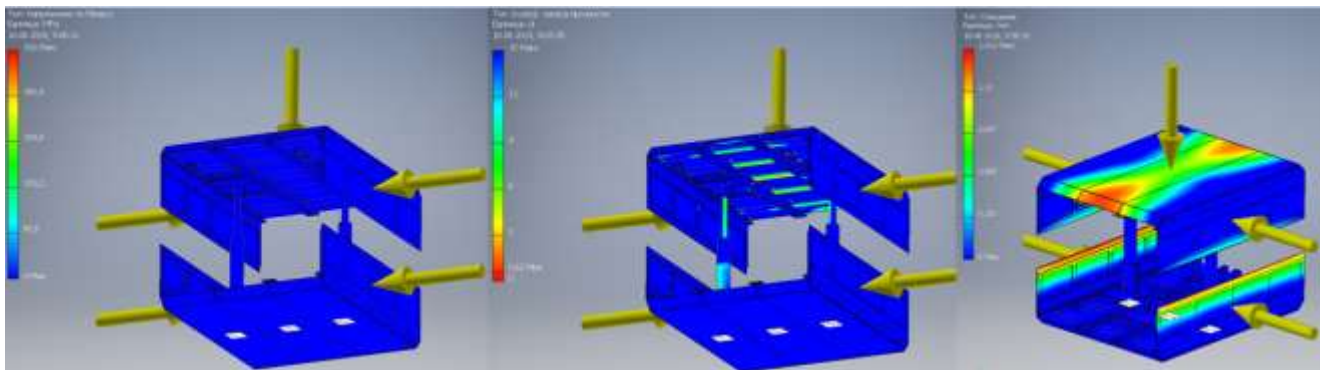


Рисунок 3.14 – Интервалы изменения значений: а – предела нагрузки (напряжений) деталей крепи; б – коэффициент запаса прочности деталей крепи; в – смещений в пространстве

Результаты моделирования частей механизированной шагающей крепи в зависимости от приложенных точечной нагрузок 109 кН, действующей со стороны обрушенной кровли выработки и 14 кН, действующих на боковые стенки перекрытий крепи показывают, что предел напряжений в деталей крепи в среднем составляет 50 МПа, это не превышает предел текучести выбранной стали Сталь 45 (рисунок 3.14, а); минимальное значение коэффициента запаса прочности деталей крепи составляет 4 (рисунок 3.14, б), а максимальное значение смещения верхнего перекрытия составляет 1,4 мм (рисунок 3.14, в).

Результаты моделирования показали, что конструктивные параметры крепи проходческого комплекса определены верно.

Анализ критических напряжений в элементах крепи в зависимости от распределенного нагружения перекрытий крепи проходческого комплекса

На рисунке 3.15 показаны результаты моделирования методом конечных элементов частей механизированной шагающей крепи в зависимости от приложенной распределенной нагрузки, имитирующей вариант нагружения перекрытий крепи кусками породы, образовавшиеся в результате обрушения

кровли и боков выработки, которые в совокупности образуют усредненной давление на поверхностях перекрытий.

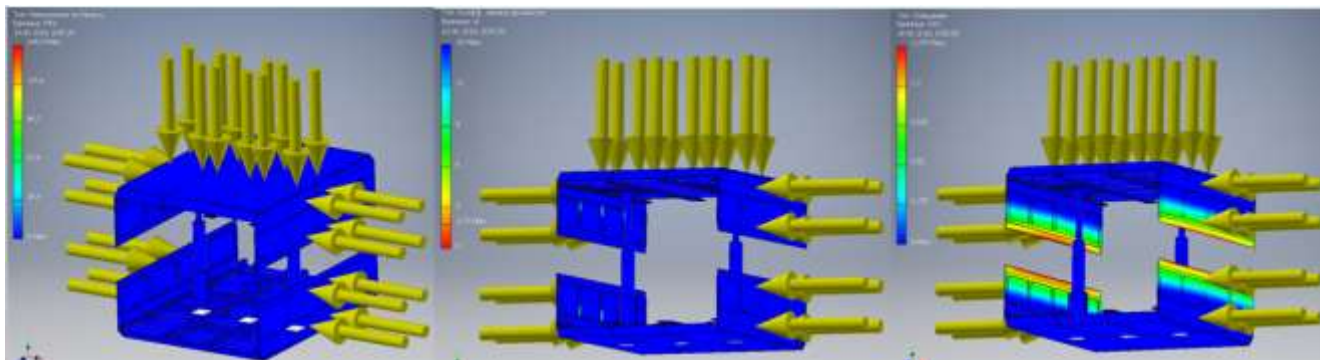


Рисунок 3.15 – Интервалы изменения значений: а – предела нагрузки (напряжений) деталей крепи; б – коэффициент запаса прочности деталей крепи; в – смещений в пространстве

Результаты моделирования частей механизированной шагающей крепи в зависимости от приложенных распределенных нагрузок (давления) 0,04 МПа, действующего со стороны обрушенной кровли выработки и 0,0033 МПа, действующих на боковые стенки перекрытий крепи показывают, что предел напряжений в деталей крепи в среднем составляет 15 МПа, что не превышает предел текучести выбранной стали Сталь 45 (рисунок 3.16, а); минимальное значение коэффициента запаса прочности деталей крепи составляет 9 (рисунок 3.15, б), а максимальное значение смещения боковых перекрытий составляет 1,4 мм (рисунок 3.15, в).

Результаты моделирования показали, что конструктивные параметры крепи проходческого комплекса определены верно.

Выводы по третьей главе

На основе экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика лабораторных исследований для изучения усилия перемещения модели крепи проходческого комплекса и создан лабораторный стенд, позволяющий получить осциллограмму изменения усилия передвижки крепи во времени.

2. Установлена экспериментальная зависимость усилия передвижки модели комплекса на базе шагающей крепи от времени при различных вариантах

нагрузки его частей на основе которой при переходе от параметров модели к параметрам оригинала с учетом масштабного коэффициента подтвержден интервал значений коэффициента сопротивления передвижки частей проходческого комплекса ($k_{сопр}=0,4-6,0$).

3. Доказана сложная структура усилия передвижения крепи, связанная с различными случаями соотношений нагрузки перекрытий боковых частей.

4. В среде AutoDesk Inventor методом конечных элементов при моделировании процесса нагружения 3D модели секции шагающей крепи проходческого комплекса получены эпюры напряжений крепи, выявлены критические напряжения в элементах шагающей крепи комплекса и выполнено усиление конструкций.

ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК МАЛОГО СЕЧЕНИЯ

Проходческий комплекс может использоваться не только для выполнения проходческих работ на угольной шахте. Возможны следующие дополнительные условия применения проходческого комплекса на базе шагающей крепи:

1. Проведение вспомогательных выработок не только малого сечения, например вентиляционных сбоек на угольных шахтах.

2. Проведение выработок малого сечения при разведке месторождений.

3. Проведение вспомогательных выработок людских ходков при строительстве метрополитенов, например при проходке специальных выработок, в условиях шахт ОАО «Метрострой» Санкт-Петербурга.

4. Строительство подземных переходов под автомобильными трассами, а также под городскими улицами. Эта область применения является очень важной, поскольку скоростное строительство подземных переходов, особенно под многорядным шоссе, обычным способом с применением открытых горных работ может на весьма длительное время ограничить движение по магистрали, что применительно для больших городов неминуемо вызовет в выходные дни и часы пик затруднение движения и заторы на дорогах.

5. Для скоростного строительства обводных выработок (каналов) при борьбе с затоплением участков суши во время наводнений.

6. Для строительства подземных переходов в центральной части городов несвязанных со строительством метрополитена.

7. Для строительства скоростных специальных выработок при ликвидации аварий после землетрясений.

Породы, в которых предполагается проведение проходческих выработок на угольных шахтах, скорее всего могут быть представлены слабоустойчивыми массивами (см. главы 2–3) с $f = 1-2$, а в забоях при проходке вспомогательных или специальных выработок шахт метростроя, например, ОАО «Метрострой» г. Санкт-Петербурга, массивами с $f \leq 2$, с пропластками крепких пород (известняк, песчаник или кварцеванный песчаник) по напластованию с $f \leq 6$. Поэтому в

диссертации рассматриваются и патентуются конструкции узлов и агрегатов, параметры которых определены в результате теоретических и экспериментальных исследований (см. выше), при этом различные условия использования проходческого комплекса предполагают как исполнительных органов для взаимодействия с углем и мягкими породами, так и исполнительных органов для взаимодействия с крепкими породами. Таким образом, конструкция проходческого комплекса, которая обеспечивает скоростное проведение выработки малого сечения, может содержать резцовые коронки или ударники, например, перфораторы-ударники, способные работать в режиме отбойного молотка, а в случае зажимания пики породой переключаться на режим бурения. Ниже рассмотрены запатентованные конструкции комплекса для проходческих работ и модификации основных исполнительных органов.

4.1 Исполнительный орган в виде перфоратора-ударника

Как указывалось выше (глава 2), в качестве породоразрушающего инструмента исполнительного органа проходческого комплекса при проведении проходческих работ (проходка выработки малого сечения) по крепким породам необходимо выбирать ударники или отбойные молотки для эффективной отбойки поверхности забоя [53]. Например, в массивах, включающих глинистые прослойки или вязкие породы, пики отбойных молотков могут «вязнуть» в массиве, поэтому в соответствии с патентом [52] разработана конструкция перфоратора-ударника – устройства (рисунок 4.1, а), способного работать в двух различных режимах: как отбойный молоток (ударный способ разрушения) и как перфоратор (ударно поворотный способ). Вращение пики в перфораторе-ударнике включается на непродолжительное время с целью освобождения пики, зажатой в массиве.

В нормальных условиях при отбойке перфоратором-ударником крепких пород, прослоек в горном массиве используется ударный способ бурения, при котором на пику ударника передается ударный импульс. «В данных условиях работы перфоратора-ударника сегменты 24 храпового колеса 22 находятся в

раздвинутом положении (рисунок 4.1, б) и пружинами 25 прижимаются к корпусу 23. В этот момент собачки 21 не входят в зацепление с зубьями храпового колеса 22, а резиновые прокладки 28 перекрывают зазоры между сегментами 24» [52].

«Если в момент обуривания забоя пику перфоратора-ударника заклинивает в горном массиве, то для разрушения окружающих пику твердых включений включается на короткое время режим перфоратора, позволяя тем самым высвободить пику перфоратора-ударника, используя помимо ударного импульса еще и поворот инструмента. «В данных условиях работы перфоратора-ударника включение ударно-поворотного способа бурения осуществляется открытием пускового крана 26. Пружины 25 между корпусом 23 и сегментами 24 растягиваются, в то время как сегменты 24 храпового колеса 22 сдвигаются и становятся единым целым (рисунок 4.1, в), посредством нагнетания сжатого воздуха в пространство 27. В конечном итоге после того как собачки 21 вошли в зацепление с зубьями храпового колеса осуществляется поворот инструмента» [52].

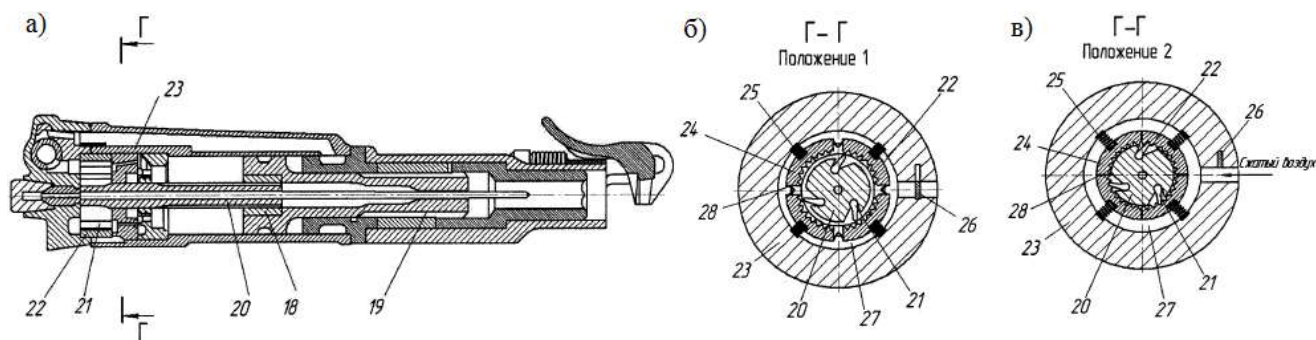


Рисунок 4.1 – Ударная система перфоратора-ударника: 1 – общий вид; 2 – режим отбойки; 3 – режим перфоратора

После освобождения пики, зажатой в массиве ударник выходит на нормальный режим работы, при котором передается только ударный импульс.

Перфораторы-ударники в составе проходческого комплекса помимо шахт могут эффективно использоваться также для проходки вспомогательных, специальных или вентиляционных выработок метростроя.

4.2 Конструкция проходческого комплекса для проведения выработок малого сечения

По результатам указанных выше теоретических и экспериментальных исследований предложена конструкция проходческого комплекса для проведения выработки малого сечения на угольных шахтах, рудниках и других горных выработках и может быть также использоваться в горноспасательном деле при возникновении аварий, когда необходимо в максимально короткие сроки пройти сбойку для эвакуации заблокированных шахтеров.

Техническим результатом использования изобретения является увеличение скорости проходки выработок и повышение безопасности ведения проходческих работ.

Возможный вариант проведения выработки малого сечения в экстремальных условиях при обрушении конвейерного и вентиляционного штреков в лаве шахты при локализации людей в зоне механизированного комплекса показан на рисунке 4.2.

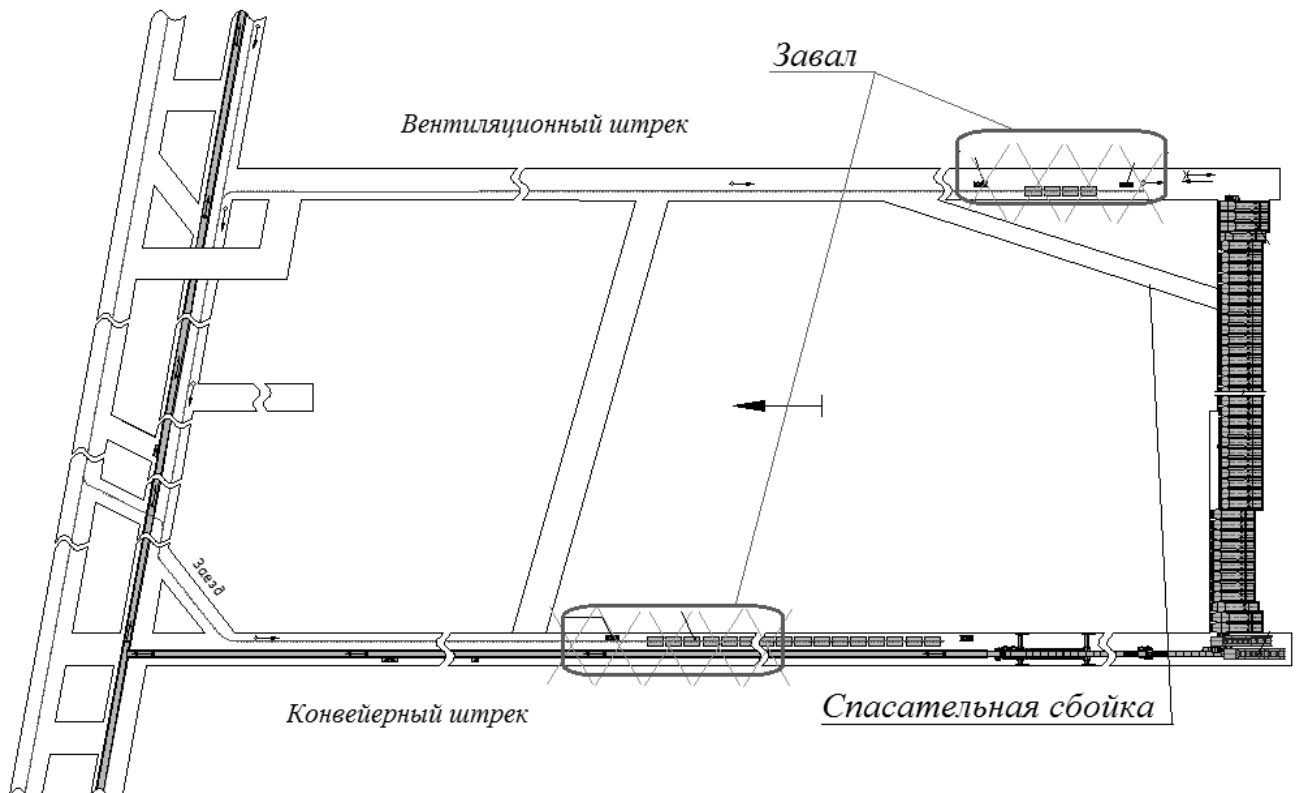


Рисунок 4.2 – Схема проходки выработки малого сечения в экстремальных условиях

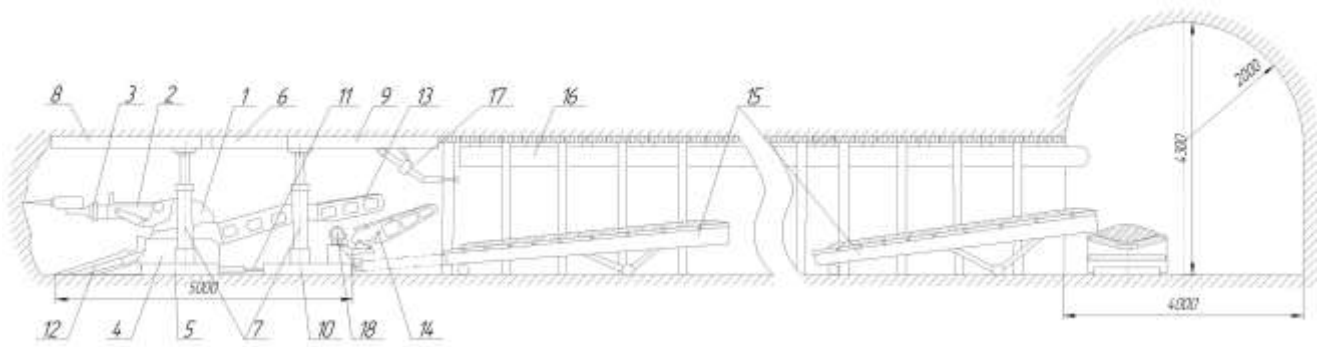


Рисунок 4.3 – Общий вид проходческого комплекса на базе шагающей крепи

Комплекс для проходческих работ включает проходческий комбайн 1 (рисунок 4.3), манипулятор 2 с возможностью установки сменных исполнительных органов 3, закрепленный на передней опоре 4 забойного основания шагающей крепи 5. Шагающая крепь 6 состоит из четырех гидродомкратов 7, забойного и заднего перекрытий 8, 9, забойного и заднего основания крепи 5, 10, гидроцилиндров передвижки 11 и конвейера шагающей крепи 14. В забойной части комбайн 1 снабжен нагребными лапами 12, а в задней части - ленточным конвейером 13. За комбайном установлены ленточные перегружатели 15. В верхней части выработки предусмотрены вентиляционные трубы 16. На задней части шагающей крепи 10 установлены крепеустановщик 17 и лебедка 18. Комплект рамной быстро устанавливаемой крепи из легких сплавов в сборе 19 (рисунок 4.4) состоит: стойка 20, затяжка 21, левая 22 и правая 23 части верхняка, центральная стойка 24 [53].

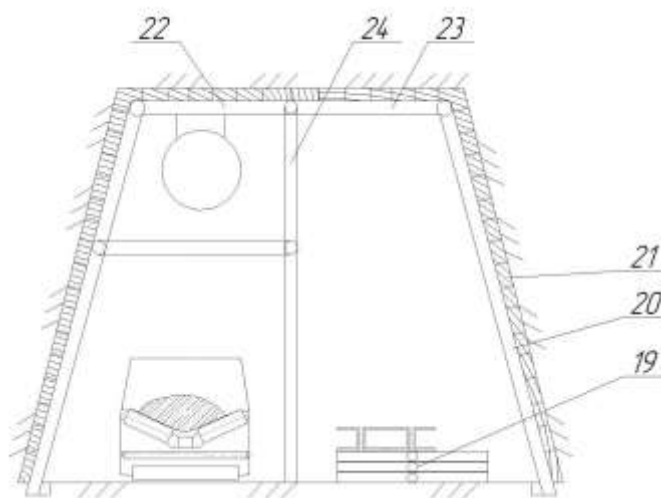


Рисунок 4.4 – Сечение закрепленной проходческой сбойки

4.3 Принцип работы проходческого комплекса

«Проходческий комплекс обеспечивает проведение скоростное проведение выработок малого сечения. Разрушение горного массива различной крепости производится проходческим комбайном 1 с использованием сменных исполнительных органов 3, смонтированных на манипуляторе проходческого оборудования 2, расположенного на поворотной передней опоре 4 основания 5 механизированной шагающей крепи 6, которая обеспечивает крепление призабойного пространства со стороны кровли и боков выработки малого сечения. Распор переднего и заднего перекрытия 8, 9 в кровлю осуществляется четырьмя гидростойками 7, установленные на переднем и заднем основаниях крепи 5, 10. Шагание механизированной крепи осуществляется гидродомкратами передвижки 11 по схеме указанной на рисунке 4.5. Нагребающими лапами 12 отработанная порода конвейером 13 перебрасывается на ленточные перегружатели 15, установленные последовательно вдоль выработки.

Вентилятором местного проветривания обеспечивается подача воздуха по вентиляционной гибкой трубе 16 (рисунок 4.3), смонтированной на рамной крепи.

Крепление кровли и боков пройденной выработки обеспечивается путем установки рамной крепи 19 (рисунок 4.4) с затяжкой, которая транспортируется по выработке к месту установки в сложенном состоянии лебедкой проходческого комплекса. Рамная крепь состоит из боковых и центральной стоек 20, 24, верхняка 22, 23. Монтаж рамной крепи осуществляется крепеустановщиком 17. Лебедкой 18 осуществляется доставка средств крепления и вспомогательных материалов» [53].

Перемещение проходческого комплекса по выработке при проведении проходческих работ (рисунок 4.5) осуществляется шагающей крепью методом шагания секций, посредством использования гидростоек и гидродомкратов передвижки. «а – перекрытие передней части опускается, б – передняя часть выдвигается на забой, в – перекрытие передней части поднимается до упора в кровлю, г – перекрытие задней части опускается, д – задняя часть передвигается к

передней части, е – перекрытия задней части поднимается до упора в кровлю» [53].

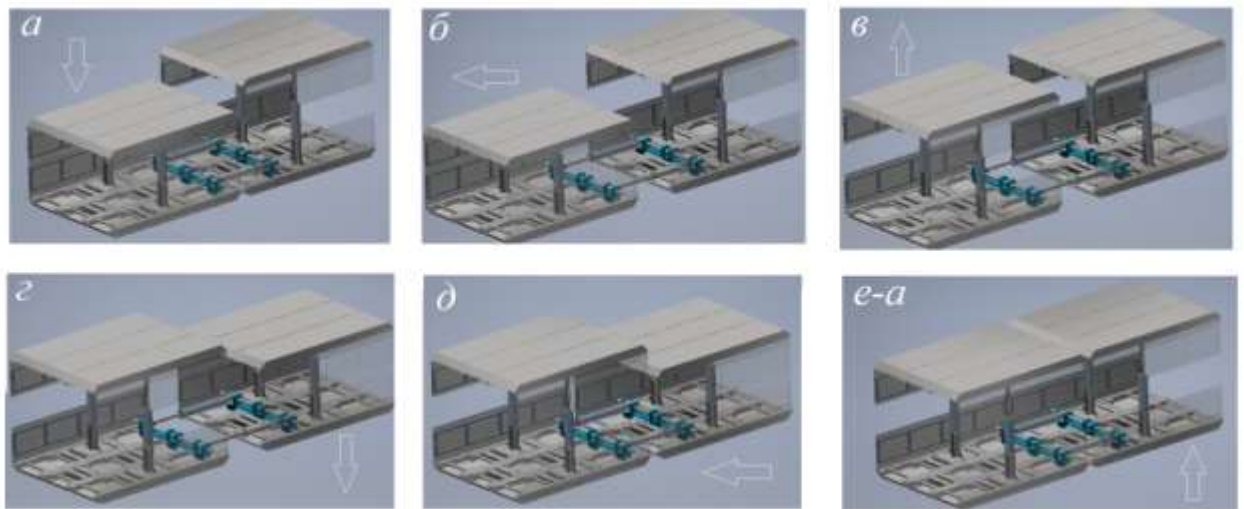


Рисунок 4.5 – Схема шагания механизированной крепи проходческого комплекса

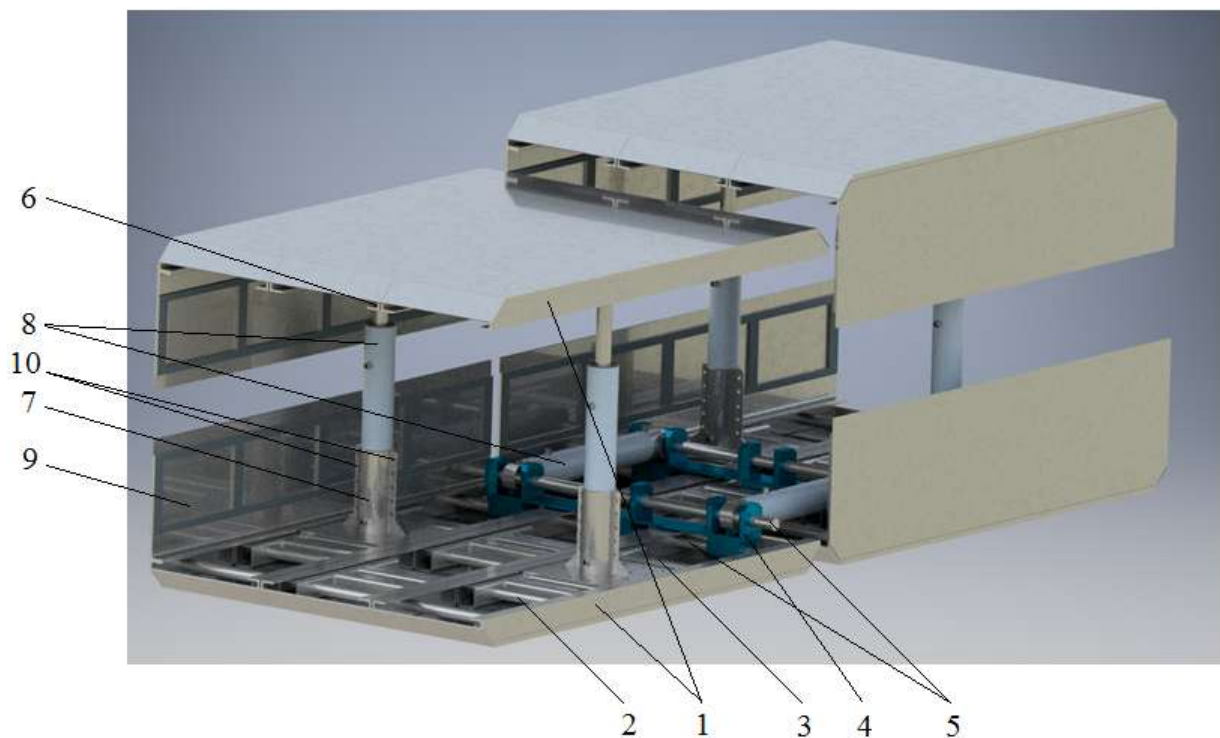


Рисунок 4.6 – Конструкция шагающей механизированной крепи проходческого комплекса:
 1 – перекрытия крепи; 2 – каркас основания (наружный); 3 – каркас основания (внутренний); 4 – упорный элемент; 5 – стержень стальной; 6 – основание крепи (верхнее); 7 – основание крепи (нижнее); 8 – гидростойка (гидродомкрат); 9 – ограждения крепи; 10 – крепежные элементы.

При проведении проходческих работ посредством проходки выработки малого сечения требуется обеспечивать высокую скорость монтажно-демонтажных работ, а также возможность ручной доставки узлов комплекса шахтерами в труднодоступные участки шахт. Данным требованиям соответствует

разработанная шагающая крепь, состоящая из однотипных частей (рисунок 4.6), масса которых не превышает 200 кг.

«Проходческий комбайн меняет сменные исполнительные органы в зависимости от крепости забоя. Так, например, сменный исполнительный орган в виде резцовой коронки используется, если проходческие работы ведутся по углю или мягкой породе, ударник для разрушения крепких включений, а дисковая пила для разрезания стальных препятствий. Если проходческие работы ведутся по углю или мягкой породе следует принимать высокопроизводительные транспортные установки (ленточные перегружатели), что обеспечивает высокую производительность по отбойке. Если проходка ведется по забою включающую крепкую породу, то производительность по отбойке будет незначительной. В этом случае целесообразно использовать скреперную доставку и не нужно производить сплошную затяжку» [53].

Таким образом, разработанная конструкция проходческого комплекса позволяет увеличить скорость проходки выработки малого сечения и повысить безопасность ведения проходческих работ.

4.4 Методика обоснования вариантов конкретных компоновок исполнительных органов проходческого комплекса

Предложенные конструкции проходческих комплексов [52, 53] и экспериментальные исследования модели шагающей крепи (глава 3), а также теоретические исследования способов разрушения забоя на основе имитационной модели (глава 2) позволяют разработать методику обоснования облика (вариантов) конкретных компоновок техническими средствами исполнительных органов проходческих комплексов для проходки выработок в различных горно-геологических условиях.

Первый этап – уточнения параметров конкретных компоновок техническими средствами исполнительных органов проходческих комплексов.

Вариант А.

1. Определяются крепость породы f , трещиноватость и блочность массива, а также параметры прослоек массива.
2. При $f > 3$ выбирается перфоратор-ударник в качестве породоразрушающего устройства исполнительного органа комплекса.
3. Определяются предпочтительные величины энергии удара и мощности перфоратора-ударника.
4. Рассчитывается производительность по отбойке для определенной схемы отработки забоя: выполняется центральны вруб на поверхности забоя с учетом наличия максимальных узлов трещин, далее забоя обрабатывается сколом в первоначальный вруб для оконтуривания выработки.
5. Рассчитывается время обработки забоя.

Вариант Б.

1. Определяются крепость породы f , трещиноватость и блочность массива, а также параметры прослоек массива.
2. При $f < 3$ выбирается резцовая коронка с гидравлическим приводом, например, ERKAT в качестве породоразрушающего устройства исполнительного органа комплекса.
3. Определяются предпочтительная величина мощности коронки.
4. Рассчитывается производительность по отделению коронкой породы от массива для определенной схемы отработки забоя: для угля – вертикальными резами, для породы и массивов с прослойками – горизонтальными резами.
5. Рассчитывается время обработки забоя.

Второй этап – определение типа крепи призабойной зоны и крепления выработки.

1. Определение параметров пород кровли и их характеристик.
2. По алгоритму, указанному выше (глава 2), уточняются параметры и состав призабойной крепи: для устойчивой кровли перекрытия шагающей крепи применяются в облеченном виде, а затяжка кровли выработки применяется только в местах нарушения сплошности кровли, для трещиноватой кровли – используют

комплектацию шагающей крепи согласно п. 4.2. Определяется шаг передвижки комплекса.

3. Определение времени выполнения основных операций проходческого цикла (обработка забоя, шагание призабойной механизированной крепи, установка рамного крепления сбойки, подтягивания конвейера, наращивание гибкой вентиляционной трубы).

4. Определение времени работы проходческого комплекса;

5. Окончательный выбор конструкции основных улов комплекса, уточнение перечня необходимых операций и составление циклограммы работы проходческого комплекса.

Представленные конструкции проходческой техники и методики их расчетов позволяют в достаточной степени рассчитать затраты времени для выполнения всех работ проходческого цикла.

4.4.1 Методика обоснования применения проходческого комплекса при проходческих операциях

I. Целью выполнения предварительных расчетов по настоящей методике является доказательство эффективности использования проходческого комплекса в сравнении с проходкой выработки малого сечения или выработки специального назначения с помощью использования рабочей силы, отбойных молотков и крепления деревом.

Для решения этой задачи предлагается использовать метод имитационного моделирования по алгоритму указанному ниже с использованием программой представленной в приложении.

II. Использование программы предполагает обоснование величин параметров исходных данных:

- сечение выработки в проходке ($s_{п}$), м²;
- крепость породы по шкале проф. М.М.Протоdjeяконова (f);
- плотность горной массы (γ), кг/м³;
- угол наклона выработки (α), град;

- длина выработки в проходке (L), м;
- подвигание забоя за цикл ($l_{\text{цикл}}$), м;
- число циклов (n), ед;
- i цикл (n_i), ед;
- тип крепи: анкерная или рамная;
- тип исполнительного органа: корончатый, ударный, дополнительный (гидравлические ножницы, дисковая пила, бетонолом).

III. Алгоритм.

Для установления структуры имитационной модели необходимо представлять последовательность действий при моделировании работы проходческого комплекса. Алгоритм этапов моделирования приведен на рисунке 2.19.

4.4.2 Пример методики расчета параметров проходческого комплекса

Таблица 4.1 – Исходные данные структуры имитационной модели

Наименование	Обозначение	Величина	Единицы измерения	Примечания
Сечение выработки в проходке	S_n	2,25	м ²	
Ширина выработки в проходке	b_n	1,5	м	
Высота выработки в проходке	h_n	1,5	м	
Крепость породы по шкале проф. М.М.Протогьяконова	f	≤ 3	-	
Плотность горной массы	γ	2700	кг/м ³	
Угол наклона выработки	α	0	град	
Длина выработки в проходке	L	100	м	
Подвигание забоя за цикл	$L_{\text{цикл}}$	0,5	м	
Число циклов	n	200	-	
i цикл	n_i	1	-	
Тип крепи (анкерная или рамная)	-	-	-	Рамная крепь
Тип исполнительного органа (ИО)	КИО	-	-	Используется корончатый ИО

1. Определение основных параметров производится для $n_i=1$

Расчет производительности корончатого ИО вращательного действия:

$$Q_{\text{тех}} = m_{\text{сл}} \cdot B \cdot v_{\text{п}} \cdot \kappa_{\text{тех}}, = 56,7 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.1)$$

где $m_{\text{сл}}$ – длина коронки, м; B – величина заглабления коронки в массиве угля или породы, м; $v_{\text{п}}$ – скорость перемещения коронки, м/мин; $\kappa_{\text{тех}}=0,7-0,9$.

Толщина снимаемого слоя корончатый исполнительным органом определяется по формуле:

$$m_{\text{сл}} = \frac{D_{\kappa}}{1,5} = 0,2 \text{ м}, \quad (4.2)$$

где D_{κ} – максимальный диаметр конической коронки по резцам ($D_{\kappa}=0,3$ м).

Усредненные значения величины заглабления коронки исполнительного органа в массив пород определяются по формуле:

$$B = \frac{D_{\kappa}}{f - 0,5} = 0,2 \text{ м}, \quad (4.3)$$

где f – крепость породы.

Значение максимально возможной скорости перемещения корончатого исполнительного органа по забою:

$$v_{\text{п}} = \frac{N_{\text{кИО}} \cdot \eta_{\text{кИО}}}{60 H_{\text{w}} m_{\text{сл}} B} = 26,25 \text{ м/мин}, \quad (4.4)$$

где $N_{\text{кИО}}$ – мощность привода исполнительного органа, кВт ($N_{\text{кИО}}=70$ кВт);

$\eta_{\text{кИО}}$ – КПД привода исполнительного органа ($\eta_{\text{кИО}} = 0,8-0,9$); H_{w} – удельная

энергоёмкость процесса разрушения, кВт·ч/м³ ($H_{\text{w}}=0,8-2,9$ кВт·ч/м³).

Определение времени обработки забоя

$$T_{\text{обр.заб } i} = \frac{V}{Q_{\text{техн}}} = \frac{Sl}{Q_{\text{техн}}} = 0,02 \text{ ч}, \quad (4.5)$$

где V – объем выработанного пространства, м³; S – площадь сечения выработки ($S=2,25$ м²); l – глубина выработанного пространства ($l=0,5$ м); $Q_{\text{тех}}$ – техническая производительность отбойки породы, м³/ч.

Определение времени обработки забоя

$$T_{\text{ОЗi}} = T_{\text{обр.заб } i} + T_{\text{заменаИО}} = 0,02 \text{ ч}, \quad (4.6)$$

где $T_{\text{заменаИО}}$ – время на замену исполнительного органа проходческого комплекса ($T_{\text{заменаИО}} = 0$ т.к. проходка ведется по однородной породе).

Расчет времени цикла шагания механизированной крепи:

$$T_{\text{цш}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{вп}} + T_{\text{пп}} + T_{\text{оз}} + T_{\text{вз}} + T_{\text{пз}} = 0,028 \text{ ч}, \quad (4.7)$$

где $T_{\text{оп}} + T_{\text{вп}} + T_{\text{пп}} + T_{\text{оз}} + T_{\text{вз}} + T_{\text{пз}}$ – время опускания, выдвигания, подъема передней и задней частей секции шагающей крепи проходческого комплекса гидродомкратами распора и передвижки.

1. Время выдвигания передней секции шагающей крепи проходческого комплекса гидродомкратами передвижки:

$$T_{\text{вп}} = \frac{V_1}{Q_1} = 8,355 \cdot 10^{-3} \text{ ч}, \quad (4.8)$$

где V_1 – объем рабочей (поршневой) полости гидродомкратов передвижки; Q_1 – расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня.

Объем рабочей полости:

$$V_1 = S_1 \cdot l_{\text{перед}} \cdot Z_{\text{ц}} = 7,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \quad (4.9)$$

где S_1 – площадь поршневой полости гидродомкрата передвижки; $Z_{\text{ц}}$ – количество гидродомкратов ($Z_{\text{ц}} = 2$); $l_{\text{перед}}$ – шаг передвижки ($l_{\text{перед}} = 0,5 \text{ м}$).

Площадь поршневой полости гидродомкрата определяется по формуле:

$$S_1 = \frac{D_{\text{п}}^2}{1,27} = 7,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \quad (4.10)$$

где $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня гидродомкрата передвижки.

Предварительный расчет диаметра гидродомкрата:

$$D_{\text{п}}^* = 1,13 \sqrt{\frac{(G_{\text{шк}i} \cdot k_{\text{сопр}} \cdot k_3) / Z_{\text{ц}}}{p \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{г}}}} = 0,1 \text{ м} \quad (4.11)$$

где $G_{\text{шк}i}$ – вес передней секции комплекса, Н; $k_{\text{сопр}}$ – коэффициент сопротивления передвижки секции крепи комплекса ($k_{\text{сопр}} = 6$); k_3 – коэффициент запаса при дроссельном регулировании следует принимать 1,5-3 в соответствии с техническими требованиями к цилиндрам; $Z_{\text{ц}}$ – количество гидродомкратов или гидростоек ($Z_{\text{ц}} = 2$); p – номинальное давление (МПа); $\eta_{\text{м}}$ – коэффициент полезного действия (0,85–0,96); $\eta_{\text{г}}$ – коэффициент потерь давления в гидросистеме (0,75–0,94).

Окончательный выбор диаметров поршней гидроцилиндров секции крепи, а также рабочего давления в гидросистеме осуществляется с использованием номограммы определения типов гидродомкрата (рисунок 2.13).

Расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня:

$$Q_1 = \frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} v_1 Z_{\text{ц}} = 0,942 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (4.12)$$

где v_1 – скорость прямого хода поршня гидродомкрата передвижки ($v_1=0,083$ м/мин); $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня гидродомкрата передвижки.

2. Время выдвигания (подтягивания) задней секции шагающей крепи проходческого комплекса гидродомкратами передвижки:

$$T_{\text{вз}} = \frac{V_2}{Q_2} = 5,57 \cdot 10^{-3} \text{ ч}, \quad (4.13)$$

где V_2 – объем штоковой полости гидродомкратов передвижки; Q_2 – расход гидравлической жидкости при обратном ходе поршня.

Объем штоковой полости:

$$V_2 = S_2 \cdot l_{\text{перед}} \cdot Z_{\text{ц}} = 5,402 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \quad (4.14)$$

где S_2 – площадь штоковой полости гидродомкрата передвижки; $Z_{\text{ц}}$ – количество гидродомкратов ($Z_{\text{ц}} = 2$); $l_{\text{перед}}$ – шаг передвижки ($l_{\text{перед}} = 0,5$ м).

Площадь штоковой полости гидродомкрата определяется по формуле:

$$S_2 = \frac{D_{\text{п}}^2 - d_{\text{ш}}^2}{1,27} = 5,402 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \quad (4.15)$$

где $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня гидродомкрата передвижки; $d_{\text{ш}}$ – диаметр штока гидродомкрата передвижки.

Диаметр штока гидродомкрата в соответствии с ГОСТ 6540-68 [22] определяется по формуле:

$$d_{\text{ш}} = (0,3 \div 0,7) D_{\text{п}} = 0,056 \text{ м} \quad (4.16)$$

Расход гидравлической жидкости при обратном ходе поршня:

$$Q_2 = \frac{\pi(D_{\text{п}}^2 - d_{\text{ш}}^2)}{4} v_2 Z_{\text{ц}} = 0,97 \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (4.17)$$

где v_2 – скорость обратного хода поршня гидродомкрата передвижки ($v_2=1,5$ м/мин); $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня гидродомкрата передвижки.

3. Время опускания перекрытия передней секции шагающей крепи проходческого комплекса:

$$T_{\text{оп}} = \frac{V_3}{Q_3} = 2,785 \cdot 10^{-3} \text{ ч}, \quad (4.18)$$

где V_3 – объем штоковой полости гидростойки; Q_3 – расход гидравлической жидкости при обратном ходе поршня.

Объем штоковой полости:

$$V_3 = S_3 \cdot l_{\text{опуск}} \cdot Z_{\text{ц}}, = 2,701 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (4.19)$$

где S_3 – площадь штоковой полости гидростойки секции крепи ($S_3 = S_2$); $Z_{\text{ц}}$ – количество гидростоек ($Z_{\text{ц}} = 2$); $l_{\text{опуск}}$ – ход поршня при опускании перекрытия ($l_{\text{опуск}} = 0,2$ м).

Расход гидравлической жидкости при обратном ходе поршня:

$$Q_3 = \frac{\pi(D_{\text{п}}^2 - d_{\text{ш}}^2)}{4} v_3 Z_{\text{ц}}, = 0,97 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (4.20)$$

где v_3 – скорость обратного хода поршня гидродомкрата передвижки ($v_3=1,5$ м/мин); $D_{\text{п}}$, $d_{\text{ш}}$ – диаметр поршня и штока гидростойки соответствуют диаметрам поршней и штоков гидродомкратов передвижки шагающей крепи.

4. Время опускания перекрытия задней секции шагающей крепи проходческого комплекса:

$$T_{\text{оз}} = T_{\text{оп}} = 2,785 \cdot 10^{-3} \text{ ч} \quad (4.21)$$

5. Время подъема перекрытия передней секции шагающей крепи проходческого комплекса:

$$T_{\text{пп}} = \frac{V_4}{Q_4} = 4,177 \cdot 10^{-3} \text{ ч}, \quad (4.22)$$

где V_4 – объем поршневой полости гидростойки шагающей крепи; Q_4 – расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня.

Объем рабочей полости:

$$V_4 = S_4 \cdot l_{\text{подн}} \cdot Z_{\text{ц}} = 3,935 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \quad (4.23)$$

где S_4 – площадь поршневой полости гидростойки крепи ($S_4 = S_1$); $Z_{\text{ц}}$ – количество гидродомкратов ($Z_{\text{ц}} = 2$); $l_{\text{подн}}$ – ход поршня при поднятии перекрытия ($l_{\text{подн}} = 0,2$ м).

Расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня:

$$Q_4 = \frac{\pi \cdot D_{\text{п}}^2}{4} v_4 Z_{\text{ц}} = 0,942 \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (4.24)$$

где v_4 – скорость прямого хода поршня гидродомкрата передвижки ($v_4 = 1$ м/мин); $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня гидростойки соответствует диаметру поршня гидродомкрата передвижки шагающей крепи.

6. Время подъема перекрытия задней секции шагающей крепи проходческого комплекса:

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пш}} = 4,177 \cdot 10^{-3} \text{ ч} \quad (4.25)$$

Расчет времени установки рамы крепления сбойки ($T_{\text{КС}}$) при условии, что материал уже доставили на место установки лебедкой, а кровля относительно устойчива [32, 64]:

Таблица 4.2 – Операции цикла установки рамы крепления сбойки

Операции	Продолжительность, мин
1. Установка боковых (левая, правая) перекладин и центральной стойки рамной крепи	0,5 – 1,0
2. Установка боковых стоек (закрепление)	0,5 – 1,0
3. Затяжка кровли и боков выработки	5 - 10

Время необходимое на установку 1 рамной крепи с затяжкой $T_{\text{КС}} = 0,2$ ч.

Время подготовительных операций (сумма времени необходимая на наращивание гибкой вентиляционной трубы, подтягивания конвейера и др.): $T_{\text{ПО}} = 0,083$ ч.

Расчет времени i -го цикла проходки:

$$T_{\text{ци}i} = T_{\text{Ози}} + T_{\text{цш}} + T_{\text{КС}} + T_{\text{ПО}} = 0,248 \text{ ч}, \quad (4.26)$$

где $T_{\text{Ози}}, T_{\text{цш}}, T_{\text{КС}}, T_{\text{ПО}}$ – время образования забоя, цикла шагания, крепления сбойки, подготовительных операций.

Расчет i -й цикла скорости проходки выработки малого сечения (м/ч):

$$v_i = \frac{L_{\text{ЦИКЛ}}}{T_{\text{Ц}i}} = 2,019 \text{ м/ч}, \quad (4.27)$$

где $L_{\text{ЦИКЛ}}$ – подвигание забоя за цикл проходки ($L_{\text{ЦИКЛ}}=0,5$ м).

2. Определение основных параметров производится для $n_i=2$.

...

120. Определение основных параметров производится для $n_i=n=120$.

Расчет времени проходки выработки (сбойки):

$$T_{\text{прох. сб}} = \frac{L}{\bar{v}} = 29,7 \text{ ч}, \quad (4.28)$$

где L – длина сбойки (м); \bar{v} – средняя скорость проходки выработки (м/ч).

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} = 2,02 \text{ м/ч} \quad (4.29)$$

где n – число циклов проходки выработки.

Проходческий комплекс, состоящий из быстросборных узлов, сокращает сроки проходки выработки малого сечения в массивах пород различной крепости, для кровлей различной устойчивости и повышает безопасность ведения проходческих работ в сравнении с работами проводимыми вручную.

Выводы по четвертой главе

1. Разработано конструктивно-техническое решение проходческого комплекса, обеспечивающего скоростную проходку выработки малого сечения в сложных горно-геологических условиях.

2. Обоснована методика применения универсального проходческого комплекса.

3. Составлена и принята для внедрения ЗАО «МЕТРОКОН» методика расчета параметров проходческого комплекса, включающая расчет скорости крепления, диаметров рабочих цилиндров, конструкции узлов крепи и исполнительных органов по разработке забоя, дан расширенный анализ

возможных областей применения проходческого комплекса (шахты, вентвыработки метро, дорожные работы, выработки для проходческих работ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации приведены разработанные автором теоретические и практические положения, совокупность которых можно квалифицировать как обоснования схемного решения и параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи для проведения скоростных эвакуационных выработок малого сечения, основанного на унифицированных узлах, с целью повышения скорости проходческих работ.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Анализ известных конструкций и параметров основных узлов и машин комплексов для проведения проходческих работ, показал отсутствие апробированных конструкций проходческих комплексов для проходки скоростных выработок малого сечения по породам различной крепости и кровлям различной устойчивости.

2. Теоретически обосновано необходимое усилие передвижки частей проходческого комплекса на базе шагающей крепи, которое определяет продолжительность цикла проходческих работ, при этом величина усилия передвижки должна быть не менее 392 кН, а величина коэффициента сопротивления передвижки находится в пределах $k_{сопр}=0,4-6,0$ и зависит от состояния кровли.

3. Установлена экспериментальная зависимость усилия передвижки модели комплекса на базе шагающей крепи от времени при различных вариантах нагружения его частей на основе которой при переходе от параметров модели к параметрам оригинала с учетом масштабного коэффициента подтвержден интервал значений коэффициента сопротивления передвижки частей проходческого комплекса ($k_{сопр}=0,4-6,0$).

4. Определена рациональная область применения проходческого комплекса при проведении выработки малого сечения $2,25 \text{ м}^2$, которая начинается с длины выработки - 10 м, в сравнении с ручной проходкой по породам горного массива

крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые 0,5 м.

5. Составлены и приняты для внедрения ЗАО «МЕТРОКОН» запатентованное конструктивное решение проходческого комплекса, методика расчета параметров комплекса, включающая расчет скорости крепления, диаметров рабочих цилиндров и исполнительных органов по разработке забоя, возможные области применения комплекса (шахтные выработки, вентиляционные выработки метро, дорожные работы, выработки для горноспасательных работ).

6. Составлена номограмма определения диаметров гидродомкрата на основе силовых параметров передвижки частей шагающей крепи проходческого комплекса в зависимости от коэффициента крепости пород f .

7. В среде AutoDesk Inventor методом конечных элементов при моделировании процесса нагружения 3D модели секции шагающей крепи проходческого комплекса получены эпюры напряжений крепи, выявлены критические напряжения в элементах шагающей крепи комплекса и выполнено усиление конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство СССР №534569. Устройство для проведения спасательных эвакуационных выработок в шахтных завалах/ Попович А. А., Дыдзинский В. В., Горбатов В. С., Короленко В. Г.; Заявл. 18.03.1969. Опубл. 05.11.1976.
2. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: «Наука». – 1975. – 280 с.
3. Анализ инженерных решений при спасении людей на шахтах«Западная Капитальная» ООО «Компания «РОСТОВУГОЛЬ» / Пелих С. Г., Родимов В. В., Борзяк В. Е., Шаповалов В. П. // «Горный информационно-аналитический бюллетень» (научно-технический журнал). –2005. –№2. – С. 191 – 193.
4. Асатур, К. Г. Механика динамического разрушения. – СПГГИ (ТУ). СПб, 1997. – 82 с.
5. Баловнев, В. И. Подобие и моделирование в системе проектирования дорожно-строительных машин: учеб. пособие / В. И. Баловнев. – М.: МА-ДИ. –2014. – 148 с.
6. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело / К. З. Ушаков, Н. О. Каледина, Б. Ф. Кирин, М. А. Сребный, Е. Я. Диколенко, А. М. Ильин, А. П. Семенов // Учебник для вузов. — Издание второе, стереотипное. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, – 2002. – 487с.
7. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело: Учеб. для вузов / К. З. Ушаков, Н. О. Каледина, Б. Ф. Кирин и др.; под ре. К. З. Ушакова – 2-е из., стер. – М.: Издательство Московского государственного университета. – 2002. – 487 с.: ил.
8. Бреннер, В. А. Щитовые проходческие комплексы / В. А. Бреннер, А. Б. Жабин, М. М. Щеголевский. - М.: Издательство «Горная книга». – 2009. –447 с.

9. Бурдаков, С. Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: учебное пособие / С. Ф. Бурдаков, В. А. Дьяченко, А. Н. Тимофеев. - М. : Высшая школа. –1986. –264 с.
10. Валчев, А. Г. Современные щитовые машины с активным пригрузом забоя для проходки тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях / А. Г. Валчев, С. Н. Власов, В. П. Самойлов. - М.: «ТА Инжиниринг». – 2003. – 70 с.
11. ВГСЧ: вчера, сегодня, завтра. Горноспасательное дело в России / Под общ. ред. А.Ф. Сина; МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИГОЧС (ФЦ). –2013. –180 с.
12. Гайко, Г. И. История горной техники : учеб. пособие для студ. горн. спец. вузов / Г. И. Гайко ; Донбасский горно-металлургический ин-т . – Алчевск : ДГМИ. –2001. – 134 с.
13. Гидравлика и гидропневмопривод: учеб. пособие / О.Ф. Никитин. – М.: Изд-во: МГТУ им. Н.Э.Баумана. –2010. –414 с.
14. Гидроцилиндры: учеб.-метод. пособие / Д. Ю. Воронов В. В., Волосков , А. О. Драчев, О. В. Бойченко – Тольятти : ТГУ. –2011. –72 с.
15. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. 8 издание. – М.: Высшая школа. –2003. –482 с.
16. Годовой отчет по деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2017 году. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Москва. –2018. – 420 с. - [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Годовой%20отчет%20Ростехнадзора%20за%20%202017%20г.%20\(окончат\).pdf](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Годовой%20отчет%20Ростехнадзора%20за%20%202017%20г.%20(окончат).pdf) (дата обращения: 10.01.2018).
17. Горная энциклопедия. Том 2. – М.: «Советская энциклопедия». –1986.
18. Горное дело: Энциклопед. справочник : Т. 4: Проведение и крепление горных выработок / Редколлегия: Н. М. Покровский (отв. ред.) и др. –1958. –464 с.: ил.
19. Горнопроходческие машины и комплексы: [Учебник для вузов по спец. "Строво подзем. сооружений и шахт", / Н. А. Малевич. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Недра. –1980. –384 с.

20. Горные машины и автоматизированные комплексы. Солод В. И., Зайков В. И., Первов К. М. Учебник для вузов. М.: Недра. –1981. –503 с.
21. ГОСТ 28836–90 Датчики силоизмерительные тензорезисторные.
22. ГОСТ 6540–68 (СТ СЭВ 3936–82) Гидроцилиндры и пневмоцилиндры. Ряды основных параметров (с Изменениями N 1–4)
23. Гринько, Н. К. Механизация на угольных шахтах ФРГ / Н. К. Гринько, Н. Н. Петухов, М. И. Верзилов и др. – М.: Недра. –1979. –344 с.
24. Демченко, А. В. Опыт работы комплекса глубокой разработки пластов на Элегестском угольном месторождении Республики Тува / А. В Демченко, И. В. Деревяшкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 6. – С. 79–87. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-79-87.
25. Зегидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука. –1976. –390 с.
26. Иванов, К. И. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых / К. И. Иванов, В. А. Латышев, В. Д. Андреев. – М.: Недра. –1987. – 271 с.
27. Исаев, А. И. Обоснование параметров сдвоенного ударного исполнительного органа проходческого комплекса для проведения вспомогательных выработок в кембрийских глинах : специальность 05.05.06 «Горные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Исаев Алексей Игоревич; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – Санкт-Петербург. –2017. –141 с.
28. История горного дела : учеб, пособие / Е. Б. Шевкун. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. –2015. –244 с.
29. Кантович, Л. И. Горные машины : [учебник для техникумов по специальности "Горное машиностроение"] / Л. И. Кантович, В. Н. Гетопанов. – Москва : Недра. –1989. – 304 с.
30. Кантович, Л. И. Щитовая проходка подземных выработок II Уголь / Л. И. Кантович.- М.:«Импернум Пресс». – 2000. – 225 с.

31. Коломийцов, М. Д. Эксплуатация горных машин и автоматизированных комплексов: Учеб. пособие / М. Д. Коломийцов. – Л.: ЛГИ. –1986. –94 с.
32. Комплекс для спасательных работ на шахтах при завалах. / Г. И. Коршунов, Д. А. Юнгмейстер, С. А. Лавренко, А. Э. Сабитов, Р. Ю. Уразбахтин // Горное оборудование и электромеханика. –2015. –№3, –С. 3-8.
33. Комплексная механизация и автоматизация очистных работ в угольных шахтах. Под общ. ред. Б.Ф. Братченко. – Москва : Недра. –1977. –415 с.
34. Коперчук, А. В. Выбор схемного решения стартового устройства геохода / А. В. Коперчук, В. Ю. Бегляков // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. –№ 8 (126). –С. 15–18.
35. Кравченко, В. А. Структура машины с ударным исполнительным органом избирательного действия / В. А. Кравченко, Д. А. Юрьев, Б. В. Иванов // Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия. Материалы международного симпозиума. – Орел: ОрелГТУ. –2000. – С. 112
36. Кузьмин, С. И. Методы научных исследований в технических задачах. Учебное пособие для студентов технических специальностей. – Ангарск: Ангарская государственная техническая академия. –2010. – 247 с.
37. Литвинов, А. Р. Аварийность и травматизм на предприятиях угольной промышленности в 2010-2015 годах / А. Р. Литвинов, К. С. Коликов, О. Г. Ишхнели. Научно-технический журнал «Вестник». –2017. –№ 2. –С. 6–17.
38. Лукьянов, В. Г. Горные машины и проведение горно-разведочных выработок : учебник / В. Г. Лукьянов, В. Г. Крец. — Томск : Издательство Томского политехнического университета. –2010. –342 с.
39. Лукьянов, В. Г. Технология проведения горно-разведочных выработок: Учебник / В. Г. Лукьянов, А. В. Панкратов, В. А. Шмурыгин, - 2-е изд. - Томск:Изд-во Томского политех. университета. –2015. –550 с.
40. Машины и оборудование для проведения горизонтальных и наклонных горных выработок / Б. Ф. Братченко, Н. К. Гринько, Д. И. Малиованов и др.; Под общ. ред. Б. Ф. Братченко. –Москва : Недра. –1975. –415 с.

41. Медведев, И. Ф. Механизация проведения горных выработок в крепких породах / И. Ф. Медведев, А. А. Фещенко, С. И. Одинец. – М.: Недра. –1982. – 166 с.
42. Медведев, И. Ф. Режимы бурения и выбор буровых машин / И. Ф. Медведев. – М.: Недра. –1986. – 222 с.
43. Мертенс, Ф. Состояние и развитие комбайновой проходки выработок в каменноугольной промышленности // Глюкауф. –1985. – № 16. – С. 9–18.
44. Мехеда, В. А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В. А. Мехеда. - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та. –2011. –56 с.
45. Научные основы разработки агрегатированных проходческих систем для подземного способа добычи полезных ископаемых глинах : специальность 05.05.06 «Горные машины» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Воронова Элеонора Юрьевна; Национальный исследовательский технологический университет. – Москва. –2016. –168 с.
46. Обоснование компоновки параметров перфораторов – ударников для исполнительных органов проходческих комбайнов / А. Э. Сабитов, А. И. Исаев, Д. А. Юнгмейстер, Р. Ю. Уразбахтин // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 4. – С. 17-22.
47. Обоснование необходимости разработки стартового устройства геохода / А. В. Коперчук, А. А., Казанцев, В. Ю., Бегляков, В. В. Филонов // Технологии и материалы. – 2015. – № 1. – С. 29-30.
48. Основы синтеза проходческих и добычных комплексов для сложных горно-геологических условий: специальность 05.05.06 «Горные машины» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Юнгмейстер Дмитрий Алексеевич; Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г. В. Плеханова. – Санкт-Петербург. –245 с.
49. Официальный сайт РИА Новости – [Электронный ресурс]. – URL: <https://ria.ru/20101012/284695969.html> (дата обращения: 10.01.2018).
50. Патент № 1831573 СССР, Е21D 11/36. Механизированная крепь сопряжения/ А.Ф. Маслов, Г.Ш. Хармац, Ю.И. Рогов; Опубл. 30.06.1993, Бюл. № 28.

51. Патент № 2067175 Российская Федерация, E21D9/06. Агрегат для проведения выработок по завалу / А.Ф. Эллер, Н.Б. Пушкина; Заявл. 08.02.1994. Оpubл. 27.09.1996.
52. Патент № 2599115 Российская Федерация, МКП E21D 9/10, E21C 27/28. Проходческий комплекс для проведения вспомогательных выработок / Д. А. Юнгмейстер, Г. В. Соколова, А. И. Исаев, А. Э. Сабитов, Р. Ю. Уразбахтин, С. Г. Портнов, заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – № 2015132245/03; заявл. 03.08.2015, опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28.
53. Патент № 2612165 Российская Федерация, МКП E21F 11/00. Устройство для проведения спасательных работ / Д. А. Юнгмейстер, Р. Ю. Уразбахтин, Г. В. Соколова, заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – № 2016116428; заявл. 26.04.2016, опубл. 02.03.2017, Бюл. № 7.
54. Патент на ПМ №112270 Российская Федерация, E21F 11/00. Устройство для ликвидации завалов в шахте при спасении людей, застигнутых аварией / В.И. Бунин; Заявл. 16.05.2011. Оpubл. 10.01.2012, Бюл. № 1.
55. Подэрни, Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов. – 7-ое изд., перераб. и доп. – М.: Издательство «Майнинг Медиа Групп». –2011. – 640 с.
56. Подэрни, Р. Ю. Методика определения главных параметров гидроударника / Р. Ю. Подэрни, М. Р. Хромой, В. Ф. Сандалов // Горные машины и автоматика. – 2003. –№ 12. –С.41–44.
57. Подэрни, Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов. – 8-ое изд., перераб. и доп. – М.: Издательство «Майнинг Медиа Групп». –2013. – 594 с.
58. Построение схемы набора резцов и определение прочностных параметров уравновешенного исполнительного органа проходческого комбайна избирательного типа / С.В. Фелоненко, К.М. Бас // Разработка месторождений: Сб. наук. пр. – 2015. – Т. 9. – С. 77–84.

59. Проведение горных выработок машинами ударного действия: Обзор/ В. Н. Бузинник, Ю. К. Епифанцев, В. М. Нешитин, Ю. Г. Коняшин. – М.: ЦНИЭИуголь. – 1976. – 34 с.
60. Программа профилактики нарушений обязательных требований на 2018 – 2020 годы. Управления по надзору в угольной промышленности. - [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/coal/programma-profilaktiki-narusheniy-obyazatelnykh-trebovaniy-na-2018-2020-gody-upravleniya-po-nadzoru-/Программа%20проф.%20наруш.%20обяз.%20треб.%20от%20Чапля%20Б..docx> (дата обращения: 10.01.2018)
61. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: Учебн. для вузов / Г.В. Малеев, В.Г. Гуляев, Н.Г. Бойко и др. – М.: Недра. –1988. – 367 с.
62. Разработка научных основ создания систем геодога: диссертация на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: 05.05.06 / Ефременков Андрей Борисович
63. Расчет и испытания механизмов для ударного разрушения и бурения пород / Юнгмейстер Д.А., Пивнев В.А. и др. //СПб: Политехника-сервис.–2014. –128 с.
64. Рациональная конструкция комплекса для спасательных работ на шахтах. / Д. А. Юнгмейстер, О. Г. Агошков, Р. Ю. Уразбахтин, А. В. Иванов // Мир транспорта и технологических машин. –2015, –№2, –С. 56-64.
65. РДМУ 109–77. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов. – М.: Издательство стандартов. –1978. – 62 с.
66. Саутин, С. Н. Теоретические основы планирования экспериментальных исследований в химии и химической технологии. Учебное пособие / С. Н. Саутин, А. Е. Пунин. – Ленинград: ЛТИ им. Ленсовета. –1979. – 66 с.
67. Соболев, Г. Г. Горноспасатели — М: Недра. –1991 –251 с.
68. Создание средств механизации монтажных и демонтажных работ для очистных механизированных комплексов в условиях шахт Печорского бассейна: диссертация на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.05.06 / Рогов Юрий Иванович.

69. Солод, В. И. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов : [Учеб. для вузов по спец. "Горн. машины и комплексы"] / В. И. Солод, В. Н. Гетопанов, В. М. Рачек. - М. : Недра. –1982. –350 с.
70. Топчиев, А. В. Расчет производительности выемочных комплексов и агрегатов. А. В. Топчиев, В. И. Солод – М.: Госгортехиздат. –1966. –152 с.
71. Уразбахтин, Р. Ю. Результаты теоретических и лабораторных исследований спаса-тельного комплекса для угольных шахт / Р. Ю. Уразбахтин, Д. А. Юнгмейстер // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – № 3. – С. 98-103.
72. Ушаков, Л. С. Исследование напряженного состояния массива при ударе инструмента машины / Л. С. Ушаков, Ю. Н. Каманин // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы III международного научного симпозиума, Орел: ОрелГТУ, 2006. – С. 177-181.
73. Ушаков, Л. С. Гидравлические машины ударного действия / Л. С. Ушаков, Ю. Е. Котылев, В. А. Кравченко. – М.: Машиностроение. –2000. – 416 с.
74. Ушаков, Л. С. Гидравлический привод строительных и дорожных машин: учеб. пособие / Л. С. Ушаков. - Орел: Госуниверситет – УНПК. –2012. –202 с.
75. Федунец, Б. И. Технология проведения горных выработок в крепких породах комбайнами. Учебн. пособие. - М., МГИ. –1988. – 106 с.
76. Филатов, Л. А. Проведение горных выработок комбайнами ударного действия: Обзор/ Л. А. Филатов, В. Г. Витер, Г. С. Кнезьян. – М.: ЦНИЭИуголь, ЦБНТИ Минуглепрома УССР. –1982. – 28 с.
77. Хаарман, К. Проходческие машины с ударным рабочим органом // Глюкауф. – 1974. – №15. – С. 13-18.
78. Чаплыгин, В.В. Использование комплекса глубокой разработки пластов в условиях «Ерунаковского поля» филиала УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез» / В.В. Чаплыгин, Д.В. Малофеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 5. – С. 360–368.
79. Шрайман, А. А. Опыт применения проходческих машин с ударными рабочими органами за рубежом: Экспресс-информация/ А. А. Шрайман, И. Е. Заяц. — М.: ЦНИЭИуголь. –1978. – 14 с.

80. Юнгмейстер, Д. А. Горные машины с модернизированными конструкциями ударных исполнительных органов / Д.А. Юнгмейстер, Д.А. Мельников, Р.Ю. Уразбахтин // XV Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека», Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. –2017. –С. 124–128.
81. Юнгмейстер, Д. А. Машины и оборудование подземных рудников. Часть 1: Учебно-методический комплекс для студентов направления подготовки 130400 «Горное дело» по специализации «Подземная разработка рудных месторождений», Учебно-метод. комплекс. / Политехника-сервис. СПб. –2015. –110 с.
82. Юнгмейстер, Д. А. Рациональные параметры комплекса для спасательных работ на шахтах. / Д.А. Юнгмейстер, Р.Ю. Уразбахтин, А.И. Исаев // XIV Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека», технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Труды 14-й международной научно-технической конференции 07-08 апреля 2016 г. / Екатеринбург. – 2016. – С. 164–166.
83. Юнгмейстер, Д. А. Рациональные параметры комплекса для спасательных работ на угольных шахтах / Д.А. Юнгмейстер, Р.Ю. Уразбахтин // Инновации на транспорте и в машиностроении: Труды 4-ой международной научно-практической конференции 28-29 апреля 2016 г. / «Санкт-Петербургский горный университет». Санкт-Петербург. – 2016. – С. 59 – 62.
84. Яцких, В. Г. Горные машины и комплексы: Учебник для горных техникумов / В.Г. Яцких, Л.А. Спектор, А.Г. Кучерявый. – М.: Недра. – 1984. – 400 с.
85. 煤矿安全生产工作取得历史性成就—改革开放40年我国煤矿安全生产领域改革发展综述 中国煤炭报 责任编辑：李振营 2018: - [Электронный ресурс]. – URL: http://www.chinacoal-safety.gov.cn/xw/mkaqjcxw/201812/t20181214_223240.shtml (дата обращения 17.02.2019).
86. 1949-2018全国煤矿死亡人数、百万吨死亡率: - [Электронный ресурс]. – URL: http://www.yte1.com/coal-pr/e8e43e405c6c4bae9bd7235_e915d7143 (дата обращения 25.05.2019).

87. 2019-2025年中国煤炭安全设备行业市场供需预测及投资战略研究报告: - [Электронный ресурс]. – URL: <https://m.chyxx.com/view/696690.html> (дата обращения 17.02.2019).
88. A new simple methodology for evaluation of explosion risk in underground coal mines / L. M. Pejic, J. G. Torrent, E. Querol, and K. Lebecki // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, no. 6, pp. 1524–1529, 2013.
89. Coal mining in the United States: - [Электронный ресурс]. – URL: https://howlingpixel.com/i-en/Coal_mining_in_the_United_States#cite_ref-66 (дата обращения 12.04.2018).
90. Design and Analysis Towards Successful Development of a Tele-Operated Mobile Robot for Underground Coal Mines / D. N. Ray, R. Das, B. Sebastian, B. Roy, and S. Majumder // *Robotics and Factories of the Future, Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 589–602, Springer India, New Delhi, 2016.
91. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Felix Lehnen, Oberingenieur am Institute of Mineral Resources Engineering (MRE), RWTH Aachen University, Aachen/Germany Mining Report 152 (2016). – No. 5, – S. 404 – 415.
92. Exploration Mobile Robot for Coal Mines / P. Novák, J. Babjak, T. Kot, P. Olivka, and W. Moczulski // *Proceedings of the International Workshop on Modelling and Simulation for Autonomous Systems*, vol. 9055 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 209–215, Springer International Publishing, 2015.
93. Fiscor, S 2010 Rescuers work to free chilean miners *Engineering and Mining Journal* 211(8) 24–26
94. Hemanth Reddy A, Balla Kalyan, Ch. S. N. Murthy, Mine Rescue Robot System – A Review *Procedia Earth and Planetary Science* 11 (2015) 457 – 462.
95. Kogler, P. Blind boring system. Third International Platinum Conference ‘Platinum in Transformation’, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 277–284, 2008. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.saimm.co.za/Conferences/Pt2008/277-284_Kogler.pdf (дата обращения: 05.07.2019)
96. Kral, S 2010 Remarkable rescue unfolds *Mining Engineering* 62(9) 96

97. Mcateer, J. D. “The sago mine disaster. Buckhannon, 2006” 10
98. Statistical Review of World Energy: - [Электронный ресурс]. – URL: www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf (дата обращения: 22.11.2018).
99. Trevelyan, J. Robotics in hazardous applications // J. Trevelyan, R. W. Hamel, and S. C. Kang, Springer, 2016.
100. Urazbakhtin, R.Yu. The results of studies of the tunneling rescue complex for coal mines/ R.Yu. Urazbakhtin, D.A. Yungmeyster. 2019. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 560 012130. [Электронный ресурс]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/560/1/012130/pdf> (дата обращения: 15.08.2019).
101. W. Yong, “Current Status and Technical Problems in Research of Coal Mine Rescue Robot,” Coal Mine Machinery, vol. 04, pp. 107–109, 2007.
102. X. Zhang, A. Wang, and R. Gu, “Discussion on Application of 10 kV Flame Proof and Positive Pressure Type Equipment to Underground Mine,” Coal Science and Technology, vol. 1, 2012.
103. Y. Cun-Juan, “Experimental research on secondary blasting of coal dust and gas induced by gas explosion,” China Safety Science Journal, vol. 12, pp. 29–32, 2014.
104. Y. Yao-hai, “Safety Requirements of Electrical Explosion Protected Equipments Used in Coal Industry,” Electric Explosion Protection, vol. 2, 2008.
105. Yong Wang , Peng Tian, Yu Zhou, and Qing Chen The encountered problems and solutions in the development of coal mine rescue robot, Hindawi Journal of Robotics Volume 2018, Article ID 8471503.
106. Yungmeyster, D.A. Rescue complex for coal mines / D.A. Yungmeyster and R.Yu. Urazbakhtin 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 87 092032. [Электронный ресурс]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/87/9/092032/pdf> (дата обращения: 10.03.2018).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Акт о внедрении результатов диссертационной работы

«Утверждаю»


 Генеральный директор
 ЗАО «МЕТРОКОН»
 А.В. Иванов
 «01» июля 2019 года

Акт

о внедрении результатов диссертационной работы
 Уразбахтина Рустама Юсуфовича на тему: «Обоснование и выбор схемных
 решений комплекса для проведения выработок малого сечения в условиях
 угольных шахт»

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы «Обоснование и выбор схемных решений комплекса для проведения выработок малого сечения в условиях угольных шахт» Уразбахтина Рустама Юсуфовича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – Горные машины, выполненной в Санкт-Петербургском горном университете, за период с 2015г. по 2019г. приняты к внедрению.

Форма внедрения результатов диссертационной работы:

1. Рекомендации по области применения разработанной проходческой техники;
2. Методика расчета основных параметров универсального проходческого комплекса;
3. Компонировочные схемы проходческого комплекса, согласно патенту (№ 2612165) РФ.

Указанные выше материалы будут использоваться при проектировании техники для проведения вспомогательных выработок малого сечения в условиях шахт ОАО «Метрострой» Санкт-Петербурга, использование такой техники позволит повысить производительность проходческих работ и снизить травматизм рабочих.

От предприятия:

Зам. Главного инженера проекта
 ЗАО «МЕТРОКОН»



А.А. Галочкина

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Листинг программы Mathcad для определения коэффициента сопротивления передвижки

Исходные данные:

Масса головной или концевой секции механизированной крепи:

$$m_k := (2000 \ 2000 \ 2000 \ 2000 \ 2000 \ 2000 \ 2000 \ 2000 \ 2000 \ 2000 \ 2000)$$

$$m_{krep} := m_k \cdot T \text{ кг}$$

Вес секции механизированной крепи: $G_{krep} := m_{krep} \cdot g$

Ускорение свободного падения: $g_w := 9.81 \frac{N}{кг}$

Коэффициент трения: $\mu_I := (0.4 \ 0.4 \ 0.4 \ 0.4 \ 0.4 \ 0.4 \ 0.4 \ 0.4 \ 0.4 \ 0.4 \ 0.4)$

$$\mu := \mu_I \cdot T$$

Плотность пород: $\rho_I := (2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700)$

$$\rho := \rho_I \cdot T \frac{кг}{м^3}$$

Коэффициент крепости f по шкале проф. М. М. Протодяконова:

$$f_I := (1 \ 1.5 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 8 \ 10 \ 15 \ 20) \quad f := f_I \cdot T$$

Угол наклона выработки: $\beta_I := (0 \ 3.5 \ 7 \ 10.5 \ 14 \ 17.5 \ 21 \ 24.5 \ 28 \ 31.5 \ 35) \cdot ^\circ \quad \beta := (\beta_I \cdot T)$

Угол внутреннего трения: $\varphi := atan(f) \quad \alpha := 90deg$

Размеры головной и концевой частей комплекса:

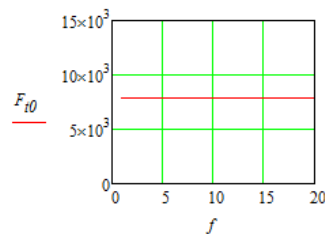
Ширина комплекса: $A_w := 1.5m \quad a := \frac{A}{2}$

Длина комплекса: $L_w := 2m$

Высота комплекса: $H_w := 1.5m$

1. Тяговое усилие в горизонтальной выработке при отсутствии нагрузки на перекрытия и стенки шагающей крепи

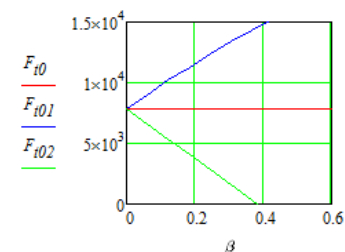
$$F_{t0} := \overrightarrow{G_{krep} \cdot \mu}$$



2. Тяговое усилие в горизонтальной выработке при отсутствии нагрузки на перекрытия и стенки шагающей крепи

$$F_{t01} := \overrightarrow{G_{krep} \cdot (\mu \cdot \cos(\beta) + \sin(\beta))}$$

$$F_{t02} := \overrightarrow{G_{krep} \cdot (\mu \cdot \cos(\beta) - \sin(\beta))}$$



3. Тяговое усилие в горизонтальной выработке с учетом вертикальной нагрузки (Рв) полной массы столба породы, действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки

Высота обрушившегося свода пород: $b := \frac{a}{f}$ Вес обрушившегося свода пород: $G_{krovliI} := (g \cdot \rho \cdot b \cdot A \cdot L)$

	0
0	0.75
1	0.5
2	0.375
3	0.25
4	0.188
5	0.15
6	0.125
7	0.094
8	0.075
9	0.05
10	0.038

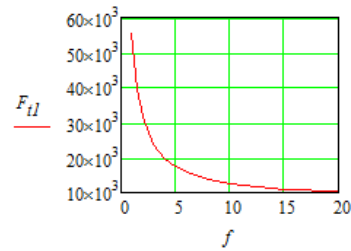
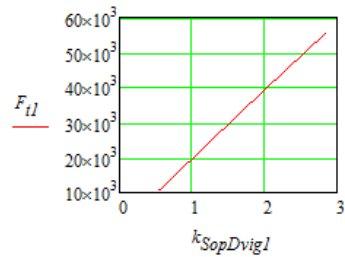
	0
0	59595.750
1	39730.500
2	29797.875
3	19865.250
4	14898.938
5	11919.150
6	9932.625
7	7449.469
8	5959.575
9	3973.050
10	2979.787

Коэффициент сопротивления передвижки крени проходческого комплекса

$$k_{SopDvig1} := \left[\mu \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{G_{krovli1}}{G_{krep}} \right) \right]$$

	0
0	2.831
1	2.021
2	1.615
3	1.21
4	1.008
5	0.886
6	0.805
7	0.704
8	0.643
9	0.562
10	0.522

$$F_{t1} := (G_{krep} \cdot k_{SopDvig1})$$



4. Тяговое усилие в горизонтальной выработке с учетом боковых нагрузок (Pб), действующих на боковые стенки крени

Высота обрушившегося свода пород:

$$b_2 := 0$$

$$b_2 := 0$$

Давление со стороны кровли:

$$G_{krovli2} := g \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot b_2 \cdot L$$

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0

Давление со стороны боков выработки:

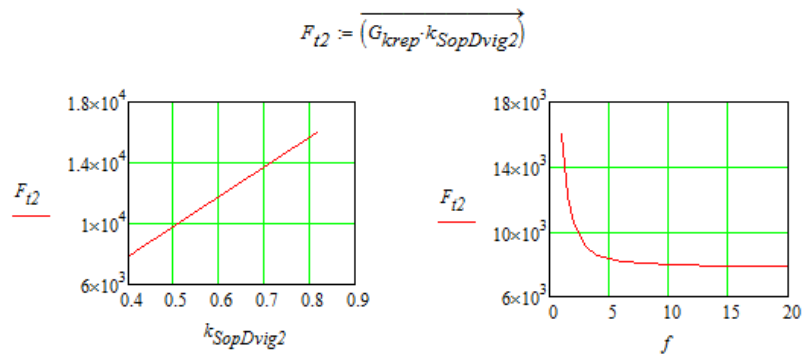
$$G_{bok2} := \left(\frac{g \cdot \rho \cdot H^2 \cdot L}{2} \cdot \tan^2 \left(\frac{\alpha - \varphi}{2} \right) \right)$$

	0
0	1.023·10 ⁴
1	5.463·10 ³
2	3.321·10 ³
3	1.569·10 ³
4	903.173
5	584.328
6	408.209
7	230.995
8	148.249
9	66.071
10	37.201

Коэффициент сопротивления передвижки крени проходческого комплекса

$$k_{SopDvig2} := \left[\mu \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{G_{bok2}}{G_{krep}} \right) \right]$$

	0
0	0.817
1	0.623
2	0.535
3	0.464
4	0.437
5	0.424
6	0.417
7	0.409
8	0.406
9	0.403
10	0.402

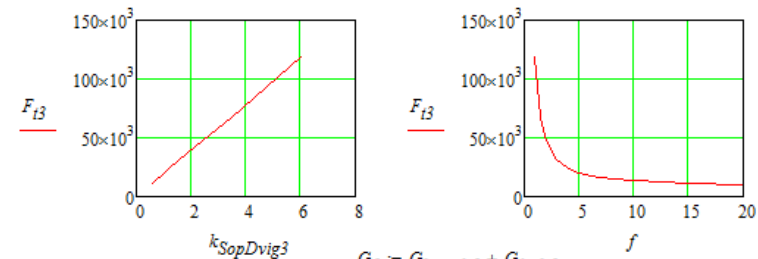


Коэффициент сопротивления передвижки крепи проходческого комплекса

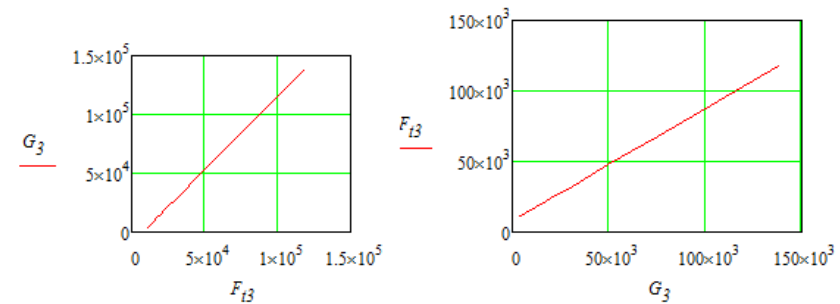
$$k_{SopDvig3} := \overrightarrow{\mu \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{G_{krovli3}}{G_{krep}} + 2 \cdot \frac{G_{bok3}}{G_{krep}} \right)}$$

	0
0	6.024
1	3.463
2	2.424
3	1.566
4	1.206
5	1.012
6	0.892
7	0.752
8	0.674
9	0.576
10	0.529

$$F_{t3} := \overrightarrow{G_{krep} \cdot k_{SopDvig3}}$$



$$G_3 := G_{krovli3} + G_{bok3}$$



5. Тяговое усилие в горизонтальной выработке с учетом давления со стороны кровли (P_с), а также боковых нагрузок (P_б), в случае образования призм сползания, действующих на боковые стенки крепи

Высота обрушившегося свода пород:

$$b_3 := \frac{a + H \cdot \cot\left(\frac{\alpha + \varphi}{2}\right)}{\tan(\varphi)}$$

Давление со стороны кровли:

$$G_{krovli3} := \overrightarrow{(g \cdot 2 \cdot a \cdot \rho \cdot b_3 \cdot L)}$$

Давление со стороны боков выработки:

$$G_{bok3} := \overrightarrow{\left[\frac{g \cdot \rho \cdot H \cdot L}{2} \cdot (2b_3 + H) \cdot \tan\left(\frac{\alpha - \varphi}{2}\right)^2 \right]}$$

	0
0	1.371
1	0.803
2	0.552
3	0.331
4	0.234
5	0.18
6	0.146
7	0.105
8	0.082
9	0.053
10	0.039

$$G_{krovli3} =$$

	0
0	108966.486
1	63789.355
2	43866.523
3	26312.623
4	18567.224
5	14279.607
6	11576.723
7	8377.043
8	6554.050
9	4237.626
10	3128.684

$$G_{bok3} =$$

	0
0	2.892 · 10 ⁴
1	1.131 · 10 ⁴
2	5.766 · 10 ³
3	2.262 · 10 ³
4	1.185 · 10 ³
5	724.338
6	487.506
7	263.464
8	164.553
9	70.769
10	39.154

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг программы Mathcad для определения сроков проходки выработок малого сечения

Исходные данные:

Ширина выработки: $b_n := 1.5 \cdot m$
 Высота выработки: $h_n := 1.5 \cdot m$
 Сечение выработки: $S_{\text{выб}} := b_n \cdot h_n \rightarrow 2.25 \cdot m^2$
 Длина выработки: $L_{\text{выраб}} := 60m$
 Подвигание забоя за цикл: $L_{\text{цикл}} := 0.5m$
 i цикл: $n_i := 1$
 Число циклов: $\sum_{n_i=1}^{120} n_{\text{цикл}} \rightarrow 120 \cdot n_{\text{цикл}}$
 Коэффициент крепости f по шкале проф. М. М. Протоdjeянова:
 $f := (1 \ 1.5 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 8 \ 10) \quad f := f^I$
 Плотность пород:
 $\rho := (2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700 \ 2700) \quad \rho := \rho^I \frac{kg}{m^3}$
 Угол наклона выработки: $\beta_I := (0 \ 3.5 \ 7 \ 10.5 \ 14 \ 17.5 \ 21 \ 24.5 \ 28 \ 31.5 \ 35) \cdot ^\circ$
 Вес головной или концевой секции механизированной крепи:
 $G_{\text{креп}} := 19620 \cdot N$
 Коэффициент сопротивления выдвиги секции крепи: $k_{\text{сопр}} := 6$
 Коэффициент запаса: $k_3 := 3$
 Количество гидродомкратов или гидростоек: $Z_{\text{Ц}} := 2$
 Номинальное давление: $p := 25MPa$
 Шаг передвижки секций крепи комплекса: $l_{\text{перед}} := 0.5 \cdot m$
 Ход поршня при опускании перекрытия: $l_{\text{опуск}} := 0.25 \cdot m$
 Ход поршня при поднятии перекрытия: $l_{\text{подн}} := 0.25 \cdot m$
 Скорость прямого хода поршня гидродомкрата передвижки: $v_1 := 1.0 \cdot \frac{m}{min}$
 Скорость обратного хода поршня гидродомкрата передвижки: $v_2 := 1.5 \cdot \frac{m}{min}$
 Скорость обратного хода поршня гидростойки: $v_3 := v_2$
 Скорость прямого хода поршня гидростойки: $v_4 := v_1$

Размеры головной и концевой частей комплекса:

Ширина комплекса: $A_{\text{ww}} := 1.5m \quad a := \frac{A}{2}$
 Длина комплекса: $L_{\text{ww}} := 2m$
 Высота комплекса: $H_{\text{ww}} := 1.5m$

Расчет производительности отбойки пород сменными исполнительными органами

Расчет производительности проходческого комплекса для проведения горноспасательных работ с корончатым исполнительным органом:

$$l_{kor} := 0.3 \cdot m \quad D_{kor} := 0.3 \cdot m$$

$$k_{tex} := 0.9$$

$$N_{\text{кшо}} := 70 \cdot kW \quad \eta_{\text{кшо}} := 0.9$$

$$f_2 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1.5 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix} \quad H_w := \begin{pmatrix} 0.8 \\ 0.9 \\ 1.00 \\ 1.35 \\ 2.05 \\ 2.6 \\ 2.9 \end{pmatrix} \cdot \left(\frac{kW \cdot hr}{m^3} \right)$$

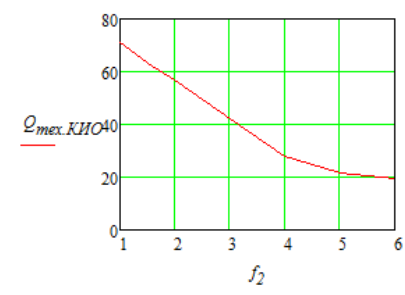
$$B := \frac{D_{kor}}{f_2 - 0.5} \quad m_{\text{сл}} := \frac{D_{kor}}{1.5}$$

$$v_{\text{nod}} := \left(\frac{N_{\text{кшо}} \cdot \eta_{\text{кшо}}}{H_w \cdot m_{\text{сл}} \cdot B} \right)$$

$$Q_{\text{мех.КШО}} := \left(m_{\text{сл}} \cdot B \cdot v_{\text{nod}} \cdot k_{\text{tex}} \right)$$

$$Q_{\text{мех.КШО}} = \begin{pmatrix} 70.875 \\ 63 \\ 56.7 \\ 42 \\ 27.659 \\ 21.808 \\ 19.552 \end{pmatrix} \frac{m^3}{hr}$$

$$v_{\text{nod}} = \begin{pmatrix} 656.25 \\ 1.167 \times 10^3 \\ 1.575 \times 10^3 \\ 1.944 \times 10^3 \\ 1.793 \times 10^3 \\ 1.817 \times 10^3 \\ 1.991 \times 10^3 \end{pmatrix} \frac{m}{hr}$$



Расчет производительности проходческого комплекса для проведения горноспасательных работ с ударным исполнительным органом:

$$A_{y\delta} := 101J \quad Z := 1 \quad d_{dol} := 0.04 \cdot m \quad \psi := 30deg$$

$$d_{dol} = 0.04 \cdot m \quad \mu := 0.2 \quad \sigma_{сжс} := \left(\frac{f}{0.1}\right) \cdot MPa \quad K_{\text{мкк}} := 1.2$$

$$h_{\text{внед}} := \sqrt{\frac{A_{y\delta}}{Z \cdot d_{dol} \cdot \sigma_{сжс} \cdot (\tan(\psi) + \mu) \cdot K}}$$

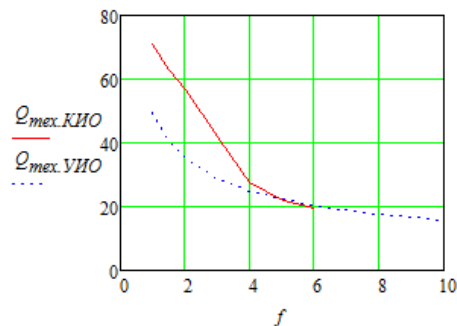
$$h := h_{\text{внед}} \cdot l_m$$

$$l_{сж} := 0.3 \cdot m \quad b_{сж} := 0.3 \cdot m \quad d_{dol} = 0.04 \cdot m \quad t_{\text{раб.УИО}} := 0.00083 \cdot hr \quad t_{\text{всн}} := 0.0017 \cdot hr$$

$$n_{y\delta} := 102000 \cdot \frac{Im}{hr} \quad h_{сж} := h \cdot n_{y\delta} \cdot t_{\text{раб.УИО}}$$

$$Q_{\text{мех.УИО}} := \left(\frac{h_{сж} \cdot l_{сж} \cdot b_{сж}}{t_{\text{раб.УИО}} + t_{\text{всн}}}\right)$$

$$Q_{\text{мех.УИО}} = \begin{pmatrix} 49.549 \\ 40.456 \\ 35.036 \\ 28.607 \\ 24.774 \\ 22.159 \\ 20.228 \\ 17.518 \\ 15.669 \end{pmatrix} \frac{m^3}{hr} \quad h_{сж} = \begin{pmatrix} 1.393 \\ 1.137 \\ 0.985 \\ 0.804 \\ 0.696 \\ 0.623 \\ 0.569 \\ 0.492 \\ 0.44 \end{pmatrix} m$$



Определение времени обработки забоя с использованием сменных исполнительных органов проходческого комплекса:

$$T_{\text{обработ.забояКИО}} := \left(\frac{S \cdot L_{\text{цикл}}}{Q_{\text{мех.КИО}}}\right)$$

$$T_{\text{обработ.забояУИО}} := \left(\frac{S \cdot L_{\text{цикл}}}{Q_{\text{мех.УИО}}}\right)$$

$$T_{\text{обработ.забояКИО}} = \begin{pmatrix} 0.016 \\ 0.018 \\ 0.02 \\ 0.027 \\ 0.041 \\ 0.052 \\ 0.058 \end{pmatrix} hr$$

$$T_{\text{обработ.забояУИО}} = \begin{pmatrix} 0.023 \\ 0.028 \\ 0.032 \\ 0.039 \\ 0.045 \\ 0.051 \\ 0.056 \\ 0.064 \\ 0.072 \end{pmatrix} hr$$

$$T_{\text{заменаУИО}} := 0.0231 \cdot hr$$

Определение времени цикла шагания крепи проходческого комплекса при проведении горноспасательных работ:

$$T_{\text{цш}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{вп}} + T_{\text{шп}} + T_{\text{оз}} + T_{\text{вз}} + T_{\text{пз}}$$

1. Время выдвигания передней секции шагающей крепи проходческого комплекса гидродомкратами передвижки ($T_{\text{ВП}}$):

$$\eta_M := 0.96 \quad \eta_e := 0.94$$

$$D_{\text{П}} := 1.13 \cdot \sqrt{\frac{(G_{\text{креп}} \cdot k_{\text{сomp}} \cdot k_3)}{Z_{\text{П}} \cdot \eta_M \cdot \eta_e \cdot P}} = 0.1 m$$

! Рабочее давление в гидросистеме, а также диаметр поршня гидроцилиндра должны соответствовать параметрическим рядам [ГОСТ 6540-68].

Площадь поршневой полости гидродомкрата: $S_I := \frac{D_{\text{П}}^2}{1.27}$

Объем поршневой (рабочей) полости гидродомкрата: $V_I := S_I \cdot l_{\text{перед}} \cdot Z_{\text{П}} = 7.87 L$

Расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня: $Q_I := \frac{\pi \cdot D_{\text{П}}^2}{4} \cdot v_I \cdot Z_{\text{П}} = 0.942 \frac{m^3}{hr}$

$$T_{\text{ВП}} := \frac{V_I}{Q_I} = 8.355 \times 10^{-3} hr$$

2. Время выдвигания (подтягивания) задней секции шагающей крепи проходческого комплекса гидродомкратами передвижки (T_{B3}):

$$d_{III} := 0.56 \cdot D_{II} = 0.056 \text{ м}$$

! Диаметры штоков гидроцилиндра должны соответствовать параметрическому ряду [ГОСТ 6540-68].

Площадь штоковой полости гидродомкрата:
$$S_2 := \frac{D_{II}^2 - d_{III}^2}{1.27}$$

Объем штоковой полости гидродомкрата:
$$V_2 := S_2 \cdot l_{перед} \cdot Z_{II} = 5.402 \text{ L}$$

Расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня:
$$Q_2 := \frac{\pi \cdot (D_{II}^2 - d_{III}^2)}{4} \cdot v_2 \cdot Z_{II} = 0.97 \frac{\text{м}^3}{\text{hr}}$$

$$T_{B3} := \frac{V_2}{Q_2} = 5.57 \times 10^{-3} \text{ hr}$$

3. Время опускания перекрытия передней секции шагающей крепи проходческого комплекса (T_{OII}):

Площадь штоковой полости гидростойки:
$$S_3 := S_2$$

Объем штоковой полости гидростойки:
$$V_3 := S_3 \cdot l_{опуск} \cdot Z_{II} = 2.701 \text{ L}$$

Расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня:
$$Q_3 := \frac{\pi \cdot (D_{II}^2 - d_{III}^2)}{4} \cdot v_3 \cdot Z_{II} = 0.97 \frac{\text{м}^3}{\text{hr}}$$

$$T_{OII} := \frac{V_3}{Q_3} = 2.785 \times 10^{-3} \text{ hr}$$

4. Время опускания перекрытия задней секции шагающей крепи проходческого комплекса (T_{O3}):

$$T_{O3} := T_{OII} = 2.785 \times 10^{-3} \text{ hr}$$

5. Время подъема перекрытия передней секции шагающей крепи проходческого комплекса (T_{III}):

Площадь поршневой полости гидростойки:
$$S_4 := S_1$$

Объем поршневой (рабочей) полости гидростойки:
$$V_4 := S_4 \cdot l_{подн} \cdot Z_{II} = 3.935 \text{ L}$$

Расход гидравлической жидкости при рабочем ходе поршня:
$$Q_4 := \frac{\pi \cdot D_{II}^2}{4} \cdot v_4 \cdot Z_{II} = 0.942 \frac{\text{м}^3}{\text{hr}}$$

$$T_{III} := \frac{V_4}{Q_4} = 4.177 \times 10^{-3} \text{ hr}$$

6. Время подъема перекрытия задней секции шагающей крепи проходческого комплекса (T_{III}):

$$T_{III} := T_{III} = 4.177 \times 10^{-3} \text{ hr}$$

$$T_{ЦШ} := (T_{OII} + T_{BII} + T_{III} + T_{O3} + T_{B3} + T_{III}) = 0.028 \text{ hr}$$

Определение времени крепления эвакуационной сбойки:

$$T_{O1} := 1 \cdot \text{min} \quad T_{O2} := 1 \cdot \text{min} \quad T_{O3} := 10 \cdot \text{min}$$

$$T_{КренСбойк} := T_{O1} + T_{O2} + T_{O3} = 0.2 \text{ hr}$$

Определение времени подготовительных операций:

$$T_{ПО} := 0.083 \cdot \text{hr}$$

Определение времени проходческого цикла:

$$T_{Ц1} := T_{обrab.зabоляКИО} + T_{ЦШ} + T_{КренСбойк} = \begin{pmatrix} 0.244 \\ 0.246 \\ 0.248 \\ 0.255 \\ 0.269 \\ 0.279 \\ 0.285 \end{pmatrix} \text{ hr}$$

$$T_{Ц2} := T_{обrab.зabоляВИО} + T_{ЦШ} + T_{КренСбойк} = \begin{pmatrix} 0.251 \\ 0.256 \\ 0.26 \\ 0.267 \\ 0.273 \\ 0.279 \\ 0.283 \\ 0.292 \\ 0.3 \end{pmatrix} \text{ hr}$$

Определение скорости проходки эвакуационной выработки при использовании проходческого комплекса:

Шаг передвижки: $L_{цикл1} := 1m$ $L_{цикл2} := 0.5m$

Скорость проходки с использованием КИО: $v_{max1} := \frac{L_{цикл1}}{T_{ц1}}$ $v_{min1} := \frac{L_{цикл2}}{T_{ц1}}$

Скорость проходки с использованием УИО: $v_{max2} := \frac{L_{цикл1}}{T_{ц2}}$ $v_{min2} := \frac{L_{цикл2}}{T_{ц2}}$

Определение времени проходки эвакуационной выработки:

<p>Время проходки с использованием КИО, Цикл = 1m:</p> $T_{max1} := \frac{L_{выраб}}{v_{max1}} = \begin{pmatrix} 14.623 \\ 14.742 \\ 14.861 \\ 15.278 \\ 16.111 \\ 16.766 \\ 17.123 \end{pmatrix} hr$	<p>Время проходки с использованием УИО, Цикл = 1m:</p> $T_{max2} := \frac{L_{выраб}}{v_{max2}} = \begin{pmatrix} 15.033 \\ 15.339 \\ 15.597 \\ 16.03 \\ 16.396 \\ 16.717 \\ 17.008 \\ 17.524 \\ 17.979 \end{pmatrix} hr$
---	--

<p>Время проходки с использованием КИО, Цикл = 0,5m:</p> $T_{min1} := \frac{L_{выраб}}{v_{min1}} = \begin{pmatrix} 29.247 \\ 29.485 \\ 29.723 \\ 30.556 \\ 32.223 \\ 33.532 \\ 34.247 \end{pmatrix} hr$	<p>Время проходки с использованием УИО, Цикл = 0,5m:</p> $T_{min2} := \frac{L_{выраб}}{v_{min2}} = \begin{pmatrix} 30.066 \\ 30.679 \\ 31.195 \\ 32.061 \\ 32.791 \\ 33.434 \\ 34.016 \\ 35.048 \\ 35.958 \end{pmatrix} hr$
---	---

