

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»»

На правах рукописи



Малахов Юрий Валентинович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ
МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШАГАЮЩЕЙ КРЕПИ**

Специальность: 05.05.06 – Горные машины

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Клишин Владимир Иванович
доктор технических наук,
профессор, чл.-корр. РАН

Кемерово – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ	11
1.1. Горнотехнические аспекты проведения подземных выработок	11
1.2. Обзор современных средств механизации для проведения подземных выработок	16
1.3. Анализ конструкций и опыта применения средств механизации для поддержки кровли в условиях проведения подземных выработок	22
1.4. Анализ исследований в области повышения эффективности механизированных средств поддержки кровли в технологиях проведения подземных выработок	39
1.5. Выводы	42
2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШАГАЮЩЕЙ КРЕПИ (ММШК)	45
2.1. Обоснование требований и схемных решений ММШК	45
2.2. Конструкция и принцип работы ММШК	48
2.3. Моделирование напряжённо-деформированного состояния ММШК в процессе передвижения по горной выработке	61
2.4. Обоснование применения ММШК в различных технологических схемах отработки	70
2.5. Компоновочная схема и принцип работы проходческого комплекса для скоростного проведения подготовительных горных выработок с использованием ММШК	77
2.6. Выводы	81
3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ММШК	83
3.1. Исследования действующих нагрузок на ММШК при взаимодействии с массивом горных пород в подготовительной выработке	83
3.2. Исследование силовых параметров ММШК	92
3.3. Исследования процесса передвижки секций ММШК	104

3.4. Разработка конфигурации автоматизированной системы управления ММШК	112
3.5. Выводы	116
4. ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ММШК С СПРЯГАЕМЫМИ ОБЪЕКТАМИ В СОСТАВЕ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	118
4.1. Численные исследование взаимодействия ММШК с массивом горных пород при проходке подземных горных выработок	118
4.2. Анализ операций цикла проходки подготовительных выработок проходческим комплексом с использованием ММШК	129
4.3. Методика обоснования основных вариантов компоновок ММШК для проходческих и добычных комплексов	135
4.4. Выводы	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	142
ПРИЛОЖЕНИЯ	165
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акт экспериментальных исследований по определению времени рабочего цикла передвижки секций на масштабном экспериментальном макете многофункциональной механизированной шагающей крепи в условиях ФИЦ УУХ СО РАН	166
Приложение Б. Д.002.02.101.05.10.2018 Документация на проведение и крепление конвейерного штрека 1В с конвейерного ствола («Шахта «Южная» АО «СДС-Уголь»)	170

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В Программе развития угольной промышленности России до 2035 года сформированы два сценария развития, которые предполагают увеличение объемов добычи угля, в том числе подземным способом. Следует ожидать, что прогнозируемое повышение уровня добычи угля потребует интенсификации подземных горных работ.

Для своевременного воспроизводства фронта очистных выработок требуется значительные объем и скорость проведения подготовительных и вспомогательных выработок. Однако современные высокопроизводительные проходческие комбайны не могут достичь ожидаемых темпов проходки вследствие ухудшения горнотехнических и горно-геологических условий залегания угольных пластов. Обнажение кровли впереди подготовительного забоя значительно увеличивает вероятность ее обрушения. В связи с этим возникает необходимость своевременного опережающего поддержания кровли в призабойной зоне вслед за выемкой пластов угля проходческим комбайном.

Известные решения по созданию предохранительного временного крепления зоны подготовительного забоя используют ручной труд, травмоопасны, не обеспечивают совмещение операций в проходческом цикле и снижают темп проходческих работ.

Отсутствие механизации трудоемких работ поддержания обнаженной кровли в призабойной зоне определяет задачу создания эффективных и мобильных средств механизации, способных работать как в технологиях скоростной проходки подземных выработок в массивах пород различной крепости и при переменной устойчивости кровли, так и для выемки трудноизвлекаемых запасов месторождений, залежей или отдельных их частей, к которым можно отнести бесцеликовую разработку угольных пластов средней мощности камерно-столбовым способом и запасов мощных крутых и круто-

наклонных угольных пластов подэтажной системой разработки, поэтому решение указанной задачи является весьма актуальным.

Работа выполнена в рамках проекта IX.132.2.4 «Научные основы создания новых поколений горных машин, методов технической диагностики и контроля состояния потенциально опасного оборудования и материалов» (номер проекта в ИСГС Минобрнауки России № 0352-2019-0014) программы IX.132.2 «Фундаментальные основы и инновационные технологии разработки и комплексного освоения угольных месторождений».

Степень разработанности. Изучением физических процессов при проходке подземных горных выработок, подземной разработке трудноизвлекаемых угольных пластов, разработкой способов и средств их реализации широко занимаются как у нас в стране, так и за рубежом. Большой вклад внесли ведущие ученые: В.В. Аксенов, С.А. Басов, В.А. Бреннер, Г.Д. Буялич, В.Ф. Горбунов, Ю.А. Дмитрак, А.Б. Ефременков, Л.И. Кантович, В.И. Клишин, В.Х. Клорикьян, Л.Е. Маметьев, В.Г. Мерзляков, А.В. Топчиев, Ю.В. Турук, А.А. Хорешок, В.Н. Хорин, Ю.Л. Худин, А.Ф. Эллер, Д.А. Юнгмейстер, P. Kogler, S.S. Peng, H.S. Chiang и др.

Несмотря на наличие научных исследований, по результатам анализа работ установлено, что в настоящее время отсутствуют надежные средства механизации, способные постоянно взаимодействовать с горным массивом и создавать при этом своевременную опережающую поддержку кровли в призабойной зоне подземной выработки в процессе их передвижения; недостаточно освещены вопросы оценки влияния нагрузок, действующих со стороны массива пород различной крепости и устойчивости по обучаемости на конструкцию временной передвигаемой крепи с постоянной поддержкой кровли в тупиковой зоне выработки для обоснования ее параметров, в том числе процесса передвижки, что требует проведения дополнительных исследований.

Целью работы является обоснование параметров многофункциональной механизированной шагающей крепи для разработки угольных пластов,

обеспечивающих повышение эффективности и безопасности подземной добычи.

Идея работы заключается в обеспечении своевременной опережающей поддержке кровли в призабойной зоне проходческой горной выработке с использованием циклически-шагающей механизированной крепи с неснижаемым (постоянным) распором секций.

Объектом исследования является многофункциональная механизированная шагающая крепь (ММШК).

Предметом исследования являются режимы и параметры работы ММШК.

Задачи исследования:

- обосновать и разработать ММШК для работы в технологиях скоростной проходки подземных горных выработок и выемки трудноизвлекаемых запасов, экспериментально исследовать параметры передвижки;
- исследовать взаимодействие ММШК с массивом горных пород и особенности ее работы при скоростной проходке подземных горных выработок;
- установить силовые и скоростные параметры ММШК, обеспечивающие своевременное опережающее поддержание кровли с неснижаемым (постоянным) распором при циклически-шагающем способе передвижки и необходимый темп проходки.

Научная новизна:

- обоснованы конструктивные параметры ММШК в виде двухсекционной конструкции, отличающиеся неснижаемым (постоянным) распором секций и циклически-шагающим способом передвижки, позволяющие обеспечить своевременную опережающую поддержку кровли выработки;
- установлена зависимость влияния пород различной крепости и устойчивости по обрушаемости на сопротивление сжатию пород кровли и нагрузку на ММШК при проходке подземных выработок;

– впервые определено условие постоянного поддержания кровли выработки за счет перераспределения воздействующей нагрузки со стороны массива горных пород между секциями ММШК в процессе их передвижки.

Теоретическая и практическая значимость работы

Научное значение работы заключается в установлении механизма взаимодействия ММШК с массивом горных пород в процессе передвижки с созданием своевременной опережающей поддержки кровли с неснижаемым (постоянным) распором секций, обеспечивающего повышение эффективности и безопасности работ в подготовительном забое и в других технологических решениях.

Практическая ценность работы состоит в обосновании параметров ММШК, обеспечивающих повышение производительности и безопасности горных работ в подготовительном забое и других технологических решениях.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в обосновании и разработке ММШК, способной при передвижении создавать своевременную опережающую поддержку кровли подземной горной выработки с неснижаемым (постоянным) распором секций, в проведении численных исследований взаимодействия крепи с массивом пород кровли выработки, в адаптации управления шагающей крепью к современному уровню автоматизации в шахте.

Методология и методы исследования включают: анализ патентов, научно-информационных, нормативно-технических документов по применению методов и средств механизации проходки подземных выработок и разработки трудноизвлекаемых угольных пластов, численные исследования взаимодействия ММШК с массивом горных пород, макетное моделирование процесса передвижки на моделях ММШК, 3D моделирование с использованием расчетного модуля Simulation специализированного программного комплекса SolidWorks Premium 2016, анализ напряженно-деформированного состояния элементов ММШК.

Научные положения, выносимые на защиту:

– двухсекционная конструкция крепи ММШК с попеременным шагами секций обеспечивает необходимую скорость проходки подготовительных выработок и безопасность работ при их ведении за счет своевременной опережающей поддержки кровли и поочередного восприятия перекрытием секций горного давления с сохранением устойчивости элементов конструкции при значениях коэффициента запаса прочности крепи $n > 1,5$;

– с увеличением коэффициента крепости пород для I и III типов кровли по обрушаемости нагрузка на крепь ММШК уменьшается, при этом в подготовительной выработке размерами $5,0 \times 3,5$ м и глубине 250 м максимальная нагрузка на секцию крепи с тремя опорными балками составляет 240 кН/м^2 при неустойчивых кровлях, и минимальная 120 кН/м^2 – при устойчивых, причем при максимальной нагрузке обеспечиваются необходимые время и скорость передвижки соответственно 2,15 мин и 0,93 м/мин;

– при поочередной передвижке секций крепи ММШК с тремя и двумя опорными балками модуль деформации секции крепи изменяется и достигает соответственно максимального значения 2013 кН/м^2 при нагрузке на крепь 1500 кН, и минимального 1920 кН/м^2 при нагрузке на крепь 1000 кН, при этом максимальная величина конвергенции кровли и почвы выработки составит 0,168 м, не превышая допустимых значений.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается результатами макетного моделирования режимов работы ММШК, корректностью допущений, сделанных при построении модели взаимодействия крепи с вмещающими породами, использованием апробированных методов при численных исследованиях, моделировании и определении параметров.

Личный вклад автора заключается в:

– анализе существующих технологических решений и средств механизации, используемых при проходке подземных выработок и разработке трудноизвлекаемых угольных пластов;

- обосновании требуемых параметров для построения математической модели взаимодействия ММШК с массивом горных пород, проведении численных исследований, моделировании напряженно-деформируемого состояния;
- разработке цикла, последовательности и алгоритма работы ММШК для скоростной проходки подземных выработок, макетное моделирование процесса передвижки секций;
- разработке и обосновании основных параметров ММШК;
- обобщении научных и практических результатов.

Реализация работы. Основные положения и результаты исследований использовались при разработке и изготовлении экспериментального макета ММШК. Работа над данной тематикой поддержана грантами на выполнение НИОКР Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «Старт 18-1» и «Старт 20-2» в рамках реализации инновационного проекта «Разработка роботизированного шагающего модуля для эффективной добычи полезных ископаемых подземным способом».

Основные научные и практические результаты работы рекомендованы и переданы к использованию при изготовлении ММШК для скоростной проходки горных выработок.

Апробация работы. Основное содержание работы и отдельные ее положения докладывались и получили одобрение на научно-практических конференциях: международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (г. Новокузнецк, 2017-2021 гг.); девятой Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование: теория и практика (ИММОД-2019)» (г. Екатеринбург, 2019 г.); XXIV международном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2020 г.); V научно-практической конфе-

ренции ПМХ (г. Кемерово, 2020 г.); XXX международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2022 г.).

Публикации. Основные научные результаты работы изложены в 21 публикациях, в том числе: 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 4 в изданиях, индексируемых в базах Web Of Science и Scopus; получены 2 патента РФ на изобретение, 2 патента РФ на полезную модель и 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 170 страниц машинописного текста, включая 52 рисунка, 20 таблиц, 184 наименования работ отечественных и зарубежных авторов и 2 Приложения.

1. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

1.1. Горнотехнические аспекты проведения подземных выработок

Мировая добыча угля в 2020 году, по данным аналитической компании GlobalData [1], составила 7,7 млрд. тонн, при этом ожидается, что в период 2021-2025 гг. добыча будет расти в среднем на 2,3% в год, и к 2025 году достигнет 8,8 млрд. тонн. Отметим, что угледобывающая отрасль России в 2020 году обеспечила около 5% мировой угледобычи. Стратегия развития угольной отрасли России [2] предполагает увеличение объема добычи угля до 485 млн. тонн в 2035 году по консервативному варианту, и до 668 млн. тонн по оптимистическому варианту развития.

Для добычи угля подземным способом и эксплуатации угольных шахт особое значение имеют горнопроходческие работы. Согласно [3], горнопроходческие работы отображают комплекс работ по проведению подземных горных выработок для различных целей и задач. Данный комплекс работ состоит из основных (разрушение и выемка горной массы, возведение временной и постоянной крепи и др.) и вспомогательных (монтаж вентиляции, наращивание конвейера и др.) проходческих процессов. Изучение вопросов взаимодействия, увязки во времени и пространстве выполнения операций проходческого процесса, совмещения их по времени, позволяет решать задачи повышения эффективности и производительности проходческих работ.

Основной объём горнопроходческих работ в шахтах приходится на проведение вспомогательных и подготовительных горных выработок. Необходимые условия для проведения очистных работ создают вскрывающие и подготовительные выработки. Вскрывающая выработка открывает доступ к рудному телу, пласту или его части и обеспечивает возможность проведения подготовительных выработок. Подготовительная выработка проводится по-

сле вскрытия шахтного поля для оконтуривания и подготовки к очистной выемке отдельных его частей. К подготовительным выработкам относятся нарезные выработки шахт, которые проводятся в процессе подготовительных работ и непосредственно прилегают к массиву полезного ископаемого, предусматриваемого к выемке.

По данным аналитического обзора [4-7] итогов работы угледобывающей отрасли России за 2016-2020 гг., в 2020 году добыча угля составила 398,3 млн. т, в том числе 102,9 млн. т подземным способом (Таблица 1.1), удельный вес подземного способа в общей добыче составил 26%, проведено 409,4 км подземных горных выработок, включая 329,6 км вскрывающих и подготавливающих выработок (Таблица 1.2), при этом уровень комбайновой проходки составил 95,5% общего объема проведенных выработок.

Таблица 1.1 – Добыча угля в России (млн. т)

Годы	2016	2017	2018	2019	2020
Добыча угля (общая), млн. т	385,4	411,4	440,2	439,4	398,3
Добыча угля подземным способом, млн. т	104,3	105,5	109,4	107,5	102,9
Удельный вес подземного способа добычи, %	27	26	25	24	26

По данным за 2020 год более половины (55%) всего добываемого угля в стране и 72% коксующихся марок приходится на Кузнецкий угольный бассейн (Кузбасс) [4].

Таблица 1.2 – Проведение подземных горных выработок в России

Годы	2016	2017	2018	2019	2020
Всего, км	376	403,1	441,8	459	409,4
Вскрывающих и подготавливающих выработок, км	292,2	348,8	358,5	377	329,6
Уровень комбайновой проходки, %	92	91	91	96,3	95,5

Согласно анализу [8], общая добыча угля в Кузбассе в 2020 году составила 221,03 млн. т, из них подземным способом добыто 81,7 млн. т, проведено 315,8 км подземных горных выработок, включая 252,7 км вскрывающих и подготавливающих выработок (Таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Проведение подземных горных выработок на угольных предприятиях Кузбасса 2016–2020 гг.

Годы	2016	2017	2018	2019	2020
Всего, км	325	338	354,5	357,8	315,8
Вскрывающих и подготавливающих выработок, км	254	264	280,7	294,2	252,7
Проведено подготовительных выработок комбайнами, км	-	309,8	323,6	351,5	309,3
Уровень комбайновой проходки, %	-	93,4	93,8	98,6	98

Из графиков (Рисунки 1.1 и 1.2) видно, что при относительно равном объёме проведенных выработок в период 2016-2020 гг., уровень комбайновой проходки подземных выработок в Кузбассе увеличился, и в 2020 году составил 98% общего объема проведенных выработок.

По данным [4], в 2020 году среднесуточная добыча угля из одного действующего очистного забоя в среднем по отрасли составила 4625 т, среднесуточная нагрузка на комплексно-механизированный очистной забой в среднем по отрасли составила 4710 т, при этом динамика среднесуточной добычи угля из действующего очистного забоя в период с 2010 по 2020 годы увеличилась с 2641 до 4625 т соответственно (показатель увеличился на 75%), динамика среднесуточной нагрузки на комплексно-механизированный забой (КМЗ) с 3484 до 4710 т за аналогичный период (показатель увеличился на 35%).



Рисунок 1.1 – Проведение подземных горных выработок (км) на угольных предприятиях Кузбасса в 2016-2020 гг.

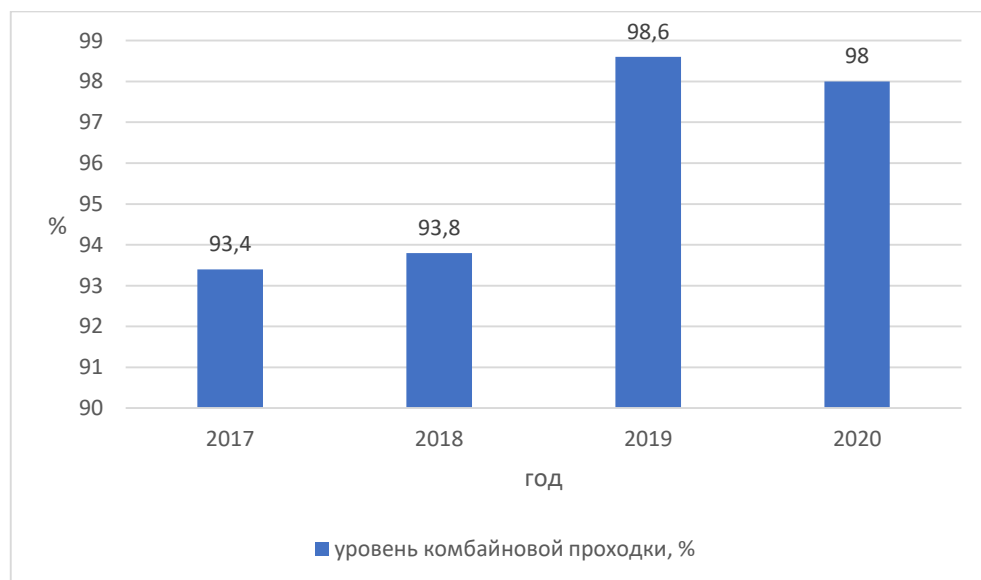


Рисунок 1.2 – Уровень комбайновой проходки на угольных предприятиях Кузбасса в 2017-2020 гг.

Поэтому дальнейший рост темпов добычи готовых к выемке запасов угля может сдерживаться из-за недостаточности воспроизводства проведения подготовительных выработок, в [9] отмечено, что средние темпы проведения выработок проходческими комбайнами на шахтах России составляют 140-160 м/мес.

При переходе горных работ на глубину более 400 м возникла необходимость применения многоштрековой подготовки выемочных участков [10, 11], это ведет к увеличению общей протяженности подготовительных выработок в 1,5-2 раза [12], что в свою очередь приводит к значительному увеличению объема проходческих работ. Применение на отечественных шахтах технологических схем камерно-столбовой отработки (КСО) [13-16] угольных пластов пологого падения предусматривает поочерёдное проведение проходческим комбайном по выемочному участку значительного объема параллельных и перпендикулярных выработок незначительной длины – камер и коротких выработок для соединения камер-сбоек, при этом оставляя междукamerные целики для дальнейшего погашения. При погашении междукamerных целиков, для полноты извлечения полезного ископаемых, возникает необходимость дополнительной поддержки кровли выработки в зоне сопряжения выемочных камер с заходками в целиках [17, 18].

Сдерживающими производительность проходческих работ обстоятельствами являются ухудшения горнотехнических и горно-геологических факторов отрабатываемых угольных пластов, среди которых особое значение имеет увеличение глубин разработки и связанные с этим процессы динамического проявления горного давления [19], которое негативно влияет на безопасность горных работ в проходческом забое. На ограничение скорости проходки существенное влияние оказывает отсутствие механизации трудоёмких работ, связанных с установкой временного предохранительного крепления для поддержки обнаженной кровли в зоне работы проходческого забоя.

Учитывая, что уровень комбайновой проходки в 2020 году достиг по России 95,5%, а в Кузбассе 98%, то для дальнейшего наращивания объемов проведения подземных выработок необходимо увеличение темпов проходки до 300-1000 м/мес. [9, 20], что потребует повышение механизации и совмещение во времени выполнения трудоемких операций проходческих работ,

связанных с поддержанием кровли, разрушением и погрузкой горной массы комбайном [9].

Поэтому для повышения эффективности и безопасности проходческих работ весьма актуальна задача по созданию мобильных средств, обеспечивающих механизацию трудоемких работ по устройству временной предохранительной поддержки кровли в проходческом забое и увеличение скорости проведения выработок, способных работать в условиях ухудшения горнотехнических и горно-геологических факторов, в том числе в массивах пород различной крепости и при переменной устойчивости кровли.

1.2. Обзор современных средств механизации для проведения подземных выработок

Согласно [21], комплекс проходческого оборудования представляет собой комплекс технологически связанных проходческих машин и оборудования, предназначенных для механизации основных операций процесса проведения горных выработок, включая разрушение массива, погрузку на транспортное средство горной массы и крепление горных выработок. В современной горной отрасли для механизированного проведения подземных выработок в угольных шахтах наибольшее распространение получил механизированный комбайновый способ проходки [22-24], как было представлено выше, в настоящее время уровень комбайновой проходки составляет не менее 95% объемов проведения подземных выработок.

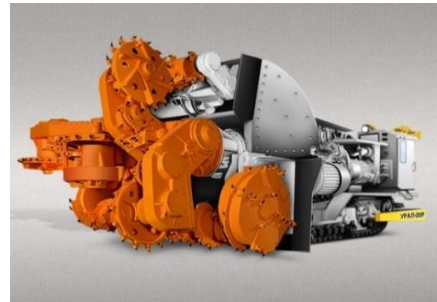
В основе комбайнового способа проходки лежит совмещение и механизация основных проходческих процессов в пределах одной горной машины – проходческого комбайна [23, 25]. Способность комбайна обеспечить совмещение операций по разрушению полезных горных пород и их погрузку в транспортные средства во времени позволяет значительно сократить длительность рабочего цикла прохождения выработки. Проходческие комбайны имеют широкую область применения, от применения для проходки горизон-

тальных и наклонных до 18° горных выработок арочной, трапецевидной и прямоугольной формы, до использования его в качестве добычной машины. Подходы к классификации проходческих комбайнов приведены в работах [26–29].

В угольных шахтах буровые проходческие комбайны непрерывного действия с роторным и планетарным исполнительным органам (ИО) (Рисунок 1.3) не применяются, по причине следующих недостатков: отсутствует широкая регулировка площади и формы сечения проходимой выработки; низкая маневренность; большие масса и длина комбайна (масса 90-250 т, длина 15-16 м); сложность выполнения работ по креплению выработки, трудность обслуживания исполнительного органа в забое, значительное время на проведение монтажно-демонтажных работ.



а)



б)

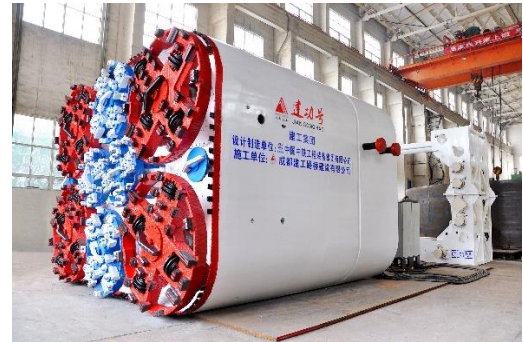
а) с роторным ИО; б) с планетарным ИО

Рисунок 1.3 – Проходческие комбайны непрерывного (бурового действия)

К средствам механизации проведения подземных выработок относятся проходческие щиты (Рисунок 1.4), которые получили широкое распространение при строительстве тоннелей и метрополитенов [30, 31].

Под проходческим щитом понимается передвижная временная металлическая призабойная крепь, которая используется для проведения горных выработок и представляющая собой корпус с щитовыми домкратами и гидроммуниками, в котором размещаются забойные механизмы, необхо-

димые для разрушения и выемки горной породы при проведении выработки и возведения постоянной крепи за щитом [21]. Из-за особенности конструкции при проходке выработок в угольных шахтах не применяются.



а)

б)

а) круглая форма щита с роторным ИО;

б) прямоугольная форма щита с планетарным ИО

Рисунок 1.4 – Проходческие щиты

Наибольшее распространение в современных угольных шахтах России и за рубежом из-за простоты конструкции и универсальности получили проходческие комбайны избирательного действия со стреловидным ИО на гусеничном ходу (Рисунок 1.5), позволяющие механизировать процесс отбойки и погрузки горной массы [26, 32].



Рисунок 1.5 – Проходческий комбайны со стреловидным ИО
избирательного действия

В угольных шахтах России широко применяются проходческие комбайны избирательного действия со стреловидным ИО, как отечественного производства 1ГПКС, КП21 (КМЗ), так и зарубежного КСП (ЯМЗ, Украина), MR340 (Sandvik, Швеция), EBZ (SCME, Китай) и др. [33, 34]. Отличительной особенностью данного типа является то, что исполнительный орган здесь выполнен в виде подвижной консольной рукояти – стреле с фрезерной (резцовой) коронкой на конце, совершающий при обработке забоя качательные движения в горизонтальных и вертикальных плоскостях. Избирательный способ разработки забоя с циклическим перемещением по забою фрезерной коронки с резцовыми режущим инструментом позволяет разрабатывать выработку любой формы поперечного сечения, кроме круглой. При этом фрезерные коронки могут быть коническими, барабанными, сферическими, лучевыми, дисковыми [35, 36]. Рабочее оборудование проходческого комбайна избирательного действия, исполнительный орган (ИО), средства погрузки и транспортировки отбитой горной массы располагаются на ходовом оборудовании. При обработке забоя устойчивость комбайна обеспечивается питателем, выполняющим функцию передней опоры, и задними гидроопорами. Погрузочный орган питателя обычно представляет собой комбинацию нагребных лап со скребковым или цепным конвейером. Преимущественно передвижение комбайна осуществляется на гусеничном ходу.

В последнее время для проведения подземных выработок в угольных шахтах России стали активно применяться высокопроизводительные проходческо-очистные комбайны [33, 37] типа continuous miner и bolter miner производства зарубежных компаний Joy (США), Sandvik (Швеция), CAT (США) и другие с широкозахватным ИО барабанного типа [38] (Рисунок 1.6). Отличительной особенностью является то, что их ОИ преимущественно представляет собой барабан, отбойная часть которого по ширине соответствует размеру проводимой выработки и имеет возможность совершать качательные движения в вертикальной плоскостях для обработки всей площади забоя. Одним из основных достоинств проходческих комбайнов непрерывного действия типа

continuous miner является повышенной производительность, что подтверждено опытом эксплуатации на угольных шахтах [37].



Рисунок 1.6 – Проходческо-очистной комбайн непрерывного действия типа continuous miner

К средствам механизации проходческих работ так же относят средства транспортирования отбитой горной массы от проходческого комбайна из забоя выработки (штрековый скребковый конвейер, штрековый ленточный телескопический конвейер, перегружатель и самоходный вагон). Для анкерного крепления подземных выработок [39, 40] в качестве средств механизации применяют анкероустановщики (Рисунок 1.7). В угольных шахтах широкое распространение нашли пневматические анкероустановщики [41] (Рисунок 1.7а) как отечественного производства (СВР, СБГ-4 и др.), так и зарубежные (GOPHER, Германия; RAMBOR, Австралия; MQT, Китай и др.), также применяются гидравлические анкероустановщики (КГА-М, Россия и др.), реже самоходные машины анкероустановщики (Рисунок 1.7б) преимущественно зарубежного производства.



а)



б)

а) ручной пневматический анкероустановщик

б) мобильный анкероустановщик Sandvik DM300 на гусеничном ходу

Рисунок 1.7 – Средства механизации анкерного крепления

Анализ проведения проходческих работ [33, 42, 43] показал, что проходческий комбайн является основным средством механизации работ при проведении подземных выработок. Основу парка проходческих комбайнов угольных предприятиях Кузбасса и России составляют комбайны избирательного действия со стреловидным исполнительным органом КП-21 производства АО «КМЗ» (Россия), при этом ожидаемые темпы комбайновой проходки должны составлять 600-800 м/мес. Следует также отметить исследования по созданию нового класса проходческих горных машин – геоходов [44].

Одним из путей решения проблемы увеличения скорости проведения подземных выработок своевременными высокопроизводительными проходческими комбайнами может быть использование механизированной крепи для поддержки обнажённой кровли в зоне забоя, что позволит исключить ручные трудоёмкие работы по устройству временной предохранительной крепи, выполнять операции проходческого цикла под надёжным перекрытием и частично совместить операции проходческого цикла по выемке горной массы с креплением кровли.

1.3. Анализ конструкций и опыта применения средств механизации для поддержки кровли в условиях проведения подземных выработок

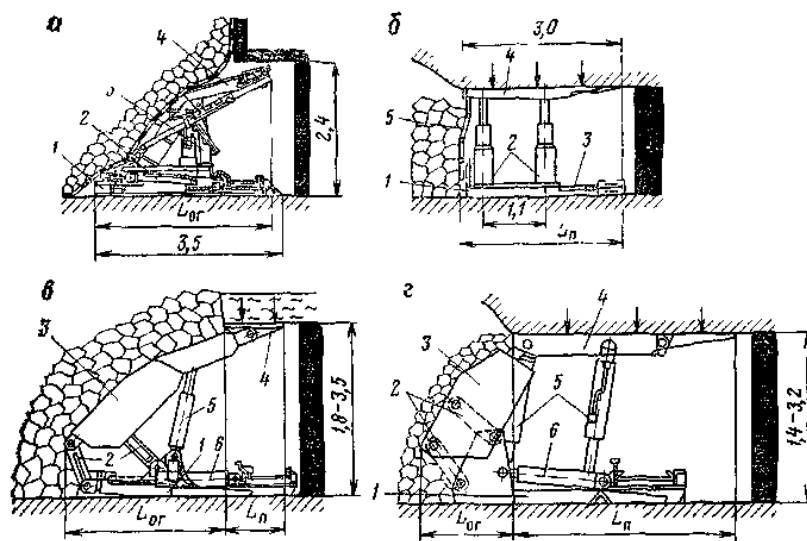
Для создания оптимальной схемы безопасного механизированного крепления призабойного пространства в выработке при проходческих работах,

в данном разделе необходимо рассмотреть классификацию механизированных крепей (МК) [45-52] по отличительным признакам и анализу конструкций.

В рамках поставленной задачи предлагается классифицировать МК по актуальным характерным (отличительным) признакам.

По выполняемым функциям и характеру их взаимодействия с боковыми породами МК разделяют на: оградительные, поддерживающие, оградительно-поддерживающие, поддерживающе-оградительные (Рисунок 1.8).

Соотношение выполняемых функций крепями устанавливается величиной проекцией поддерживающих (L_p) и оградительных элементов (L_o) на плоскость почвы горной выработки.



а) оградительные; б) поддерживающие; в) оградительно-поддерживающие;
г) поддерживающе-оградительные

Рисунок 1.8 – Конструктивные типы секций механизированных крепей

По характеру взаимодействия перекрытий секций крепи и пород кровли различают крепи [53]: теряющие контакт с кровлей при передвижке секций (применяются на устойчивых кровлях); без потери контакта с кровлей при передвижке, с некоторым (пассивным) остаточным подпором (применяются на неустойчивых кровлях); с регулируемым сопротивлением (с активным подпором), позволяющим управлять горным давлением.

По способу управления кровлей [47]: обрушение пород кровли в выработанное пространство; искусственное поддержание кровли в выработанном пространстве; естественное поддержание кровли в выработанном пространстве.

По структурной схеме и наличию кинематических связей МК можно разделить на [49]: секционные крепи, состоящие из отдельных секций, не имеющих постоянных силовых и кинематических связей между собой и добычным оборудованием; комплектные крепи, состоящие из отдельных двух и более секций, подвижно связанных друг с другом кинематическими связями и домкратами передвижки, и не имеющие постоянных силовых и кинематических связей с другими комплектами добычного оборудования; агрегатные крепи, состоящие из отдельных секций, имеющих постоянную силовую и кинематическую связь друг с другом и оборудованием добычного комплекса.

По конструктивному выполнению секции крепи разделяют на: одностоечные; рамные (двухстоечные); кустовые (при числе рядов гидростоек больше одного и числом стоек от двух до шести). По расположению гидростоек: однорядные; двухрядные; трехрядные. По месту нахождения связей (гидродомкратов передвижки) между секциями комплектной крепи разделяют с нижним и верхним расположением связей.

По способу передвижения секции подразделяются на [49]: скользящие по почве; с гусеничным ходом; шагающие.

Выбор типа МК зависит от различных горнотехнических и горно-геологических факторов, которые определяются: технологической схемой

отработки; физико-механическими свойствами пород кровли и почвы; глубиной залегания, углом наклона и мощности угольных пластов [49]. Поэтому для определения оптимальной типа и конструкции МК далее необходимо проанализировать аспекты существующих механизированных средств поддержки кровли призабойного пространства.

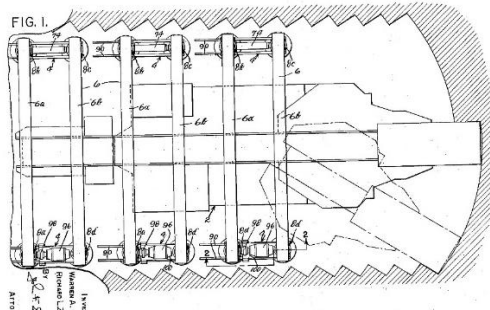
Передвигающиеся средства механизации для поддержки кровли

Согласно данных международного технического комитета по стандартизации ISO/TC 82 «Mining», специализирующегося на горной технике и оборудовании, в 2019 году подкомитетом ISO/TC 82/SC 8 «Advanced automated mining systems» принят стратегический бизнес-план развития стандартизации в области передовых горных технологий [54], в котором представлен возрастающий запрос мировых горнодобывающих компаний на использование многофункциональных мобильных и автономных горных машин, единых платформенных технических решений, обеспечивающих повышение безопасности и производительности.

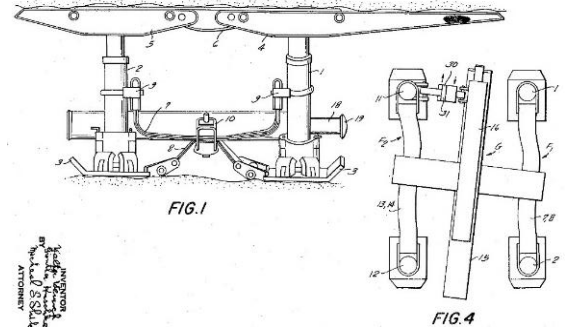
В работе [55] представлен анализ мировой практики и подходов развития мобильных механизированных технических средств шагающего типа на гусеничном ходу для поддержки кровли горных выработок и создания рабочего пространства при различных технологиях выемки полезных ископаемых, в том числе для проходки выработок. Одним из технических решений по поддержке кровли для механизации проходки в условиях совместной работы с выемочной машиной была предложена [56] шагающая крепь, выполненная из нескольких независимых элементов в виде рамных опор, снабженных средствами индивидуального выдвижения и втягивания, обеспечивающих подъём, опускание и передвижение опор (Рисунок 1.9а).

Представленная в [57] двухрамная шагающая крепь (Рисунок 1.9б) с подвиганием посредством последовательного шагания рам, состоит из двух блоков, содержащих разнесенные друг от друга рамы-арки, каждая из которых содержит пару гидравлически-раздвижных стоек, расположенных по од-

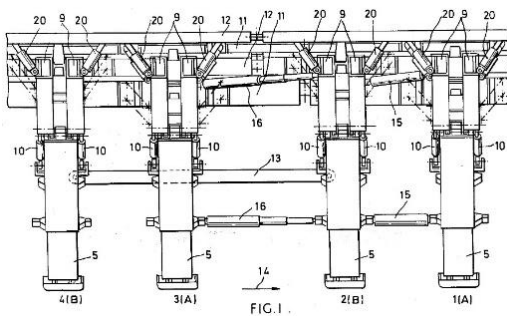
ной с каждой стороны. Блоки с рамами-арками перемещаются относительно друг друга для продвижения конструкции крепи и поддержки кровли.



а)



б)



в)

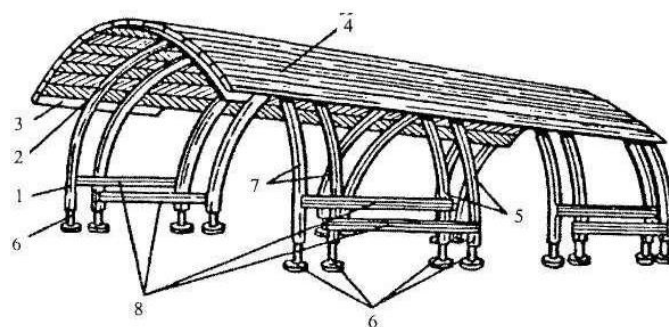
а) шагающая рамная крепь; б) шагающая двухрамная крепь;

в) шагающая шахтная крепь

Рисунок 1.9 – Варианты средств крепления кровли шагающего типа

Описанная в [58] шагающая шахтная крепь (Рисунок 1.9в) состоит из четырёх гидравлических телескопических опор, которые у основания попарно соединены направляющими, образуя параллельные рамы. Данная крепь предназначена для временного крепления горных выработок арочного типа при проходке и может посредством попарного шагания опор подвигаться к зоне забоя. При этом оба варианта крепи перед шаганием снимают управление и не поддерживают кровлю в момент перемещения.

Среди отечественных предложений можно отметить разработанную ЦНИИподземмаш конструкцию механизированной распорно-шагающей крепи типа КМК-3м (Рисунок 1.10), предназначенную для временного поддержания кровли в призабойной части подготовительных выработок, проводимых комбайновым способом и обеспечивающую частичное или полное совмещение работ по выемке породы и возведению постоянной крепи [59, 60].



1 – стойки; 2 – верхняк; 3 – кружала; 4 – лыжи; 5 – арка головная;
6 – домкраты распора; 7 – арка концевая; 8 – домкраты передвижки
Рисунок 1.10 – Временная механизированная передвижная крепь КМК-3м

К отмеченным положительным моментам крепи относят обеспечение перекрытия призабойного пространства над проходческим комбайном и возможность возведения постоянной арочной крепи позади комбайна. Существенными недостатками крепи КМК-3м считается возможность работы только при ровной кровле и почве выработки, а также потеря поддержки кровли выработки при передвижении арок секций.

В [61] предложена конструкция передвижной балочной крепи на гусеничном ходу (Рисунок 1.11а), которая предназначена для временной поддержки кровли подземных выработок на период анкерного крепления и выемки полезного ископаемого горной добывающей машиной. Штатный вариант использования крепи предусматривает, что выемочная горная машина располагается под защитой балочного перекрытия крепи в забойной части,

а в противоположной части крепи располагается машина для бурения, монтаж основной кровли производится анкерным креплением. Таким образом, обеспечивается совмещение проходческих операций по выемке и анкерному креплению под временной защитой передвижной крепи. Основным недостатком предложенной конструкции является отсутствие постоянной поддержки кровли выработки при передвижке.

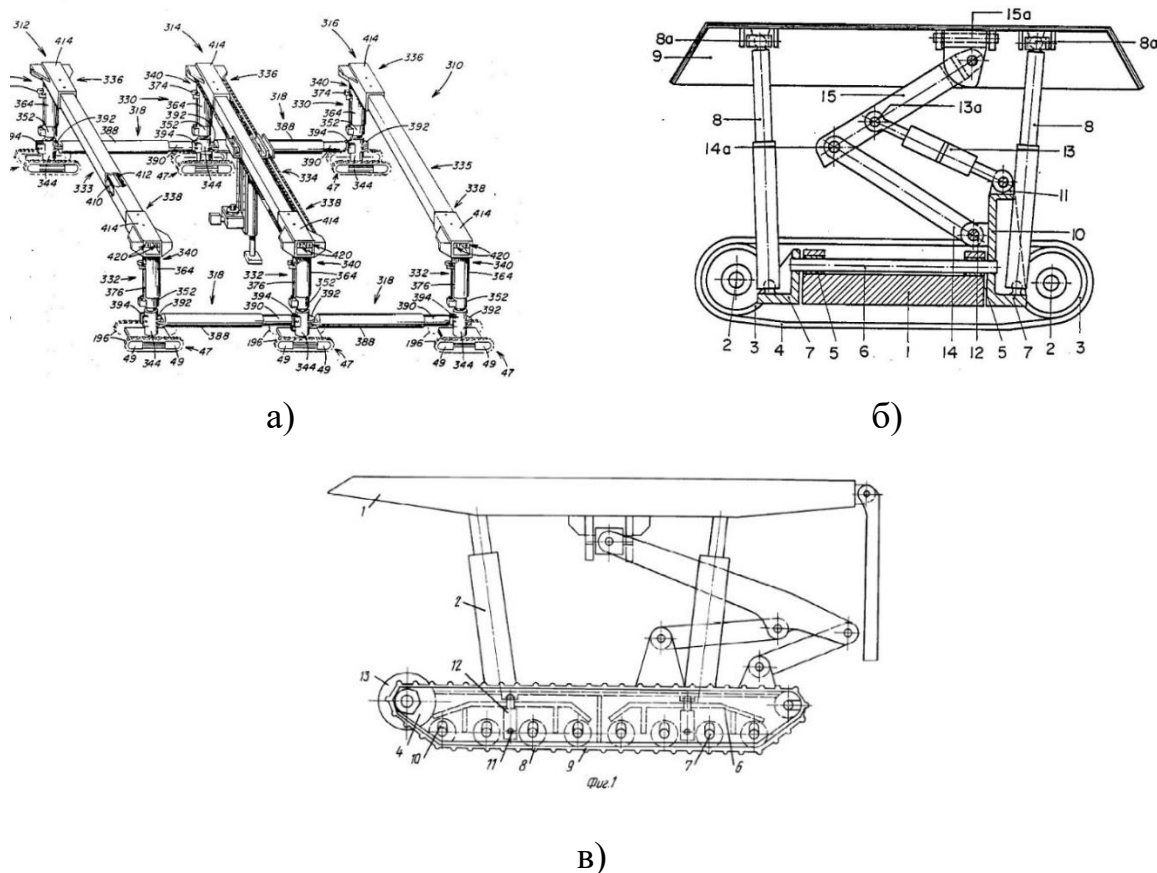


Рисунок 1.11 – Варианты крепей на гусеничном ходу

Мобильная конструкция передвижной шахтной крепи (Рисунок 1.11б) предложена в [62] для поддержки кровли горных выработок в месте перемонтажа очистных механизированных комплексов. Передвижная шахтная крепь состоит из тележки на гусеничном ходу, которая служит основанием для размещения гидравлических стоек, связанных с поддерживающей ча-

стью. Схожая конструкция мобильной самоходной механизированной крепи на гусеничном ходу (Рисунок 1.11в) предложена в [63] для крепления горных пород в системах КСО.

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что разнообразие конструкций средств механизации для поддержки кровли в подземной выработке созданы для различных условий применения и задач; по принципиальной схеме и способу перемещения конструкции можно разделить на две группы: шагающие и гусеничные, при этом шагающие снимают постоянный распор при передвижке, а гусеничные могут работать с постоянным распором даже при ее передвижке.

Шагающие машины

В настоящее время отечественными и зарубежными специалистами ведется разработка шагающих машин, ориентированных на конкретные области применения и выполняемые задачи [64]. Отмечено [65-70], что шагающие машины значительно превосходят традиционные транспортные средства при использовании в сложных условиях и труднопроходимых местах, при проведении исследований, аварийно-спасательных работ в экстремальных условиях, ликвидации последствий природных и техногенных катастроф, когда не требуются перемещения на значительные расстояния.

Шагающей машиной принято называть, машину, которая оставляет дискретный след на поверхности перемещения.



а)



б)



в)

- а) с цикловым механизмом шагания "Восьминог"; б) с ортогональным приводом "Ортоног"; в) шагающая машина с ортогональным двигателем

Рисунок 1.12 – Конструкции шагающих машин

Среди отечественных современных проектов шагающих машин можно выделить работы исследователей из ВолгГТУ (Волгоград) (Рисунок 1.12) по разработке и созданию машин с цикловым механизмом шагания (Рисунок 1.12а) и ортогональным приводом [69] (Рисунки 1.12б, 1.12в). Отмеченным достоинством циклового и ортогонального механизма шагания является независимость вертикального и/или горизонтального перемещений, что значительно упрощает систему управления и обеспечивает устойчивость машины, при этом обеспечивается движение без дополнительных энергозатрат на поддержание веса машины.

Шагающие механизированные крепи

Отечественными исследователями и проектировщиками были предложены различные варианты шагающих механизированных крепей для применения в угольных шахтах.

ОМТ (г. Киселевск, Россия) разработаны крепи механизированные шагающего типа М130 и М145 (Рисунок 1.13а), которые предназначены для крепления и управления кровлей способом полного обрушения. Крепь состоит из двухстоечных секций, связанных по верхнякам между собой шпунтованными соединениями, обеспечивающими их направленное перемещение. На почву секции опираются отдельными опорами стоек. Взаимное перемещение секций и стоек осуществляется гидродомкратами [71].



а)



б)

а) ОМТ 130 (ОМТ 145); б) КСПЮ

Рисунок 1.13 – Крепи шагающего типа

Юргинским машиностроительным заводом (г. Юрга, Россия) была предложена самодвижущаяся методом шагания крепь сопряжения штрековая КСПЮ (Рисунок 1.13б). Конструкция крепи пенального типа, с верхним расположением пенала, состоит из связанных между собой домкратами передвижки внутренней и наружной секции с гидростойками. Крепь предназначена для работы в широких и узких штреках, трапециевидного и арочного сечений. Крепь сопряжения КСПЮ была изготовлена в 30–40 экземплярах, в эксплуатации отмечен существенный недостаток – низкая устойчивость, связанная с особенностью конструкции.

Разработанная в 70-х годах прошлого века институтом «Сибгипрогор-маш» конвейерная крепь сопряжения КС (Рисунок 1.14) предназначена для поддержания сопряжения очистного забоя с прилегающими выработками – конвейерными и вентиляционными штреками.



a)

6)

а) модель; б) экспериментальный образец

Рисунок 1.14 –Шагающая конвейерная крепь сопряжения КС

Крепь КС состоит из двух секций: внутренней и наружной. Передвижка секций осуществляется путем поочередного перемещения рам относительно

друг друга с помощью гидроцилиндров передвижки с подпором между кровлей и почвой и с отрывом стоек от почвы [72], т. е. поочередным шаганием разгруженного комплекта рам, образующих секцию. По конструктивной завязке крепь КС является рамной крепью, кинематический не связанной, с наличием в конструкции автономных средств передвижения.

Для проведения испытаний на шахте им. Дзержинского в г. Прокопьевск (Кузбасс, Россия) был изготовлен действующий образец крепи (Рисунок 1.14б). К основным преимуществам крепи КС отнесено минимальное влияние крепи на состояние кровли при передвижке каждой секции, так как 50% кровли штрека поддерживается распертой секцией, а также возможность работы в штреках с плоской наклонной кровлей. К специфическим недостаткам крепи КС можно отнести слабую межсекционную связь, загроможденность элементами механической крепи, низкую устойчивость.

К достоинствам машин с шагающим способом передвижения можно отнести: высокие возможности по адаптации к опорной поверхности и профильную проходимость [73, 74], возможность работы на слабых грунтах [75], возможность управления опорными реакциями и стабилизации положения корпуса при движении [76], низкая энергозатратность, что является весьма актуальным при передвижении горных машин в сложных условиях подземных горных выработках. Отмеченные недостатки, такие как низкая скорость передвижения, сложность конструкции и системы управления, компенсируются возможностью выполнения задач по обеспечению безопасности в сложных условиях угольной шахт.

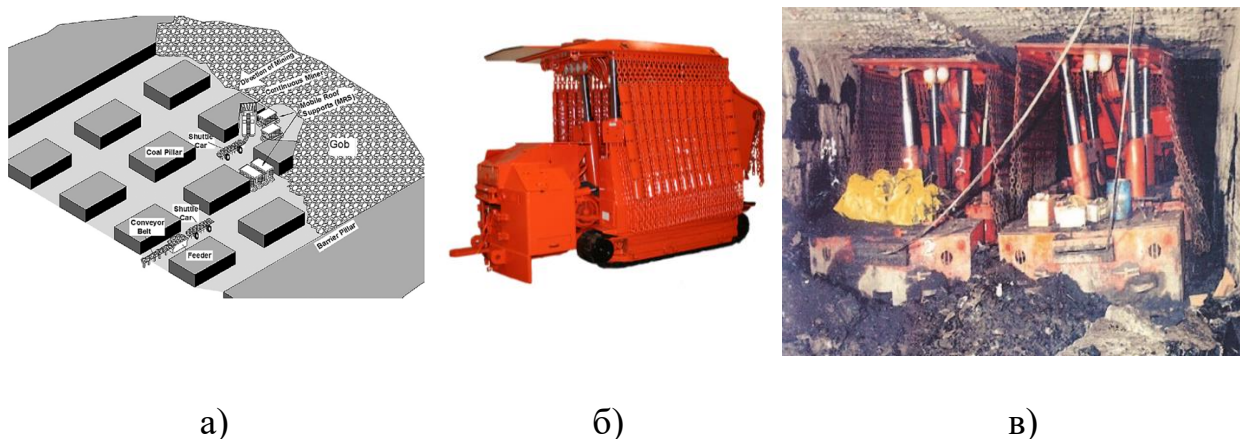
Таким образом, машины с шагающим двигателем является перспективным направлением для применения в условиях угольных шахт, в том числе для проходки подготовительных выработок.

Средства механизации поддержки кровли в системах КСО

Мировая практика применения технологий камерно-столбовой отработки (КСО) в угольных шахтах (Рисунок 1.15) показывает, что для погашения междуканальных целиков угольных пластов широкое использование по-

лучили самоходные электрогидравлические механизированные крепи на гусеничном ходу [77-81]. Данные крепи специально разработаны для механизации технологических процессов КСО [82, 83], связанных с поддержанием кровли выработки и в зоне забоя.

Конструктивно самоходная механизированная крепь для использования в КСО (Рисунок 1.15б) представляла собой раму на гусеничном ходу с плоским навесом, опирающимся на четыре гидравлических цилиндра с общей нагрузкой 544 т, для защиты внутренних компонентов были использованы шторы в виде цепей крупного калибра. Самой распространенной является крепь Mobile Roof Support (MRS) «Мобильный Держатель Кровли» или «Мобильная секция крепи» компании J. H. Fletcher & Co (США).



а) вариант схемы размещения б) крепь для КСО MRS Fletcher;

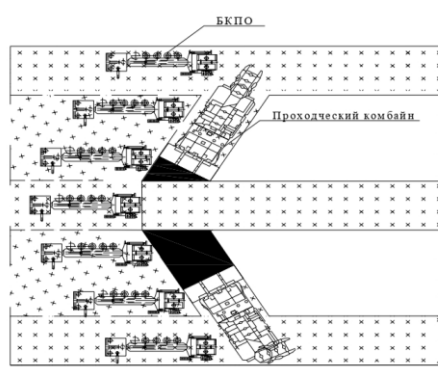
в) удержание кровли камеры двумя крепями MRS

Рисунок 1.15 – Применение самоходных механизированных крепей
в КСО угольных шахт

В технологиях КСО самоходные крепи размещают в местах сопряжения выемочных камер с заходками в целиках (Рисунки 1.15а и 1.15в) и затем перемещают вслед за продвижением проходческого комбайна. Отмечено [17, 80, 81, 84-87], что использование самоходных крепей для поддержки кровли позволило повысить безопасность и отработать междуканальные целики

практически полностью, уровень извлечения угля из выемочного участка достиг 80-90% и более. Среди недостатков: высокие контактные напряжения, ограничивают применение на слабых почвах [88]; в процессе передвижения активный распор отсутствует; высокая стоимость [89].

Исследователями ИУ ФИЦ УУХ СО РАН (г. Кемерово) в длиннокамерных системах разработки угольных пластов (Рисунок 1.16) для поддержки кровли выработанного пространства и создания условий для широкозахватной выемки проходческими комбайнами предложено использовать безразгрузочные комплексы передвижных опор (БКПО), которые выступают искусственными целиками [90, 91]



а)



б)

а) схема размещения оборудования в забое;

б) безразгрузочный комплект передвижных опор (БКПО)

Рисунок 1.16 – Длиннокамерная технология разработка угольных пластов

Проходческие комплексы

В качестве решения задач по интенсификации многооперационных технологических процессов проходки горных выработок в работе [92] рассмотрен путь по совмещению отдельных технологических операций, приводящий к созданию комплексов оборудования разнофункционального назначения на единой базовой основе.

Одним из вариантов единого комплекса, который объединяет различные устройства и механизмирует процесс погрузки-разгрузки в горной выра-

ботке, было предложено погрузочно-разгрузочное устройство с ковшовым исполнительным органом [93]. В состав устройства входит погрузочное, крановое, вспомогательное и силовое оборудование. Недостатком предложенного устройства является низкая производительность оборудования по уборке горной массы, большой объем ручного труда, отсутствие предохранительной крепи над оборудованием, низкая безопасность.

Более совершенным примером объединения различных систем машин на единой платформе можно отнести проходческий комплекс «Сибирь», разработанный учеными и инженерами ИГД им. А.А. Скочинского, ЦНИИподземмашем и КузНИИшахтостроем в 70-е годы прошлого века (Рисунок 1.17). Комплекс предназначен для проведения наклонных выработок до 25° и сечение до 22 м^2 , имеет ковшовый погрузочный орган, бурильную машину, механизм возведения постоянной крепи и оборудование для откачки воды, смонтированные на единой несущей раме на колесно-рельсовом ходу [92, 94]. Движение комплекса осуществляется с помощью лебедки.

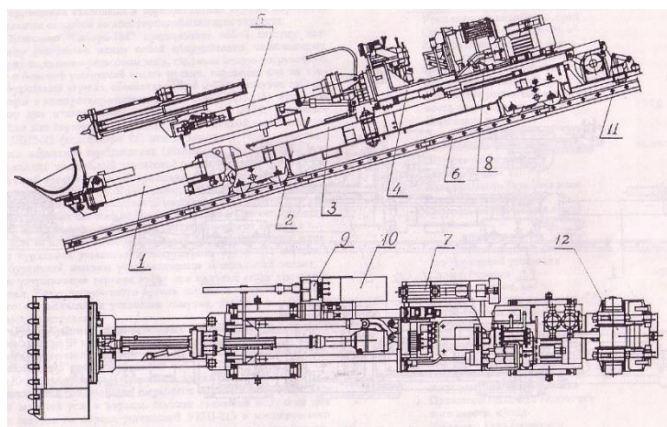
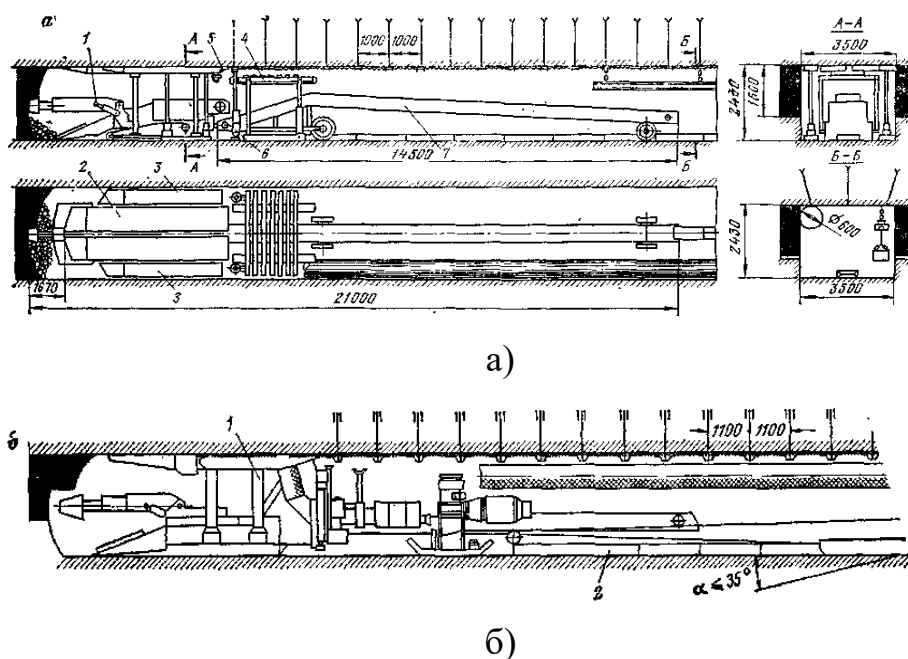


Рисунок 1.17 – Проходческий комплекс «Сибирь»

Комплекс «Сибирь» позволил механизировать основные и вспомогательные операции проходческого цикла. Отмечены следующие недостатки комплекса: не самоходный, применяется только при проходке наклонных выработок; операции проходческого цикла выполняются последовательно

при минимальном совмещении; ограничен в передвижении, привязан к рельсовому пути; отсутствует защита рабочего призабойного пространства от возможных вывалов пород кровли.

В 70-х годах прошлого века специалисты ЦНИИподземмаш совместно с шахтой «Нагорная» разработали поточную механизированную технологию проведения подготовительных выработок проходческим комплексом с комбайном избирательного действия [95] КН-5 (Рисунок 1.18а) и КН-5Н «Кузбасс» (Рисунок 1.18б). Данные комплексы состоят из узлов комбайна ГПК, их особенностью является наличие временной передвижной механизированной крепи, конструктивно связанной с комбайном и оборудования для механизации возведения постоянной анкерной крепи за комбайном. Обнаженное пространство над комплексом крепится временной механизированной крепью.



а) КН-5; б) КН-5Н «Кузбасс»

Рисунок 1.18 – Технологическая схема проведения выработок проходческим комплексом с комбайном избирательного действия

Комплекс КН-5 предназначен для проведения горизонтальных и восстающих до $+10^\circ$ пластов, комплекс КН-5Н «Кузбасс» может работать на

наклонных пластах с углом падения до $+35^\circ$ [92, 94], так как вместо гусеничной ходовой части используется распорно-шагающий гидравлический механизм перемещения и специальное предохранительное устройство от сползания. Механизм передвижения комплекса основан на принципе шагания центральной и двух боковых секций комбайна в следующей последовательности: центральная секция перемещается, отталкиваясь от распертых в кровлю боковых секций, которые, в свою очередь, подтягиваются после того, как центральная секция распирается, а с боковых снимается распор; далее, после передвижения комбайна, к нему с помощью гидроцилиндров подтягивается крепильщик.

Используемый в комплексах распорно-шагающий механизм перемещения временной механизированной крепи позволил совместить операции по разрушению забоя, погрузке горной массы с бурением шпуров под анкера и возведением временной и постоянной крепи, уменьшить долю ручного труда. Отмеченные [96] недостатки комплексов: значительные габариты комплекса; низкая маневренность; постоянный активный распор временной крепи в процессе передвижения отсутствует, постоянная поддержка кровли в зоне забоя выработки не обеспечивается.

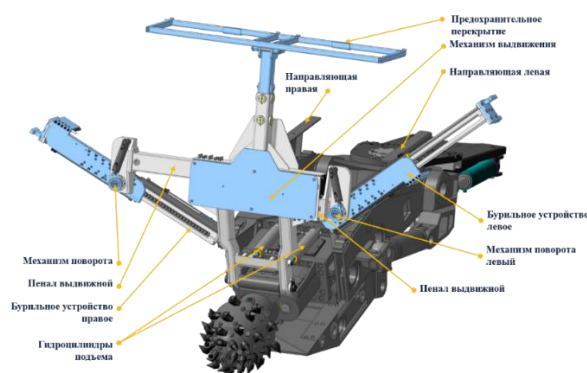
Комплекс КН-5Н «Кузбасс» эксплуатировался на шахте «Нагорная» в конце 1980-х и начале 1990-х годов.

Проходческие комбайны с навесным оборудованием

В последнее время одним из путей повышения уровня механизации отдельных операций проходческого цикла стало оснащение проходческих комбайнов дополнительным навесным оборудованием для крепления анкерной крепи и временной поддержки кровли [97].

Заводом горно-шахтного оборудования Сибэлектро (Новокузнецк, Россия) для проходческого комбайна КП 21 (КМЗ, Россия) разработана навесная установка анкерной крепи типа БУР-01 (Рисунок 1.19а), в состав которой входит механизированное предохранительным перекрытие кровли [98].

Предохранительное перекрытие осуществляет временное поддержание кровли до установки постоянной крепи и обеспечивает безопасность работ в забое подготовительной выработки при возведении постоянной крепи и закреплении призабойного пространства. Однако, навесное оборудование не в полной мере позволяет совместить операций проходческого цикла по выемке горной массы и креплению кровли выработки, так как согласно действующим правилам безопасности [99] при работающем комбайне запрещается пребывание людей в зоне его подвижных частей, а при производстве работ по креплению кровли в рабочей зоне комбайна машинист должен его обесточить. К тому же при передвижении комбайна перекрытие снимается с распора. В свою очередь, габариты установки БУР-01 из-за конструктивных особенностей КП-21 ограничивают ширину и высоту проводимой выработки, а при работе комбайна на место временного поддержания кровли будет оказываться вибрационное воздействие, что может повлиять на устойчивость кровли.



а)



б)

а) БУР-01 на КП 21; б) «Bolter Miner» Sandvik MB670

Рисунок 1.19 Проходческие комбайны,
оснащенные навесным оборудованием

В последнее время в угольных шахтах России стали применяться зарубежные высокопроизводительные проходческие комбайны типа «Bolter

Miner» с широкозахватным барабанным рабочим органом, с навесными бурильными установками для анкерования кровли и устройствами временной крепи [100-102]. Широкое распространение получили проходческие комбайны типа «Bolter Miner» MB670 фирмы Sandvik (Швеция) (Рисунок 1.196). Главная особенность MB670 в том, что он способен одновременно производить выемку горной массы, крепление кровли и бортов выработок, при этом работа операторов бурильных установок осуществляется под защитой козырька устройства временной крепи, что обеспечивает безопасность работы людей [103, 104].

Неоспоримым преимуществом проходческого комплекса данного типа является совмещение операций по выемке горной массы высокопроизводительным широкозахватным барабанным рабочим органом, погрузке и анкерному креплению кровли и бортов, что позволяет достичь скоростей проходки более 1000 м/месяц. Однако, к существенным недостаткам проходческого комплекса типа «Bolter Miner» относят высокую себестоимость проведения 1 п.м. по сравнению с себестоимостью проходки комбайнами избирательного действия, влияние горно-геологических условий на производительность, требования к наличию высокотехнологичной инфраструктуры и квалифицированного персонала [43].

Как показывает проведенный обзор разработанных и опробованных механизированных крепей для поддержки кровли подземной выработки в зоне забоя при проходке в условиях угольных шахт, наряду с отмеченными индивидуальными достоинствами каждой крепи, можно выделить общий недостаток – в процессе их передвижки активный распор отсутствует, вследствие чего постоянная поддержка кровли выработки не обеспечивается. При этом выполнение операций проходческого цикла, как правило, идет последовательно либо с минимальным совмещением.

Поэтому одним из вариантов повышения эффективности и безопасности проходческих работ в зоне забоя может быть применение механизированной самопередвигающейся крепи, создающей при передвижении шагаю-

щим способом опережающую поддержку кровли выработки с неснижаемым (постоянным) распором и безопасное рабочее пространство.

1.4. Анализ исследований в области повышения эффективности механизированных средств поддержки кровли в технологиях проведения подземных выработок

Как было отмечено в п. 1.1, к актуальным задачам повышения эффективности проходческих работ можно отнести механизацию работ, в частности, связанных с поддержкой кровли в зоне забоя, и совмещение операций проходческого цикла при обеспечении их безопасности, что в совокупности направлено на увеличение темпов проходки. На показатели эффективности проведения подземных выработок оказывают влияние технические параметры и состав проходческого оборудования, горнотехнические условия проведения выработок и характер их взаимодействия, взаимосвязь применяемого оборудования в проходческом цикле.

Решению научных и технических задач по разработке и совершенствованию горнопроходческого оборудования, направленных на повышение эффективности подземной угледобычи, посвящены работы: В.В. Аксенова, В. И. Бунина, Г.М. Водяника, В.В. Габова, В.Ф. Горбунова, Ю.Д. Григоренко, Ю.А. Дмитрака, А.В. Евневича, А.Б. Ефременкова, А.Б. Жабина, Я.Б. Кальницкого, Л.И. Кантовича, В.И. Клишина, М.Г. Крапивина, Ю.Н. Линника, Ю.М. Ляшенко, Н.А. Малевича, Д.И. Малиованова, В.Г. Мерзлякова, В.Г. Михайлова, Э.Э. Нильвы, С.И. Носенко, А.С. Носенко, В.В. Першина, Г.В. Родионова, В.М. Скоморохова, В.И. Солода, Г.И. Солода, Н.И. Сысоева, А.В. Топчиева, Г.Ш. Хазановича, А.А. Хорешка, В.Н. Хорина, А.Ф. Эллера, Д.А. Юнгмейстера и др.

В рамках исследований В.И. Бунина [105, 106] была разработана передвижная механизированная предохранительная крепь (ПМПК-1) для проведения горизонтальных и наклонных выработок, применение которой позволяет значительно исключить травматизм, обеспечить безопасность работ и

дополнительно увеличить темпы проходки в 1,3-1,5 раза. Процесс постоянной крепи выводится из забоя и производится параллельно с другими работами проходческого цикла вслед за передвигающейся крепью. Однако данная передвижная крепь имеет узкую область применения. Она предназначена для работы только при проходке буровзрывным способом в составе комплекса Сибирь-1 выработок арочного крепления и не рассматривается при комбайновом способе проходки с анкерным креплением.

В исследованиях, выполненных под руководством Г.Ш. Хазановича [107, 108], принимается, что темп проходки выработки относится к одним из основных критериев оценки эффективности применительно к проходческим системам, при этом он зависит от выбора и эффективности проходческого оборудования. В работах [109-111] на основе анализа причин низкой производительности проходки сделан вывод, что одним из основных принципов повышения производительности проходческих систем является совмещение операций во времени, который в настоящее время не реализован. При создании высокоэффективного горнопроходческого оборудования для проведения выработок необходимо использовать принцип совмещения операций при максимальном уровне автоматизации.

В работе [112] так же отмечено, что проблему повышения эффективности проходческих работ целесообразно решать путем разработки агрегатированных проходческих систем, позволяющих механизировать весь комплекс проходческих операций и совмещать их во времени.

В работе [113] приведен ряд причин, влияющих на низкие показатели темпов комбайновой проходки, среди которых недостаточная механизация отдельных операций горнопроходческого цикла. На основе проведенного анализа проходческих работ комбайновым способом авторы констатируют, что «узким» местом при комбайновой проходке является крепление выработки, которое снижает машинное время работы комбайна и сдерживает скорость проходки. По мнению авторов, совмещение процессов разрушения забоя и погрузки горной массы с процессом крепления можно достичь путём

разделения их в пространстве, что позволит увеличить темпы проходки. Авторами работы [113] были минимально сформулированы основные требования к передвижной крепи, но при этом не рассмотрен вариант конструктива крепи.

В исследовании, посвященном разработке угольных пластов с трудноуправляемыми кровлями [114], предложены автономные механизированные крепи на гусеничном и шагающем ходу для поддержки кровли в призабойной зоне, позволяющие значительно сократить потери угля в предохранительных целиках при камерно-столбовой системой отработке.

В исследовании [115] показана актуальность в создании механизированных передвижных крепей, обеспечивающих постоянное поддержание угольного массива и непосредственной кровли в призабойном пространстве для технологий выемки мощных угольных пластов.

Вопрос о необходимости создания ограждающей механизированной крепи облегченной конструкции для технологий отработки наклонных и крутонаклонных мощных угольных пластов, обеспечивающей поддержку пород кровли и боков с целью ограждения призабойного пространства и размещения в нем выемочного механизма, рассмотрен в работе [116].

В работе [117] отмечено, что опережающая передвижка секций механизированной крепи за проходом ИО комбайна является наиболее безопасной и эффективной.

Коллективом авторов под руководством Д.А. Юнгмейстера в работах [118, 119] предложен спасательный комплекс, который может быть использован в качестве проходческого оборудования. Для повышения эффективности обработки призабойной зоны и безопасности ведения работ в состав комплекса включена распорно-шагающая крепь, состоящая из передней и задней части. Крепь обеспечивает перекрытие призабойного пространства над проходческим комбайном и возведение постоянной крепи позади комбайна при помощи крепеустановщика, установленного в задней части. К существенному недостатку предложенной крепи можно отнести последовательный способ

передвижения частей крепи при потере контакта с кровлей, при котором не обеспечивается постоянная поддержка кровли при передвижении крепи по всей длине, что может повлиять на безопасность работ.

По итогам обзора следует отметить, что в известных исследованиях и научных работах по проведению подземных горных выработок и средствам механизации проходки недостаточно уделено внимание параметрам механизированной передвижной крепи для обеспечения своевременной поддержки обнаженной кровли выработки в зоне забоя, в том числе позволяющим разделить в пространстве выполнение операции проходческого цикла по выемке горной массы и анкерному креплению выработки.

Поэтому перспективным и важным направлением исследований представляется разработка и обоснование параметров механизированной передвижной шагающим способом проходческой крепи, создающей своевременную опережающую поддержку кровли в призабойной зоне выработки с не снижаемым (постоянным) распором секций, способной обеспечить повышение эффективности, производительности и безопасности проходческих работ, в том числе в условиях без постоянного присутствия людей.

1.5. Выводы

Проведенный обзор и анализ средств механизации для проведения подземных выработок позволил сделать следующие выводы:

1. В современных условиях при интенсификации очистных работ в угольных шахтах при отработке угольных пластов длинными забоями и камерно-столбовой системой требуется значительный объем проведения подготовительных и вспомогательных горных выработок. Для дальнейшего наращивания объемов проведения выработок необходимо увеличение темпов проходки.

2. К существенным факторам, сдерживающим увеличение скорости проходки у современных высокопроизводительных проходческих комбай-

нов, можно отнести недостаточную механизацию трудоемких работ по устройству временной предохранительной крепи в проходческом забое и минимальное совмещения операций в проходческом цикле.

3. Исходя из представленного в работе обзора, можно выделить общую проблему механизированной проходки подземных выработок: отсутствие безопасного временного предохранительного крепления призабойной зоны выработки и механизированных средств ее реализации, способных обеспечить своевременную опережающую поддержку кровли призабойной части выработки с неснижаемым (постоянным) распором при их передвижке; не обеспеченность в совмещении операций по выемки горной массы и анкерному креплению кровли выработки; отсутствие безопасного рабочего пространства над проходческим оборудованием и людьми в забое выработки.

4. Обзор средств механизации для проведения подземных выработок показывает, что современное развитие технологий проведения подземных выработок и выемки трудноизвлекаемых запасов месторождений определяет потребность в создании мобильных механизированных средств поддержки кровли выработки с перспективным шагающим способом передвижения.

Проведённый анализ позволяет сформулировать цель и основные задачи исследования.

Целью работы является обоснование параметров многофункциональной механизированной шагающей крепи (ММШК) для разработки угольных пластов, обеспечивающих повышение эффективности и безопасности подземной добычи.

В рамках поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- обосновать и разработать ММШК для работы в технологиях скоростной проходки подземных горных выработок и выемки трудноизвлекаемых запасов, экспериментально исследовать параметры передвижки;

- исследовать взаимодействие ММШК с массивом горных пород и особенности ее работы при скоростной проходке подземных горных выработок;

– установить силовые и скоростные параметры ММШК, обеспечивающие своевременное опережающее поддержание кровли с неснижаемым (постоянным) распором при циклически-шагающем способе передвижки и необходимый темп проходки.

2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШАГАЮЩЕЙ КРЕПИ (ММШК)

2.1. Обоснование требований и схемных решений ММШК

В настоящее время при проходке подготовительных горных выработок постоянное анкерное крепление кровли выполняется после установки временной предохранительной крепи для поддержки призабойной части выработки при остановленном проходческом комбайне [99]. Процесс установки временной крепи характеризуется значительной долей ручного труда горнорабочих вблизи незакрепленного призабойного рабочего пространства, где проявляется повышенное горное давление, низкий уровень механизации, ограничивающие скорость проходки. Для повышения уровня механизации трудоемких работ по созданию временного предохранительного крепления, безопасности горнопроходческих работ и увеличения скорости проходки горных выработок необходимо разработать механизированную передвижную проходческую крепь.

В качестве решения поставленной задачи предлагается использовать технический задел, предложенный авторами [120], и научно-технический результат, полученный в лаборатории угольного машиноведения ФИЦ УУХ СО РАН по результатам разработки конструкции ММШК [121-123].

Следует отметить основные требования и схемные решения для создания крепи ММШК:

1. Обеспечить временную поддержку кровли в призабойной зоне горной выработки до возведения постоянного крепления; создать ограждение рабочего пространства в горной выработке над добычной техникой и людьми; обеспечить совместное передвижение с добычной машиной.

2. Обеспечить механизацию процесса создания временного крепления кровли с возможностью совмещения по времени операций по выемке горной

массы и креплению кровли, при одновременном их разделении в пространстве.

3. Быть транспортабельной и разборной в условиях горных выработок.

4. Управляться при помощи ручного (дистанционного) и автоматизированного управления, с возможностью автономной работы в условиях без постоянного присутствия людей в забое и дальнейшей интеграции в цифровую систему управления шахты.

Обоснование схемного решения конструкции ММШК:

1. Временное предохранительное крепление призабойного пространства выработки должно создавать постоянную поддержку кровли, для этого передвижение крепи в горной выработке должно производиться без потери контакта перекрытия крепи и кровли горной выработки [122, 123], тем самым обеспечивается защита добычного оборудования и безопасность горнорабочих.

2. Целесообразно использовать циклический шагающий тип передвижения [73-76] как наиболее подходящий для передвижения в сложных условиях подземных горных выработках [16, 17].

3. Необходимо учитывать особенности взаимодействия конструкции крепи с массивом горных пород в выработке.

4. Обеспечить многофункциональное использование крепи для решения технологических задач в различных технологических схемах отработки [55] путем построение конструкции на единой платформе, реализующей функции поддержки кровли в призабойной зоне выработки в составе проходческих и добычных комплексах.

Предлагается построение структурной схемы конструкции ММШК (Рисунок 2.1) по следующим вариантам:

Вариант 1 – разряженная схема расстановки секций крепи, при которой движение с использованием домкрата передвижки (3) начинает отстающая секция (2), а затем передовая (1). Применение для проходки выработок. Пе-

реккрытие крепи имеет увеличенную консольную часть по направлению движения крепи.

Вариант 2 – уплотненная схема расстановки секций, при которой движение начинает передовая секция (1), а затем отстающая (2). Применение для камерно-столбовой отработки. Перекрытие равномерное, без консольной части.

Вариант 3 – Применение для отработки круто-наклонных угольных пластов, расстановки секций по уплотненной схеме. Отличительным признаком является наличие в забойной части козырьков (4) для управления процессом выпуска и опорных домкратов (5) для дополнительной поддержки бортов выработки.



Вариант 1 - проходка подготовительных и вспомогательных горных выработок



Вариант 2 - камерно-столбовая отработка



Вариант 3 - отработка круто-наклонных угольных пластов

1 – передовая секция; 2 – отстающая секция; 3 – домкрат передвижки;

4 – управляемый козырек; 5 – опорный гидродомкрат

Рисунок 2.1 – Структурные схемы решений крепи ММШК
для различных технологических задач

Разработанные требования позволяют сформулировать подход к решению технологической задачи по созданию безопасного механизированного временного крепления кровли выработки в зоне забоя. Предложенные структурные схемы ММШК построены на едином платформенном решении, состоящим из передовой секции (1), отстающей секции (2) и домкрата пере-

движки (3), независимо от того, в какой технологической схеме будет применяться крепь.

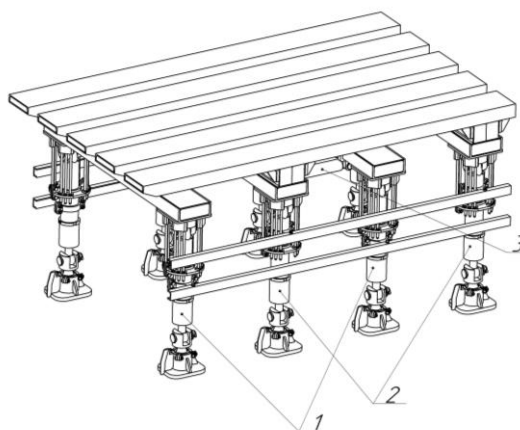
2.2. Конструкция и принцип работы ММШК

Согласно представленных в п. 2.1 структурных схем, ММШК в технологических схемах проходки подготовительных горных выработок и камерно-столбовой отработки имеет унифицированное построение конструкции [122, 123], а для отработки трудноизвлекаемых круто-наклонных угольных пластов она оснащена дополнительными конструкционными элементами.

Для дальнейшего исследований и проработки конструктива был выбран вариант ММШК для скоростной проходки подготовительных горных выработок.

Шагающая проходческая крепь

В качестве проходческой передвижной крепи для технологий проходки подготовительных горных выработок предлагается крепь ММШК [124-126]. Крепь (Рисунок 2.2) построена на единой платформе и состоит из двух секций: передовой секции (1) и отстающей секции (2), соединенных между собой гидродомкратами передвижки (3).



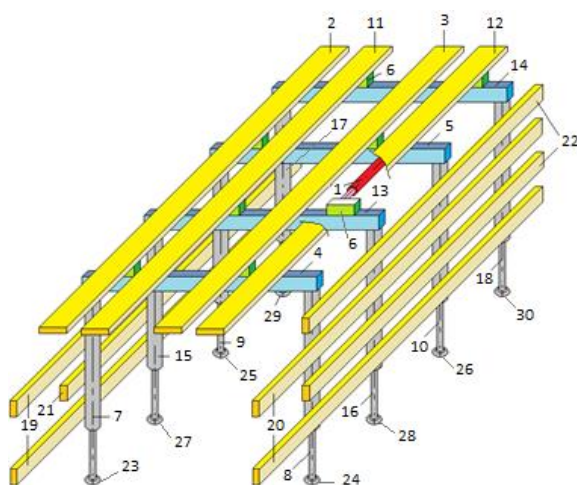
1 – передовая секция крепи; 2 – отстающая секция крепи; 3 – гидростойка

Рисунок 2.2 – ММШК для проходки подземных горных выработок

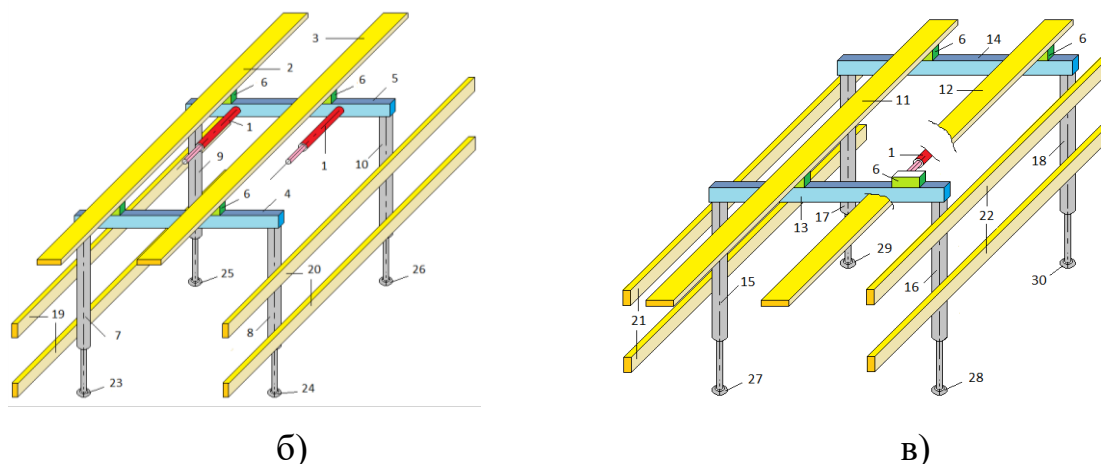
Конструкция крепи ММШК

Сущность конструкции шагающей крепи ММШК представлена на схеме (Рисунок 2.3), где показан состав крепи в сборе (Рисунок 2.3а), передовой секции (Рисунок 2.3б) и отстающей (Рисунок 2.3в), а также расположение гидродомкратов передвижки (1) [126].

Секция передовая включает опорные балки (2) и (3), которые закреплены на траверсах (4) и (5) через проставки (6). Высота каждой проставки (6) несколько больше высоты опорных балок (2) и (3). Траверса (4) по краям жестко связана с нормально ориентированными к ней распорными гидравлическими стойками (7) и (8). Траверса (5) аналогичным образом связана с распорными гидравлическими стойками (9) и (10). Секция отстающая включает опорные балки (11) и (12), которые также через проставки (6) закреплены на траверсах (13) и (14). К траверсе (13) жестко по нормали к ней присоединены распорные гидравлические стойки (15) и (16). К траверсе (14) аналогичным образом присоединены распорные гидравлические стойки (17) и (18). На гидравлических стойках (7, 8, 9, 10) секции передовой закреплены направляющие (19) и (20), которые образуют с гидравлическими стойками относительно жесткие рамы в плоскости борта выработки.



а)



а) крепь в сборе; б) передовая секция крепи; в) отстающая секция крепи
 1 – гидродомкрат передвижки; 2, 3, 11, 12 – опорные балки; 4, 5, 13, 14 – траверсы; 6 – проставка; 7, 8, 9, 10, 15, 16, 17, 18 – гидравлические стойки;
 19, 20, 21, 22 – направляющие; 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 – опоры

Рисунок 2.3 – Схема конструкции ММШК

для проходки подземных горных выработок

Аналогичным образом гидравлические стойки (15), (16), (17), (18) секции отстающей связаны направляющими (21) и (22). При этом направляющие (21) и (22) со стороны забоя выработки короче направляющих (19) и (20) не менее чем на длину хода штока домкрата передвижки (1). Секция передовая опирается через гидростойки (7), (8), (9), (10) и опоры (23), (24), (25), (26) на почву горной выработки. Аналогичным образом гидравлические стойки (15), (16), (17), (18) секции отстающей опираются опорами (27), (28), (29), (30).

Принцип работы крепи ММШК

Принцип работы ММШК и процесс передвижки секций крепи предложен авторами в работах [120, 127, 128] и заключается в следующем порядке (Рисунок 2.3):

- секции крепи ММШК находится в исходном состоянии (Рисунок 2.3а), гидростойки (7), (8), (9), (10) передовой секции (Рисунок 2.3б) и гидро-

стойки (15), (16), (17), (18) отстающей секции (Рисунок 2.3в) в распертом состоянии между почвой и кровлей выработки;

- снимается распор и производится сокращение гидростоек (15), (16), (17), (18) отстающей секции (Рисунок 2.3в), при этом опоры гидростоек (27), (28), (29), (30) отрываются от почвы горной выработки;

- передвигаемая секция крепи (в нашем случае отстающая секция) под действием своего веса ложится опорными балками (11), (12) на траверсы (5), (6) распертой передовой секции крепи (Рисунок 2.3б);

- далее отстающая секция (Рисунок 2.3в) перемещается при помощи гидродомкрата передвижения (1) на величину установленного шага передвижки;

- по окончании передвижки производится распор гидростоек (15), (16), (17), (18) между почвой и кровлей выработки;

- во время передвижки отстающей секции крепи (Рисунок 2.3в) вторая передовая секция (Рисунок 2.3б) находится в постоянном распоре и поддерживает кровлю горной выработки;

- далее в аналогичной последовательности производится передвижка передовой секции (Рисунок 2.3б);

- по окончании передвижки производится распор гидростоек (7), (8), (9), (10) передовой секции (Рисунок 2.3б) между почвой и кровлей выработки и секции ММШК переходят в исходное положение (Рисунок 2.3а).

Таким образом, перемещение секций крепи ММШК в горной выработке производится попеременно с использованием циклически-шагающего способа передвижки при поочерёдном их распоре.

Технические решения в конструкции крепи ММШК

В конструкцию перекрытия крепи ММШК, состоящей из опорных балок и траверс, заложены специальные технические решения, направленные на повышение эффективности и безопасности комбайнового проведения подготовительной горной выработки с неустойчивой кровлей, а именно:

- обеспечивающие механизированную доставку в зону опережающего временного крепления элементов крепи, и последующее возведение временной крепи [126];

- создающие при помощи опорных балок секций крепи более раннее и полное перекрытия кровли в призабойной зоне [125].

Способ механизированной доставки в зону опережающего временного крепления элементов крепи с использованием опорных балок секций ММШК показан на Рисунке 2.4.

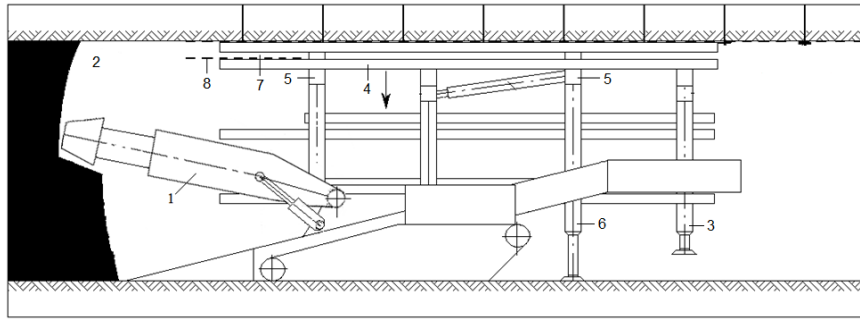
Сущность способа заключается в следующем:

- режущим органом (1) проходческого комбайна производят зарубку в массив у кровли и отбивают породу на всю ширину выработки; создают зону опережающего временного крепления (2); отстающую секцию крепи (3) освобождают от распора, ее опорные балки (4) опускаются на траверсы (5) передовой секции (6); в образовавшуюся щель (7) заводят металлическую решетчатую затяжку (8) (Рисунок 2.4а);

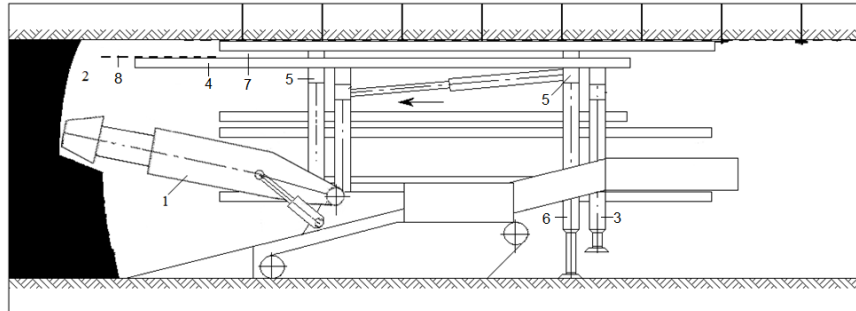
- далее отстающую секцию (3) передвигают в направлении забоя выработки, тем самым вводят решетчатую затяжку (8) в зону опережающего крепления (2) (Рисунок 2.4б);

- передвигаемую отстающую секцию (3) распирают между кровлей и почвой; включают режущий орган (1) проходческого комбайна и производят работы по отбойке и погрузке горной массы в транспортное средство, а также зачистке выработки (Рисунок 2.4б);

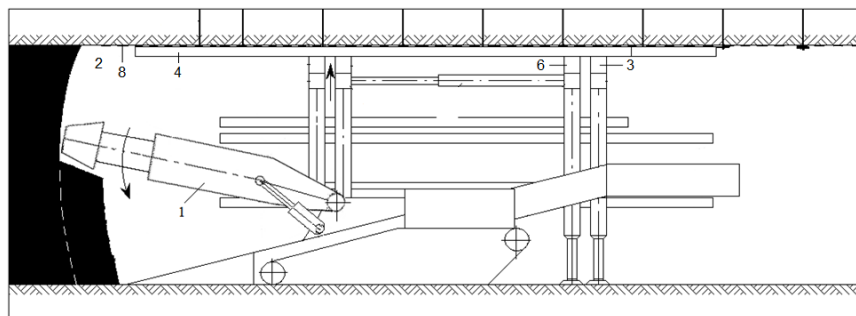
- далее процесс аналогично повторяется при передвижке передовой секции (6).



а)



б)



в)

- а) формирование зоны опережающего временного крепления;
 б) формирование щели и укладка решетчатой затяжки; в) доставка временной крепи в зону опережающего временного крепления
 и возведение временной крепи

Рисунок 2.4 – Способ проведения подготовительной горной выработки
 с использованием ММШК

Используя пространство между соседними опорными балками или сбоку от крайней балки, решетчатая затяжка может быть закреплена по центру и бокам анкерным креплением. Данная крепь будет являться временной, так

как забойный край решетчатой затяжки поддерживается только опорными балками, а противоположный требует установки дополнительных анкеров.

Конструкция перекрытия крепи по расположению опорных балок секций ММШК для бурения и установки анкерного крепления под перекрытием крепи имеет разряженное расположение опорных балок, без выполнения работ по анкерному креплению – заряженное расположение.

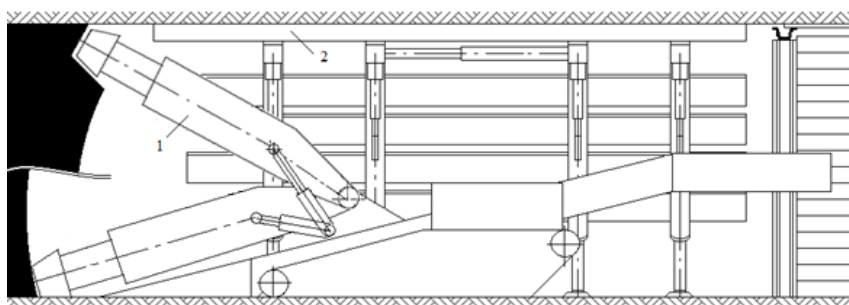
Достижимый технический результат по механизированной доставке временной крепи в зону опережающего временного крепления и ее возведении обеспечивается за счет введения в конструкцию секций ММШК дополнительного элемента проставки (6), которая располагается между опорными балками (2), (3), (11) и (12) и траверсами (4), (5), (13) и (14) секций крепи (Рисунок 2.3а).

Таким образом, опорные балки секций ММШК используются в качестве средства доставки элементов крепления кровли (решетчатой затяжки) в зону опережающего временного крепления выработки и ее подъема к кровле, в процессе передвижки секций крепи, что обеспечивает повышение безопасности ведения горнопроходческих работ.

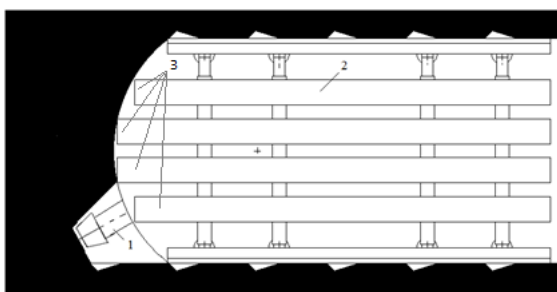
Способ создания предохранительного временного перекрытия кровли в призабойной зоне при помощи опорных балок секций ММШК в процессе проведения подготовительной горной выработке показан на Рисунке 2.5.

Суть технического решения по созданию более раннего и полного перекрытия кровли в призабойной части выработки (Рисунок 2.5) при помощи опорных балок секций крепи ММШК заключается в следующем: в исходном положении крепь ММШК (2) стоит распертой между кровлей и почвой выработки, проходческий комбайн режущим органом (1) выполняет зарубку (Рисунки 2.5а, 2.5б), опорные балки передовой и отстающей секций крепи создают зону опережающего временного крепления (Рисунок 2.5б). По окончании выемки горной массы режущий орган проходческого комбайна переводят вниз для выемки нижележащего слоя, и в это же время передвигают отстающую секцию ММШК (2) не более чем на величину удлинения проводи-

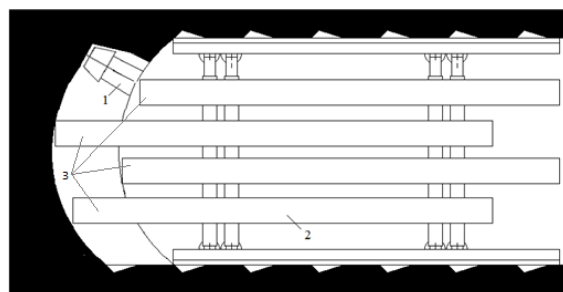
мой выработки, при этом опорные балки (3) отстающей секции своими забойными краями перекрывают кровлю выработки почти до самого ее забоя, предотвращая возможные вывалы породы из кровли в рабочее пространство выработки, тем самым создается более раннее перекрытие кровли в зоне забоя (Рисунок 2.5в). Далее, после окончания работы комбайна по оформлению выработки, погрузки отбитой горной породы в транспортное средство и зачистки почвы выработки передвигают аналогичным образом передовую секцию, и крепь переходит в исходное состояние (Рисунок 2.5б).



а)



б)



в)

а) расстановка оборудования в призабойной зоне выработки (продольный разрез); б) полное перекрытие кровли в призабойной зоне (вид в плане);

в) своевременное опережающее перекрытие кровли при передвижке секции крепи (вид в плане)

1 – режущий орган проходческого комбайна; 2 – механизированная крепь;
3 – опорные балки секций крепи

Рисунок 2.5 – Способ проведения подготовительной горной выработки с использованием ММШК

Достижимый технический результат по созданию своевременного опережающего перекрытия кровли в зоне забоя обеспечивается конструктивным решением призабойных краев опорных балок секций крепи, которые выполняются в виде закругленной площадки, кривизна которой концентрична проекции в плане траектории движения режущего органа комбайна, радиус кривизны не более радиуса кривизны траектории движения режущего органа комбайна в его крайнем верхнем положении в плане (Рисунок 2.5б).

Таким образом, за счет зарубки режущего органа комбайна у кровли выработки и создания зоны опережающего крепления появляется возможность временной поддержки части обнажения кровли выработки еще до окончания выемочных работ, выполняемых комбайном в каждом цикле, а за счет выставления опорных балок передвигаемой секции ММШК по контуру следа, оставленного резцами режущего органа комбайна на кровле выработки, и передвижки крепи не более чем на величину зарубки режущего органа комбайна в породный массив, обеспечивается более полное перекрытие обнажений кровли, что предотвращает вывалы породы даже при слабых и неустойчивых кровлях, т.е. повышает эффективность и безопасность комбайнового проведения подготовительной горной выработки [125].

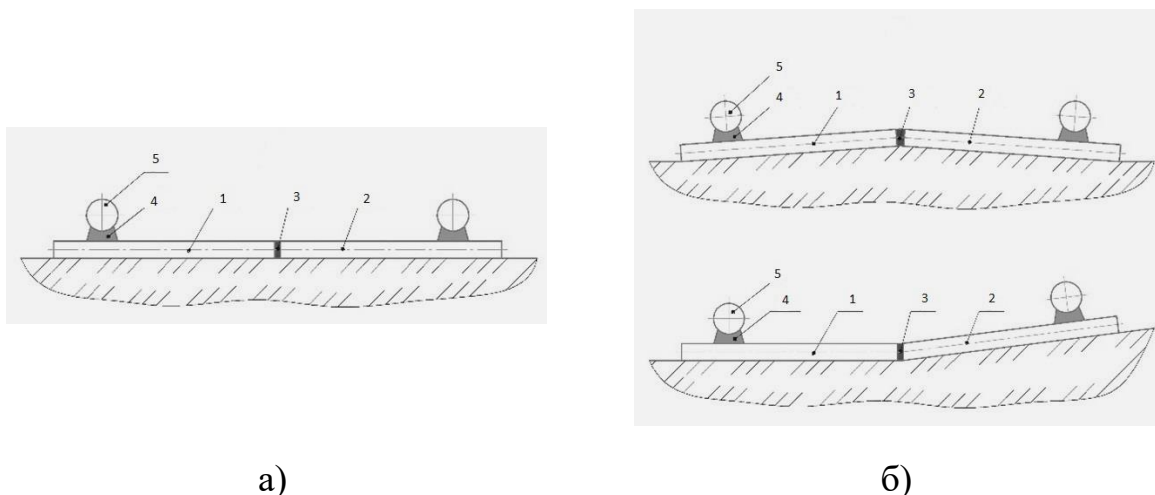
При создании шагающей крепи ММШК был разработан ряд технических решений, реализованных в конструкции элементов и узлов крепи и направленных на повышение функциональных и эксплуатационных характеристик крепи при использовании в сложных горно-геологических условиях, а именно:

- обеспечение адаптации бокового ограждения секций крепи под профиль горной выработки [127];
- обеспечение кинематической устойчивости конструкции секции крепи и защиту гидростойки от механических повреждений [128].

Суть технического решения по созданию адаптированного под профиль горной выработки бокового ограждения секции крепи ММШК (Рисунок 2.6), заключается в следующем:

- боковое ограждение выполняется в виде продольных направляющих, состоящих из последовательно установленных звеньев (1), (2), связанных между собой шарнирным соединением, звенья (1), (2) закреплены при помощи подвижной шарнирной опоры (4) на гидростойках (5) секций крепи;

- направляющие, образующие боковое ограждение секции крепи в процессе передвижки, прижимаются к бортам горной выработки при прямолинейном профиле бортов горной выработки (Рисунок 2.6а), прижатие направляющих производится равномерно к бортам горной выработки и звенья (1) и (2) не меняют свою прямолинейность. При криволинейном профиле боков горной выработки (Рисунок 2.6б) звенья (1) и (2) адаптируются под профиль горной выработки за счет подвижных соединений (3), (4).



а) прямолинейный профиль; б) криволинейный профиль

1 – звено направляющей (левое); 2 – звено направляющей (правое);

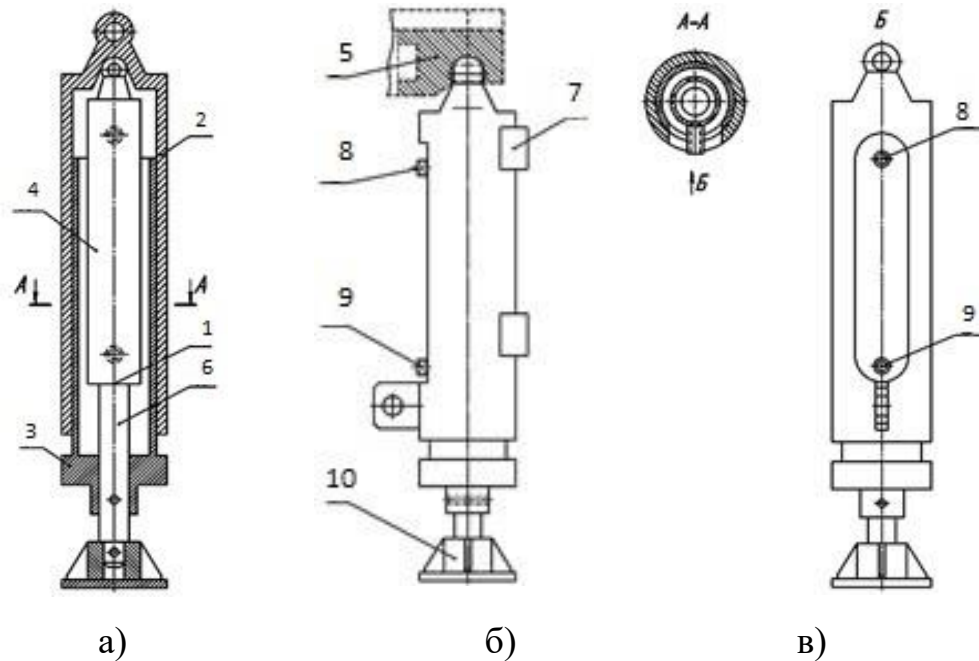
3 – шарнирное соединение; 4 – подвижная шарнирная опора; 5 – гидростойка

Рисунок 2.6 – Адаптация направляющей бокового ограждения секции крепи в зависимости от профиля борта горной выработки

Таким образом, за счет подвижности направляющих и адаптации бокового ограждения под профиль горной выработки при распоре и передвижке секций ММШК обеспечивается надежность ограждения боков выработки от образования вывалов и устойчивость секций крепи при ее передвижке.

Разработка конструкции силового элемента крепи

Техническое решение, обеспечивающее кинематическую устойчивость конструкции секции крепи ММШК (Рисунок 2.7), заключается в размещении гидростойки (4) в телескопическом кожухе, состоящем из внешней (2) и внутренней обойм (3).



а) разрез телескопического кожуха; б) соединение гидростойки в кожухе с траверсой секции; в) подключение к системе подачи

гидравлической жидкости

- 1 – гидростойка секции крепи; 2 – внешняя обойма; 3 – внутренняя обойма;
4 – цилиндр гидростойки; 5 – траверса секции крепи; 6 – шток гидростойки;
7 – направляющие; 8 – бонка поршневой полости;
9 – бонка штоковой полости; 10 – опора гидростойки

Рисунок 2.7 – Размещение гидростойки в телескопическом кожухе

Суть технического решения заключается в следующем (Рисунок 2.7):

- при поочередной соосной телескопической сдвижке и раздвижке внешней обоймы (2) и внутренней обоймы (3), гидростойка (1) и рабочая поверхность штока (6) гидростойки (1) секции крепи защищены телескопическим кожухом от внешнего воздействия и механических повреждений при

передвижении секции крепи в горной выработке; при этом бонка поршневой полости (8) и бонка штоковой полости (9) постоянно находятся в прорезе внешней обоймы (8) и внутренней обоймы (3), что позволяет штоку гидростойки 6 свободно перемещаться;

- при распоре секции крепи усилия, возникающие в шарнирном соединении гидростойки (1) и траверсы (5), а так же поперечные и боковые нагрузки на гидростойку (1), воспринимаются телескопическим кожухом, состоящим из внешней обоймы (2) и внутренней обоймы (3), что обеспечивает разгрузку штока (6) гидростойки (1) от силовых нагрузок.

Таким образом, достигается кинематическая устойчивость конструкции секции крепи ММШК при постоянном распоре в горной выработке и увеличивается ресурс работы гидростойки за счет разгрузки гидростойки секции от поперечных и боковых нагрузок, передающихся от опорных гидродомкратов, распорных гидродомкратов и бокового ограждения секции крепи, а также за счет обеспечения защиты рабочих поверхностей штока гидростойки от механических повреждений [128]. Для попеременного шагания секций ММШК используются гидроцилиндры.

Классификационные признаки ММШК

Крепь ММШК имеет следующие классификационные признаки:

- по выполняемым функциям и характеру взаимодействия с боковыми породами кровли предлагаемая крепь является поддерживающе-оградительной, так как проекция поддерживающей части перекрытия на плоскость пласта больше проекции оградительной части, поддерживающие и оградительные элементы совместно создают достаточное рабочее пространство для размещения оборудования, свободного прохода людей и обеспечения хорошей проветриваемости;

- по применению на пластах в зависимости от мощности и углов падения предлагаемая крепь может применяться как на пластах пологого залегания со средней мощностью (1,2-3,5 м), так и на круто-наклонных

(36-55°) мощных ($>3,5$ м) угольных пластах, что свидетельствует об ее универсальности применения;

- по характеру взаимодействия перекрытий секций крепи и пород кровли предлагаемая крепь создает непрерывную (постоянную) поддержку массива пород кровли, несмотря на то, что передвигаемая секция крепи теряет контакт с кровлей, но при этом вторая секция крепи находится в распоре и поддерживает кровлю выработки;

- по структурной схеме и наличию кинематических связей предлагаемая крепь относится к комплектным крепям, так как состоит из двух отдельных секций, подвижно связанных друг с другом кинематической связью в виде домкратов передвижки, и не имеет постоянных силовых и кинематических связей с другими комплектами добычного оборудования;

- по конструктивному выполнению секций предлагаемая крепь относится к кустовым с верхним расположением связей, так как секции связаны гидродомкратом передвижки, расположенным в верхней части конструкции, при этом каждая секция крепи состоит из 4 гидростоек;

- по способу управления предлагаемая крепь имеет широкие возможности по организации управления, начиная от уровня ручного (дистанционного) управления с переносного пульта и заканчивая уровнем автоматизированного управления, в том числе с центрального пульта управления шахты;

- по способу перемещения (передвижения) секций предлагаемая крепь является шагающей, движение которой осуществляется на основе движителя циклового действия, так как опоры гидростоек секций движутся по одним и тем же траекториям относительно крепи, и не решают задач адаптации к почве выработки и выбора точек постановки опор на почву. При этом, согласно предложенной в [76] классификации, крепь ММШК имеет ортогональный механизм шагания, состоящий из независимого вертикального перемещения, в виде гидростоек, и независимого горизонтального перемещения, в виде домкратов передвижки, что позволяет упростить систему управления.

Таким образом, предлагаемая ММШК в горной выработке создает своевременную опережающую поддержку пород кровли за счет попеременной циклически-шагающей двухсекционной конструкции крепи и поочередного восприятия горного давления от массива пород кровли ее секциями, что обеспечивает ограждение и защиту рабочего пространства от проникновения обрушающихся пород кровли.

2.3. Моделирование напряжённо-деформированного состояния ММШК в процессе передвижения по горной выработке

Основным элементом конструкции секций ММШК, на который непосредственно будет воздействовать нагрузка от горного давления в процессе передвижки секций, является перекрытие, состоящее из опорных балок, закрепленных на траверсах секций.

Для моделирования напряжённо-деформированного состояния ММШК была поставлена задача, заключающаяся в получении и выявлении зон эквивалентных напряжений и результирующих перемещений металлоконструкций перекрытия секций под действием испытательной нагрузки, имитирующей работу при проходке выработок. В качестве исследуемых конструктивных элементов ММШК были выбраны опорные балки и траверсы отстающей и передовой секции.

Моделирование и расчет напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций перекрытия секций ММШК было проведено с использованием расчетного модуля Simulation специализированного программного комплекса SolidWorks Premium 2016 [129-131]. Расчет проведен на ПЭВМ методом конечных элементов [132-134] с учётом контакта узлов и деталей секций ММШК.

В качестве исходных были приняты данные с рабочей конструкторской документации (КД) на ММШК и задана испытательная нагрузка, а именно:

F_C – площадь поверхности опорных балок секции ММШК в распоре, для расчета принимаем для передовой секции $F_C = 7,5 \text{ м}^2$, для отстающей $F_C = 11,25 \text{ м}^2$;

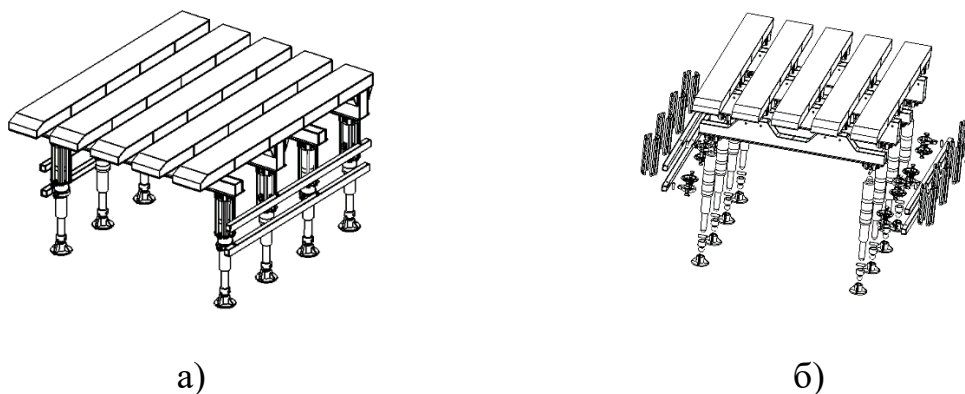
N – количество гидродомкратов передвижек, для расчета принимаем $n = 2$ шт;

- в качестве материала металлоконструкций ММШК выбрана легированная высокопрочная износостойкая сталь 14ХГ2САФД (ТУ 14-1-5241-93) аналог стали HARDOX WELDOX, с пределом текучести $\sigma_T = 7000 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$; [135].

- для учета веса расчетной модели в расчетных схемах применялась сила тяжести G .

- испытательную нагрузку горного давления со стороны кровли на ММШК для расчета принимаем $P_{кр.} = 400 \text{ кН/м}^2$.

Расчетная модель ММШК в 3D показана на Рисунке 2.8. Для моделирования контакта с почвой забоя в расчетную модель ММШК введена виртуальная плоскость, совпадающая с почвой забоя. Таким образом, для всех расчетных схем опорным поверхностям гидравлических стоек секций задан контакт с виртуальной плоскостью, т. е. запрещены перемещения вниз.



а) собранный вид; б) разнесенный вид

Рисунок 2.8 – Расчетная модель ММШК

В процессе моделирования были разработаны три расчетные схемы формирования напряженно-деформированного состояния, имитирующие работу ММШК при передвижении в выработке, произведена оценка прочности металлоконструкций опорных балок и траверс секций.

Принятые для моделирования расчетные схемы:

- первая расчетная схема: ММШК в исходном состоянии, поддержка кровли производится всеми опорными балками передовой и отстающей секции одновременно (Рисунок 2.9), все секции в распоре, 8 гидравлических стоек в рабочем положении;

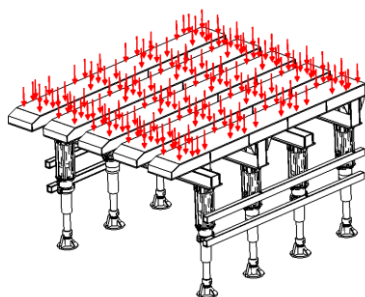
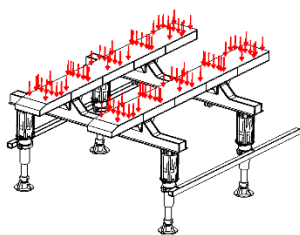
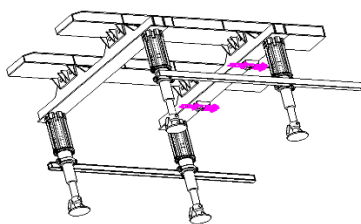


Рисунок 2.9 – Первая расчетная схема ММШК

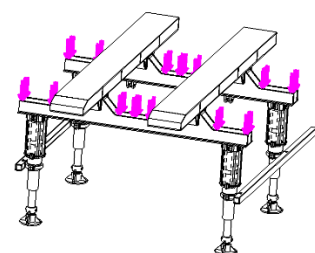
- вторая расчетная схема: ММШК в процессе передвижки отстающей секции с поддержанием кровли передовой секцией с помощью двух опорных балок, передовая секция в распоре (Рисунок 2.10), в работе 4 гидравлические стойки передовой секции;



а)



б)

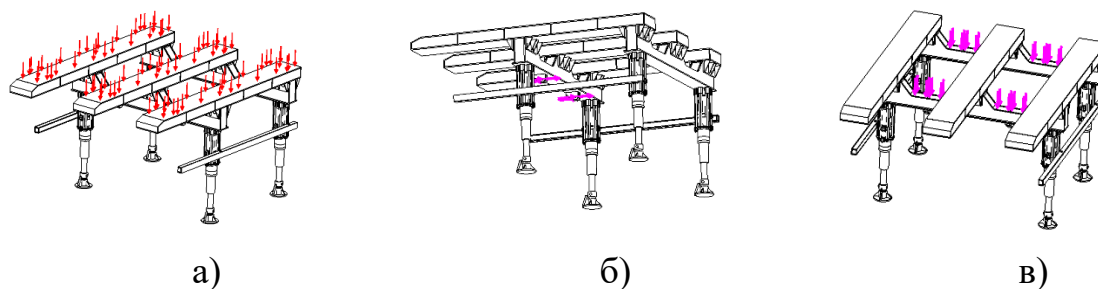


в)

- а) – нагрузка от давления кровли на опорные балки передовой секции;
 б) – нагрузка от усилия, создаваемого поршневой полостью гидродомкрата передвижки; в) – нагрузка от веса отстающей секции

Рисунок 2.10 – Вторая расчетная схема ММШК

- третья расчетная схема: ММШК в процессе передвижки передовой секции с поддержанием кровли отстающей секцией с помощью трех опорных балок, отстающая секция в распоре (Рисунок 2.11), в работе 4 гидравлические стойки отстающей секции.



- а) – нагрузка от давления кровли на опорные балки отстающей секции;
 б) – нагрузка от усилия, создаваемого штоковой полостью гидродомкрата передвижки; в) – нагрузка от веса передовой секции

Рисунок 2.11 – Третья расчетная схема ММШК

При одновременном восприятии заданной испытательной нагрузки горного давления $P_{кр.} = 400 \text{ кН/м}^2$ со стороны кровли, усилие в каждой гидравлической стойке ($P_{СТ}$) будет соответствовать 937,5 кН или 95598,4 кгс.

Давление кровли выработки на опорные балки секции ММШК в распоре ($P_{кр.}^c, \text{кН/м}^2$) определяется по следующей формуле:

$$P_{кр.}^c = \frac{4 P_{СТ}}{F_C}, \quad (2.1)$$

где F_C – площадь поверхности опорных балок секции в распоре, м^2 .

Нагрузка от усилия, создаваемого поршневой полостью гидродомкрата передвижки ($P_{порш.}, \text{кН}$), при передвижке отстающей секции определяется по формуле:

$$P_{порш.} = N P_{max} \frac{\pi D_{ПП}^2}{4}, \quad (2.2)$$

где N – количество гидродомкратов передвижки, шт; P_{max} – значение давления в гидроцилиндрах передвижки, принимаем 28 МПа; $D_{ПП}$ – диаметр поршня гидроцилиндра передвижки, согласно КД принимаем 0,14 м.

Нагрузка от усилия, создаваемого штоковой полостью гидродомкрата передвижки ($P_{шток.}, кН$), при передвижки передовой секции, определяется по следующей формуле:

$$P_{шток.} = N P_{max} \frac{\pi(D_{ПП}^2 - d_{ШТ}^2)}{4}, \quad (2.3)$$

где $d_{ШТ}$ – диаметр штока гидроцилиндра передвижки, согласно КД принимаем 0,08 м.

В процессе передвижки отстающей секции к траверсам передовой секции будет приложено равномерно распределенное усилие ($M_{отст.}, кгс$) от веса отстающей секции, а в процессе передвижки передовой секции к траверсам отстающей секции соответствующее усилие ($M_{перед.}, кгс$) от веса передовой секции. По данным, заданным КД на ММШК для моделирования, принимаем $M_{отст.} = 11650 кгс$, а $M_{перед.} = 9750 кгс$.

Расчетные нагрузки, воздействующей на секции ММШК при моделировании работы по поддержке кровли и передвижке секций, приведены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расчетные нагрузки, воздействующие на секции ММШК
в процессе передвижки

Расчётная схема	Воздействующие нагрузки					
	$P_{кр.},$ $кН/м^2$	$P_{кр.}^c,$ $кН/м^2$	$P_{порш.},$ $кН$	$P_{шток.},$ $кН$	$M_{отст.},$ $кГс$	$M_{перед.},$ $кГс$
Первая	400	-	-	-	-	-
Вторая	-	500	861,6	-	11650	-
Третья	-	333,3	-	580,3	-	9750

Для каждого расчетного случая на Рисунках 2.12–2.14 представлены результаты расчета в виде эпюр перемещений (в сантиметрах) и распределения эквивалентных напряжений (в кгс/см²) конструкции ММШК под действием испытательных нагрузок, имитирующих работу секций ММШК в проходческом забое.

На Рисунке 2.12 представлены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния ММШК для первой расчетной схемы.

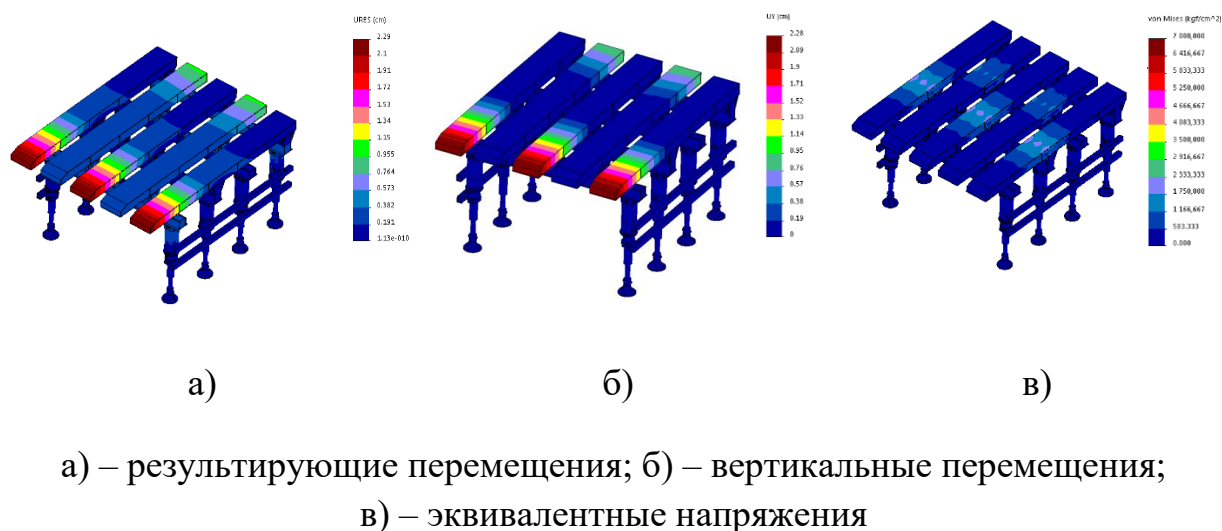
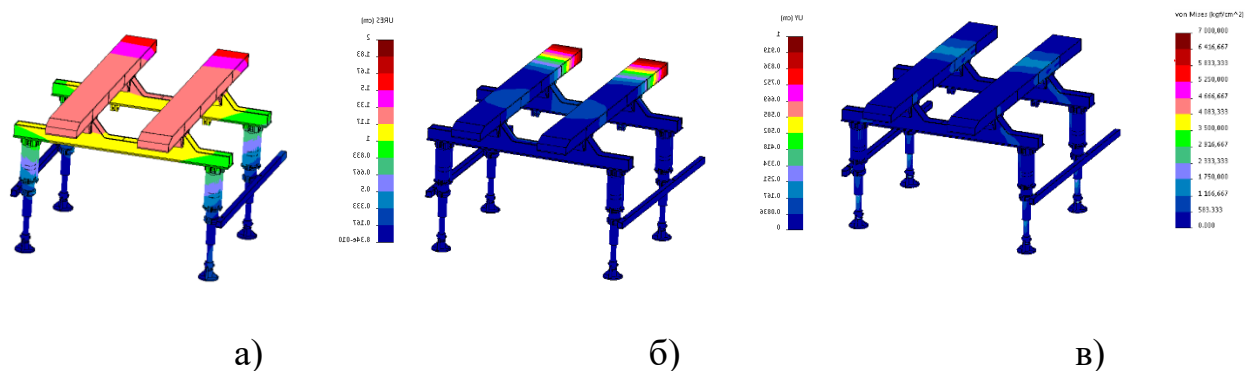


Рисунок 2.12 – Эпюры перемещений и распределения эквивалентных напряжений для первой расчетной схемы

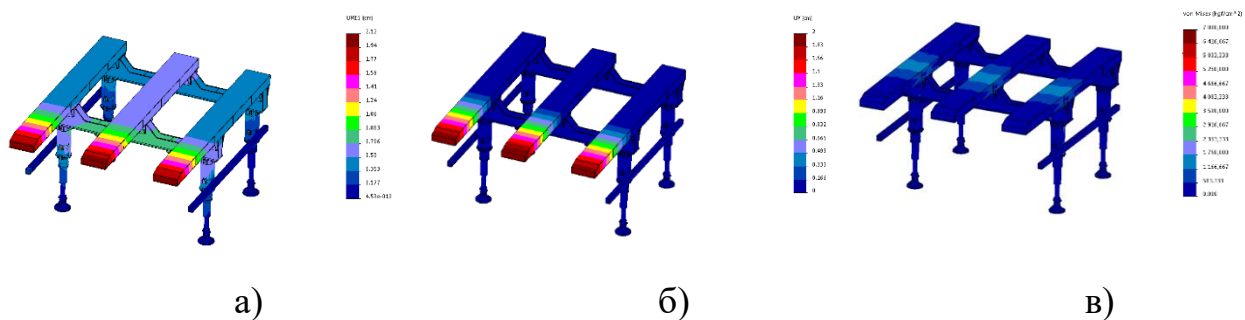
На Рисунке 2.13 представлены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния ММШК для второй расчетной схемы.



а) – результирующие перемещения; б) – вертикальные перемещения;
в) – эквивалентные напряжения

Рисунок 2.13 – Эпюры перемещений и распределения эквивалентных напряжений для второй расчетной схемы нагружения

На Рисунке 2.14 представлены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния ММШК для третьей расчетной схемы.



а) – результирующие перемещения; б) – вертикальные перемещения;
в) – эквивалентные напряжения

Рисунок 2.14 – Эпюры перемещений и распределения эквивалентных напряжений для третьей расчетной схемы нагружения

Коэффициент запаса прочности (n) определяется по следующей формуле [135]:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{ЭКВ}}, \quad (2.4)$$

где σ_T – предел текучести материала, $\frac{кгс}{см^2}$; $\sigma_{ЭКВ}$ – расчетные эквивалентные напряжения, $\frac{кгс}{см^2}$.

Полученные в процессе моделирования напряженно-деформированного состояния металлоконструкций опорных балок и траверс секций ММШК, результаты расчета результирующих перемещений и эквивалентных напряжений для всех вариантов расчетных схем нагружений и оценка состояния прочности представлены в сводной Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния

Вариант нагружения	Нагружаемый конструктивный элемент	Результирующее перемещение, см	$\sigma_{ЭКВ}, \frac{кгс}{см^2}$	n
Первая расчетная схема	Опорные балки передовой секции	1,06	2200	3,18
	Опорные балки отстающей секции	2,1	2900	2,4
	Траверсы передовой секции	0,26	1500	4,67
	Траверсы отстающей секции	0,26	1800	3,88
Вторая расчетная схема	Опорные балки передовой секции	1,52	2700	2,59
	Траверсы передовой секции	1,09	1600	4,36
Третья расчетная схема	Опорные балки отстающей секции	1,93	3700	1,89
	Траверсы отстающей секции	0,66	2600	2,69

На Рисунке 2.15 показано распределение эквивалентных напряжений в элементах перекрытия секций ММШК (опорные балки и траверсы) соответствующие первой расчетной схеме (1), второй расчетной схеме (2) и третьей расчетной схеме (3).

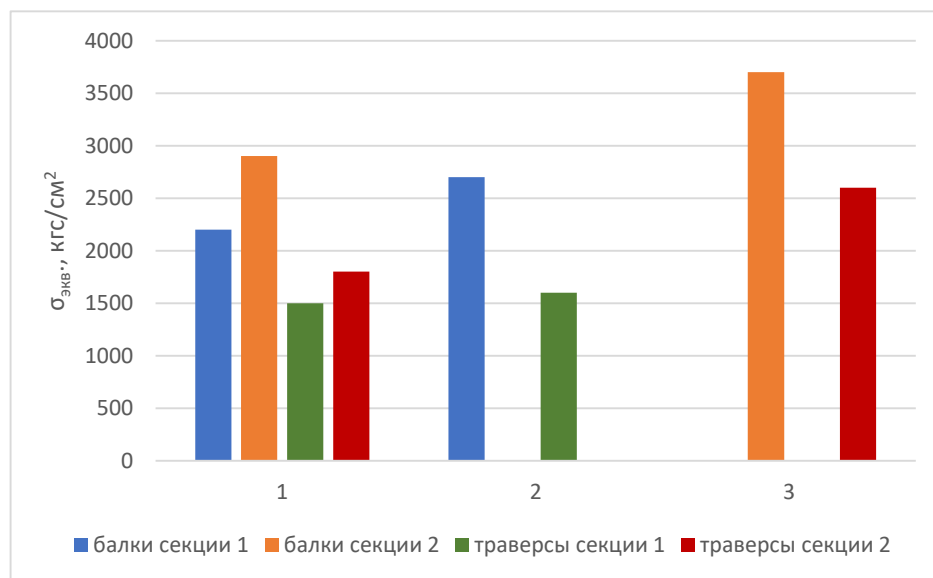


Рисунок 2.15 – Диаграмма максимальных эквивалентных напряжений в элементах перекрытия секций в зависимости от варианта нагружения ММШК

Анализ полученных результатов моделирования при воздействии на ММШК со стороны кровли испытательной нагрузки горного давления $P_{кр.} = 400 \text{ кН/м}^2$ и расчета позволяет сделать следующие выводы о конструкции опорных балок и траверс секций ММШК:

- максимальные вертикальные перемещения приходятся на консольные части опорных балок передовой и отстающей секции модуля (Рисунки 2.13б, 2.14б), при этом результирующие перемещения исследуемых элементов конструкции не превышают 2,1 см;

- максимальные расчетные эквивалентные напряжения ($\sigma_{ЭКВ}$) исследуемых элементов конструкции секций ММШК не превосходят предела текучести (σ_T) материала, то есть отсутствуют пластические деформации; после сня-

тия нагрузки исследуемые элементы конструкции отыгрывают в исходное состояние, что говорит о хорошей силовой восприимчивости их конструкции и упругом характере деформации;

- исследуемые элементы конструкции секций ММШК (опорные балки и траверсы) удовлетворяет условию прочности для выбранных вариантов нагружения, так как величина коэффициента запаса прочности $n > 1,5$ [136].

Таким образом, конструкция перекрытия секций ММШК (опорные балки и траверсы), изготовленная из стали 14ХГ2САФД, обладает необходимой устойчивостью и прочностью.

2.4. Обоснование применения ММШК в различных технологических схемах отработки

На основе проведенного в Главе 1 анализа горнопроходческой техники установлена потребность в создании эффективных и безопасных средств механизации, способных обеспечить поддержку кровли в призабойной зоне выработки для решения технологических задач в различных технологических схемах отработки угольных пластов, при этом для проходки актуален вопрос совмещения операций проходческого цикла и увеличения темпов проведения выработок. Дальнейшая разработка современных эффективных проходческих и добычных комплексов предполагает использование многофункциональных горных машин, базирующихся на единой платформе, конструкции [112].

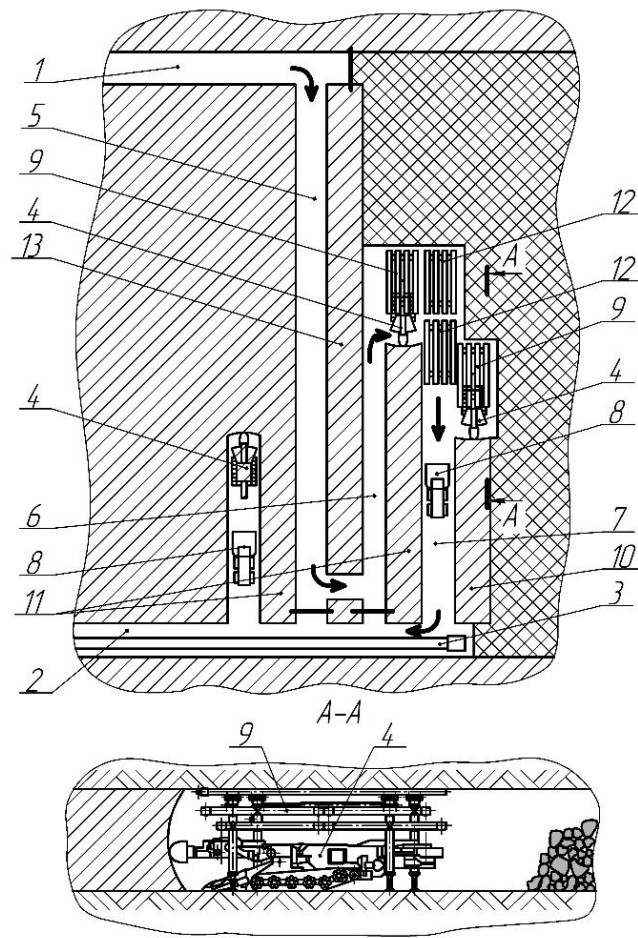
Единая платформа ММШК способна обеспечить многофункциональное геотехнологическое применение для поддержки кровли призабойного пространства в различных технологических схемах и реализацию технических решений, обеспечивающих повышение эффективности извлечения и безопасности горных работ, при этом за счет использования гидрофицированных стоек и гидродомкратов она адаптирована для дистанционного и автоматизированного управления, что способствует переходу на технологии

извлечения полезных ископаемых без постоянного присутствия людей в рабочей зоне [137, 138].

Камерно-столбовая отработка угольных пластов

Предложенный способ [139] разработки пологих и наклонных угольных пластов средней мощности технологией камерно-столбовой отработки (КСО) предполагает использовать для поддержки кровли над проходческо-очистными комбайнами фронтального действия и над вентиляционным отделением гидрофицированные безразгрузочные крепи шагающего типа, что должно обеспечить безопасность проведения горных работ. Осуществление этого технического решения может быть достигнуто путем использования шагающей крепи ММШК [122, 123].

Суть предложенной технологии КСО с использованием ММШК (Рисунок 2.16) заключается в следующем: под защитой крепи (9) проходческими комбайнами (4) фронтального действия одновременно прямыми забоями производится погашение соседних междукамерных целиков (10) и (11), при этом отставание прямого забоя междукамерного целика угля (11) (расположен со стороны неотработанного угольного массива) от прямого забоя междукамерного целика (10) (расположенного со стороны обрушенных пород) принимается не более $10 \div 12$ м, с целью образования подработанной частью камеры вентиляционного отделения между погашаемыми целиками (10) и (11); две многофункциональные механизированные шагающие крепи (12), идентичные крепям (9), осуществляют поддержку кровли образованного вентиляционного отделения, их передвижка производится одновременно с передвижкой крепей (9); по окончании погашения междукамерных целиков угля (10) и (11) проходческие комбайны (4) фронтального действия и многофункциональные механизированные шагающие крепи (9) и (12) своим ходом перебазировывают и настраивают для погашения следующих междукамерных целиков (13) и (14), но в обратном направлении.



1 – выработка вентиляционная; 2 – выработка транспортная; 3 – конвейер;
4 – проходческий комбайн; 5, 6, 7 – камера выемочная; 8 – самоходный вагон; 9, 12 – ММШК; 10, 11, 13, 14 – междуканальные целики

Рисунок 2.16 – Канально-столбовой способ отработки угольного пласта с использованием ММШК

При этом способе разработки управление горным давлением в процессе погашения междуканальных целиков целесообразно осуществлять путем принудительного обрушения кровли посредством направленного гидроразрыва [140], это позволит уменьшить величину горного давления на погашаемые междуканальные целики угля и обеспечить их устойчивость при проведении добычных работ, а также на перекрытие ММШК, что дополнительно будет способствовать повышению безопасных условий труда горнорабочих.

Использование ММШК при разработке пологих и наклонных угольных пластов средней мощности способом КСО обеспечивает механизацию процесса поддержки кровли зоны обрушения кровли от зоны работы проходческого комбайна, создавая при этом условия для безопасной и полной отработки целиков, что повышает эффективность разработки угольных пластов за счет уменьшения потерь. Применение ММШК также актуально и в технологических схемах механизированной отработки погребных алмазосодержащих россыпей для обеспечения защиты работающего проходческого комбайна при погашении целиков [141].

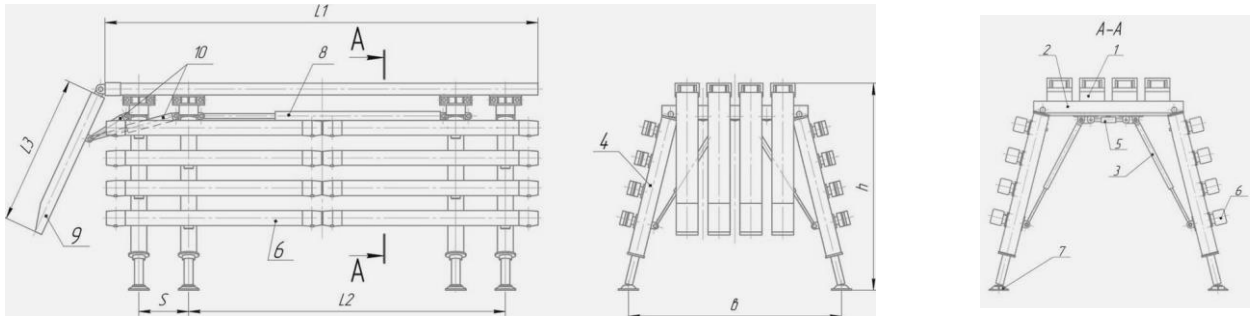
Отработка круто-наклонных угольных пластов

Реализация предложенной в [121, 142] технологии подэтажной разработки мощных крутопадающих пластов с углом залегания до 45° в технологии подэтажного штрекового обрушения (далее по тексту – ПШО) может быть также осуществлена путем использования ММШК [124, 124].

Отличительными особенностями крепи ММШК для отработки круто-наклонных угольных пластов [120, 127, 128, 143] (Рисунок 2.17) является наличие управляемого козырька для дозированного выпуска угля из потолочины. Козырек состоит из торцевых балок (9) секций крепи, шарнирно связанных с опорными балками (1) и гидродомкратами торцевых балок (10), которые в свою очередь связаны с траверсами (2). В данном исполнении конструкции крепи гидравлические стойки (4) секций имеют шарнирную связь с траверсами (3) секций и опорными гидродомкратами (5), при помощи распорного гидродомкрата (5) производится поперечная раздвижка траверс (2) и прижатие направляющих (6) к бокам выработки. Дозированный выпуск угля из потолочины производится только при распоре всех секций крепи.

Согласно технологии ПШО, крутой пласт пересекается по простиранию подэтажными штреками и конвейерными штреками, соединенными между собой печами. При этом между подэтажными штреками по простиранию проходят компенсационные штреки, которые могут использоваться для предварительного разрушения угольного массива [140]. ММШК, в данном

случае, используется для поддержания кровли на сопряжении подэтажного штрека с зоной выпуска угля.

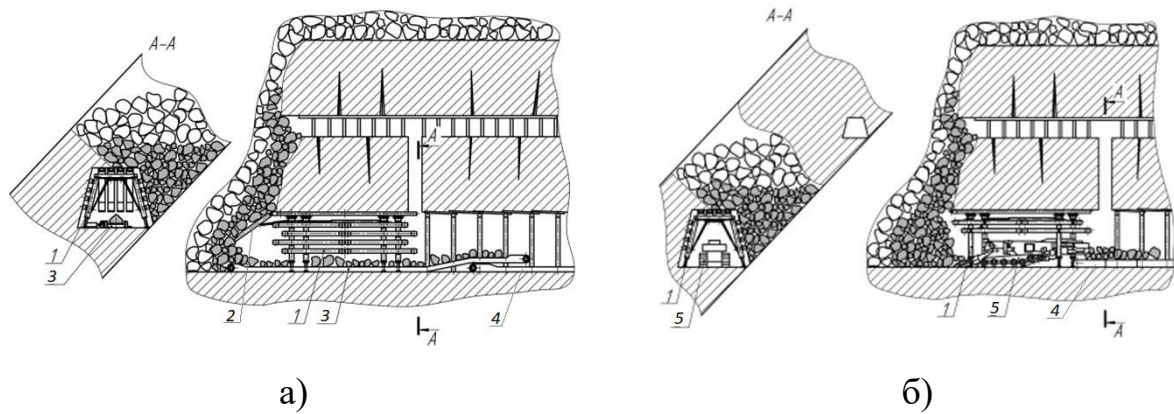


- 1 – опорная балка; 2 – траверса; 3 – опорный гидродомкрат;
 4 – гидростойка; 5 – распорный гидродомкрат; 6 – направляющая; 7 – опора;
 8 – гидродомкрат передвижки; 9 – торцевые балки;
 10 – гидродомкрат торцевых балок

Рисунок 2.17 – Общий вид ММШК для отработки круто-наклонных угольных пластов

На Рисунке 2.18 представлена подэтажная система разработки мощных крутопадающих пластов с использованием ММШК [124]. Дозированный выпуск угля из потолочины предлагается производить двумя схемами:

- схема с механизированным выпуском угля (Рисунок 2.18а) на перегружатель (3) при помощи управляемых гидроцилиндрами козырьков (2) ММШК (1) и далее транспортированием горной массы вдоль штрека конвейером (4), перегружатель находится под перекрытием ММШК (1);
- схема с выпуском угля на машину погрузочную (5) (Рисунок 2.18б) с перегрузкой горной массы на конвейер (4) для транспортировки угля вдоль штрека, при этом машина погрузочная находится под перекрытием ММШК (1).



а)

б)

а) схема с механизированным выпуском,

б) схема с выпуском на машину погрузочную

1 – ММШК; 2 – управляемый гидродомкратами козырек; 3 – перегружатель;

4 – конвейер; 5 – машина погрузочная

Рисунок 2.18 – Подэтажная система разработки мощных крутопадающих пластов с использованием ММШК

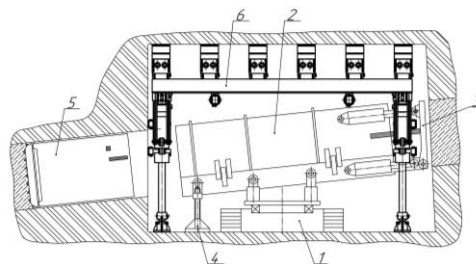
ММШК является техническим средством реализации механизации процесса выпуска угля и поддержки кровли в предложенной технологии ПШО при разработке мощных крутопадающих пластов. Управляемый выпуск угля из потолочины производится при помощи козырька, состоящего из независимых балок, которые в свою очередь регулируют поток угля по мощности, тем самым обеспечивая полноту выпуска угля за счет площадочного выпуска [121]. Повышение безопасности горных работ обеспечивается путем защиты перекрытием крепи ММШК очистного оборудования и людей в призабойной части выработки от возможных вывалов горной массы, а также посредством снижения опасности возникновения эндогенных пожаров за счет снижения эксплуатационных потерь [142]. В процессе проведения исследований применения ММШК для технологий управляемого выпуска угля была разработана программа ЭВМ по моделированию процесса управляемого выпуска угля в системах подэтажного обрушения [144].

Перспективные технологические направления применения ММШК

Одной из причин снижения эффективности применения комплекса глубокой разработки пластов (далее по тексту – КГРП) [145, 146] в затрудненных условиях является ранее прекращение добычных работ в камерах [147]. Как отмечено авторами в работе [147], одним из основных факторов раннего прекращения работ является обрушение кровли камеры, вследствие чего шнековый конвейер и режущий модуль может быть завален горной массой. Предлагается при выбурировании подкарьерных запасов угля (Рисунок 2.19а) комплексом КГРП (1) использовать крепь ММШК (4) для создания безопасной рабочей пространства в зоне забоя для защиты шнекового конвейера (2) и режущего модуля (4) от завала горной массы, что позволит значительно снизить эксплуатационные потери.



а)



б)

- а) схема выбуривания подкарьерных запасов угля КГРП,
б) схема комплекса для разработки тонких рудных пластов

Рисунок 2.19 – Варианты применения ММШК

при разработке полезных ископаемых

В разработанном ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» (г. Тула) комплексе для разработки тонких рудных пластов (Рисунок 2.19б) предлагается перемещение оборудования комплекса по горной выработке для разбуривание породы буровым снарядом (5) производить с использованием шагающей крепи ММШК (6). При этом крепь ММШК (6) будет обеспечивать крепление кровли, а крепление стенок забоя с задней площадки корпуса (2) будет осуществлять задняя распорная рама (3). Корпус (2) с винтовыми опорами (4) и самоходное шасси с поворотной платформой (1), подземный персонал будут постоянно находиться под защитой перекрытия ММШК (6), тем самым обеспечивая безопасность горных работ.

Шагающая крепь ММШК может использоваться для спасательных работ при подземных авариях, в предложенном горноспасательном комплексе для разборки завалов [148], в частности, крепь может быть применена как элемент защиты горноспасателей в зоне обрушения горной выработки. Также крепь ММШК возможно рассматривать для применения в качестве комплектной поддерживающей крепи сопряжения для работы в выработках, сохраняемых для повторного использования [149].

2.5. Компонировочная схема и принцип работы проходческого комплекса для скоростного проведения подготовительных горных выработок с использованием ММШК

В качестве технического решения, направленного на повышение эффективности и безопасности комбайнового проведения подготовительных горных выработок с неустойчивыми и слабоустойчивыми кровлями, предлагается использовать способ проведения подготовительной горной выработки и механизированная крепь для его осуществления [125, 126]. Сущность предложения заключается в интеграции ММШК [124] в состав проходческого комплекса для проходки подготовительных горных выработок. Крепь ММШК в составе проходческого комплекса обеспечивает своевременное

поддержания кровли в призабойной зоне до проведения постоянного анкерного крепления, создает безопасное рабочее пространство над проходческим оборудованием при извлечении отбитой горной массы и проведения анкерного крепления, способствует совмещению операций основного проходческого цикла. Решаемыми техническими задачами для проходческого комплекса является увеличение скорости проходки подготовительных выработок и повышение безопасности ведения проходческих работ.

Компоновочная схема проходческого комплекса

Проходческий комплекс для скоростного проведения подготовительных выработок (Рисунок 2.20) включает в себя проходческий комбайн с режущим органом избирательного действия (1), шагающую крепь ММШК (2), буровой станок с анкероустановщиком (3) и транспортное средство (4) (телескопический ленточный конвейер, перегружатель, самоходный вагон) [19, 150, 151].

В проходческом комплексе шагающая крепь ММШК 2 самостоятельно передвигается способом шагания со скоростью, сопоставимой с продвижением проходческого комбайна (1), обеспечивает постоянную поддержку перекрытием секций кровли призабойной части выработки, тем самым создает временное предохранительное крепление и образует безопасное рабочее пространство [125, 150, 151]. Проходческий комбайн (1) с режущим органом избирательного действия под защитой перекрытия шагающей крепи ММШК (2) производит разрушение горного массива. Буровой станок с анкероустановщиком (3) так же размещается под перекрытием шагающей крепи ММШК (2) в стороне пройденной выработки. Для транспортировки отбитой горной массы используется транспортное средство (4), например телескопический ленточный конвейер. Состав и принцип работы шагающей крепи ММШК подробно описан в Главе 2, п. 2.2.

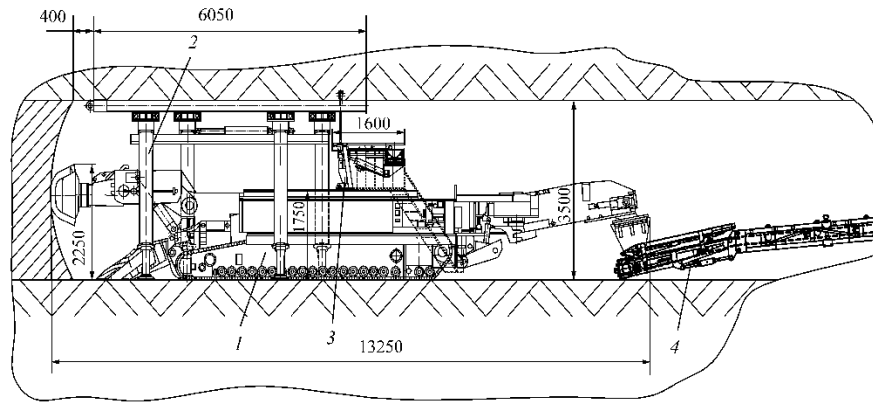


Рисунок 2.20 – Общий вид проходческого комплекса
для скоростной проходки на базе ММШК

Принцип работы проходческого комплекса

Разработка забоя подготовительной выработки проходческим комплексом на базе ММШК ведется проходческим комбайном с режущим органом избирательного действия согласно последовательности выполнения операций процесса проходческого цикла и стадий передвижки шагающей крепи ММШК. К основным операциям процесса проходческого цикла, выполняемым проходческим комплексом на базе ММШК, будут отнесены: установка и распирание проходческого комбайна в забое; вырубка горной массы и зачистка почвы; передвижение (шагание) секций ММШК; предохранительное крепление кровли горной выработки; заведение, соединение и прижим решетчатой затяжки; бурение шурпов под анкера в кровлю и бока и их установка. Капитальное крепление кровли и боков горной выработки обеспечивается путем установки анкерного крепления с затяжкой. В проходческом цикле с использованием шагающей крепи ММШК операции по заведению решетчатой затяжки предполагается производить в призабойной части горной выработки с кратковременной остановкой проходческого комбайна. В то же время операции по бурению шурпов под анкера в кровлю и бока выработки предлагается вывести из зоны забоя и производить в хвостовой части шагающей крепи, совместив с операциями по выемки горной массы проходче-

ским комбайном. Таким образом, операции выемки горной массы и бурения с анкерованием будут разделены в пространстве и совмещены по времени [150].

Исходная расстановка оборудования проходческого комплекса в забое (Рисунок 2.20): проходческий комбайн располагается под защитой перекрытия ММШК, придвинут к забою выработки; ММШК в распоре между почвой и кровлей выработки, при этом отстающая секция установлена с отставанием от передовой не менее чем на шаг передвижки, отставание передовой секции от забоя не более 400 мм, что исключает необходимость установки предохранительной крепи по требованиям [99]; буровой станок с анкероустановщиком установлен на последней от забоя траверсе секции крепи и находится в транспортном положении (ориентирован параллельно траверсе); транспортное средство готово к приему отбитой горной массы для транспортирования [150].

Реализация технических решений, обеспечивающих механизацию процесса поддержки кровли ММШК в призабойной части горной выработки при разработке угольных пластов в промышленных масштабах, с целью оценки эффективности и безопасности горных работ, подтверждает актуальность продолжения теоретических и экспериментальных исследований. В последующих частях диссертационной работы требуется проведение дальнейших работ:

- по исследованию взаимодействия ММШК с породами горного массива при проходке подготовительных выработок;
- по разработке проходческого цикла и основ процесса управления ММШК в составе проходческого комплекса;
- по изучению процесса взаимодействия ММШК с сопрягаемыми объектами при проходке подготовительных выработок и в составе проходческого комплекса при скоростной проходке.

2.6. Выводы

1. Разработаны основные требования к конструкции ММШК по созданию механизированного, безопасного и эффективного временного крепления кровли в призабойной зоне проходческой выработки до возведения постоянного крепления. Обоснована структурная схема конструкции ММШК, построенная на единой платформе, состоящей из передовой секции (1), отстающей секции (2) и домкрата передвижки (3), независимо от решаемых технологических задач.

2. Обоснована ММШК в виде двухсекционной конструкции с циклически-шагающим способом передвижения секций, которая за счет поочередного восприятия секциями горного давления от массива пород кровли создает своевременную опережающую поддержку пород кровли горной выработки с неснижаемым (постоянным) распором, что обеспечивает ограждение и защиту рабочего пространства от проникновения обрушающихся пород кровли.

3. С использованием расчетного модуля Simulation специализированного программного комплекса SolidWorks Premium 2016 методом конечных элементов при моделировании напряженно-деформированного состояния 3D модели ММШК под воздействием испытательной нагрузки горного давления, имитирующим работу секций ММШК при их передвижении в горной выработке, получены результирующие перемещения и эпюры эквивалентных напряжений конструкции опорных балок и траверс секций, произведена оценка их прочности. Установлено, что воздействию со стороны кровли испытательной нагрузки горного давления $P_{кр.} = 400 \text{ кН/м}^2$ на ММШК, состоящей из передовой и отстающей секций с площадью перекрытия 8,61 и 12,91 м² соответственно, в процессе передвижки воздействующая нагрузка перераспределяется с общего воздействия на конструкцию перекрытия ММШК на элементы конструкции перекрытия одной из секций, и далее на элементы конструкции перекрытия другой секции, при этом конструкция ММШК со-

храняется устойчивой и неизменяемой, при условии, что элементы конструкции перекрытия секций ММШК удовлетворяет условию прочности $n > 1,5$.

4. Предложено многофункциональное геотехнологическое применение единой платформы ММШК по созданию своевременной опережающей поддержки кровли в призабойной зоне выработки с неснижаемым (постоянным распором) при различных технологических схемах отработки угольных пластов и полезных ископаемых, что повысит эффективность извлечения и безопасность проходческих и добычных работ.

5. Разработано конструктивно-техническое решение проходческого комплекса, позволяющее за счет использования в составе комплекса крепи ММШК переместить операции по анкерному креплению кровли выработки из зоны забоя в хвостовую часть шагающей крепи и совместить их по времени с выемкой горной массы проходческим комбайном, что повысит скорость проходки и безопасность работ.

На основе представленных выводов сформулировано первое научное положение:

- двухсекционная конструкция крепи ММШК с попеременным шаганием секций обеспечивает необходимую скорость проходки подготовительных выработок и безопасность работ при их ведении за счет своевременной опережающей поддержки кровли и поочередного восприятия перекрытием секций горного давления с сохранением устойчивости элементов конструкции при значениях коэффициента запаса прочности крепи $n > 1,5$.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ММШК

Для обоснования параметров ММШК в составе проходческого комплекса для скоростной проходки подготовительных горных выработок и в соответствии с поставленными целями диссертационной работы были сформулированы задачи теоретических и экспериментальных исследований.

К основным задачам исследований были отнесены:

- теоретические исследования влияния нагрузок, действующих на ММШК со стороны массива пород различной крепости и устойчивости;
- исследование силовых и скоростных параметров гидравлических стоек и гидродомкратов передвижки секций крепи в зависимости от установленной действующей нагрузки на ММШК в горной выработке;
- проведении экспериментальных исследований по отработке процесса передвижки секций ММШК способом шагания;
- исследование процесса управления ММШК при проходке подготовительной выработки в составе проходческого комплекса.

3.1. Исследования действующих нагрузок на ММШК при взаимодействии с массивом горных пород в подготовительной выработке

При проведении подготовительных горных выработок в призабойном пространстве, вследствие разрушений массива горных пород в области контура обнажений, увеличивается концентрация напряжений, что может привести к вывалообразованию (обрушению, разрушению в зонах концентрации напряжений), а также смещению пород внутрь выработки без обрушений (заплывание выработки) [152]. Основной действующей нагрузкой, вызывающей деформирование системы, является горное давление, на величину которого оказывают влияние крепость вмещающих пород забоя, устойчивость

кровли и боков выработки, форма и размеры поперечного сечения выработки, глубина ведения горных работ и другие факторы.

Расчет горного давления проведен по методике Института ВНИМИ (г. Санкт-Петербург) [153] при использовании Положений [154]. Метод расчета нагрузок на крепь основан на теории свода естественного равновесия [155].

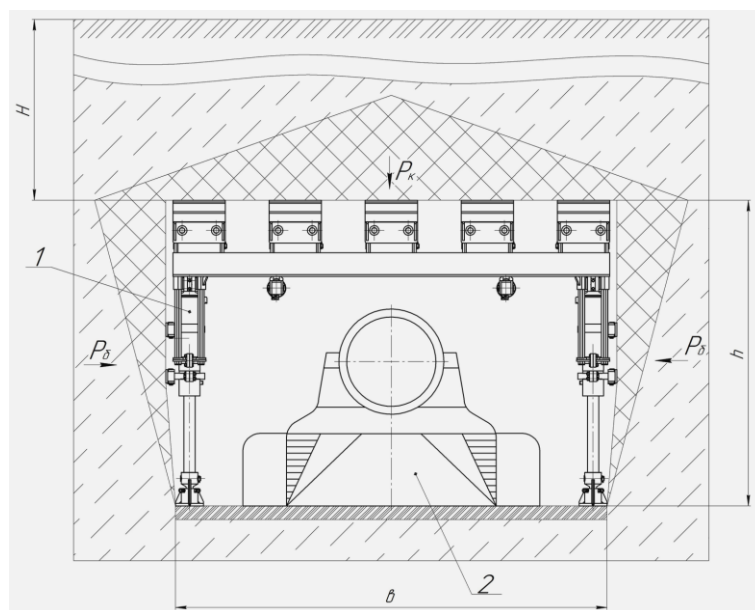
Для расчета использовались исходные данные и горно-геологические условия проведения горных выработок по пласту Лутугинский шахты «Южная» АО «СДС-Уголь» (г. Кемерово).

Исходные данные:

- форма горной выработки – прямоугольная; высота $h=3,5$ м; ширина $B=5,0$ м; площадь поперечного сечения $17,5$ м²;
- кровля: породы – алевролит с прослойками песчаника; тип кровли по устойчивости – неустойчивая; средней крепости, коэффициент крепости по М.М. Протодяконову (f)=3-4, для расчета принимаем (f)=4;
- угольный массив: уголь средней крепости, коэффициент крепости по М.М. Протодяконову (f)=1,0; мощность угольного пласта и высоту горной выработки принимаем $3,5$ м;
- почва: породы – алевролит средней крепости; коэффициент крепости по М.М. Протодяконову (f)=3-4, для расчета принимаем (f)=4;
- глубина проведения горной выработки (H) от дневной поверхности 250 м.

Для расчета принимаем: III тип кровли по обрушаемости (однородная и неоднородная кровля, кровля с интенсивной косесекущей трещиноватостью в зонах тектонических пикативных и разрывных нарушений, кровля с неустойчивыми породами, $R_c \leq 30$ МПа); I класс пород кровли по устойчивости (неустойчивая кровля; обрушение кровли после обнажения на расстоянии от забоя до 1 м; преимущественно тонкослоистые и трещиноватые глинистые сланцы, $R_c < 30$ МПа).

На Рисунке 3.1 представлена расчетная схема для определения нагрузки, действующей на ММШК в условиях проходки горных выработок.



1 – ММШК; 2 – проходческий комбайн

Рисунок 3.1 – Расчётная схема для определения нагрузки на ММШК

1. Расчетное сопротивление сжатию (R_c , МПа) слоев пород в массиве определяется с учетом нарушенности массива. Для кровли и боков R_c , следует определять отдельно как усредненное по залегающим литологическим разностям, вмещающих горную выработку пород, в кровле – на высоту, равную ширине протяженных горизонтальных, наклонных горных выработок B , где B – ширина выработки. В боках учитывается прочность пород, залегающих по высоте выработки или сопряжения.

Расчётное сопротивление сжатию:

$$\text{для кровли } R_{c.кр.} = \frac{(R_{c1}m_1 + R_{c2}m_2 + \dots + R_{cn}m_n)k_c k_{вл}}{m_1 + m_2 \dots m_n}, \quad (3.1)$$

$$\text{для боков } R_{c.б} = \frac{(R_{c1}m_1 + R_{c2}m_2 + \dots + R_{cn}m_n)k_c k_{вл}}{h}, \quad (3.2)$$

где R_{c1}, R_{c2}, R_{cn} – сопротивление сжатию различных слоев пород кровли, МПа (при определении прочности пород по коэффициенту крепости f перерасчет в МПа проводят по формуле $R = 10f$);

m_1, m_2, m_n – мощности различных слоев пород кровли, м;

k_c – коэффициент, учитывающий нарушенность массива пород поверхностями без сцепления, либо с малой связностью, принимаем $k_c = 0,6$ как в зоне влияния дизъюнктивных нарушений [150], согласно методики [154], $k_c = 0,6$ для кровли III типа по обрушаемости и $k_c = 0,9$ для кровли I и II типа по обрушаемости;

k_{gl} – коэффициент снижения сопротивления пород сжатию за счет воздействия влаги, принимаем $k_{gl} = 1$ [153, 154];

h – высота выработки, м.

Для расчета принято, что выработка распространяется в однородной породе и мощность угольного пласта равна высоте выработки. Тогда формула для определения R_c для кровли и боков будет иметь вид:

$$R_c = R \cdot k_c, \quad (3.3)$$

где R – среднее значение сопротивления пород сжатию, МПа.

Среднее значение R определяется по формуле:

$$R = 10f, \quad (3.4)$$

где f – коэффициент крепости по М.М. Протодяконову.

2. В горных выработках, проводимых в массиве и поддерживаемых в продолжение всего срока службы, вне зоны влияния очистных работ, что соответствует проходческим работам, величина расчетных смещений пород (U_M , мм) определяется по формуле:

$$\text{кровли } U_M = U_{T.\text{кр}} k_\alpha k_\text{ш} k_\text{в} k_t, \quad (3.5)$$

$$\text{боков } U_{M.6} = U_{T.6} k_\alpha k_o k_\text{ш} k_\text{в} k_t, \quad (3.6)$$

где $U_{T.\text{кр}}, U_{T.6}$ – смещения пород, определяемые по графикам [150, 151] в зависимости от глубины расположения выработки (H , м) и расчетного сопротивления сжатию R_c пород кровли, боков;

k_α – коэффициент, учитывающий расположение горных выработок. Принимаем $k_\alpha = 1$ по [154] для пластовых горизонтальных и наклонных выработок;

k_o – коэффициент, характеризующий влияние смещения пород. Для боковых смещений принимаем $k_o = 0,35$ по [154] для пластовых горизонтальных и наклонных выработок;

$k_\text{ш}$ – коэффициент, учитывающий отклонение ширины проводимой выработки.

$$\text{для кровли } k_\text{ш} = 0,2 (B - 1), \quad (3.7)$$

$$\text{для боков } k_\text{ш} = 0,2 (h - 1), \quad (3.8)$$

где B – ширина выработки в проходке, м;

h – высота выработки в проходке, м;

$k_\text{в}$ – коэффициент, учитывающий влияние других смежных горных выработок. Принимаем $k_\text{в} = 1$ как для одиночных выработок [153];

k_t – коэффициент влияния времени на смещение пород. Принимаем $k_t = 1$ как при сроке службы выработок более 15 лет [153].

3. Расчетная нагрузка (P , кПа) на 1 м выработки определяется по следующей формуле:

$$\text{со стороны кровли } P_{\text{кр}} = P_{\text{н}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot B, \quad (3.9)$$

$$\text{со стороны боков } P_{\text{б}} = P_{\text{н}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot h, \quad (3.10)$$

где $P_{\text{н}}$ – нормальная удельная нагрузка в зависимости от смещений пород и ширины выработки, кПа. $P_{\text{н}}$ определяется по расчетным смещениям пород кровли $U_{\text{М}}$ в зависимости от ширины и высоты выработки [153];

$K_{\text{н}}$ – коэффициент степени надёжности. Для подготовительных выработок принимается $K_{\text{н}} = 1$ [153];

$K_{\text{пр}}$ – коэффициент влияния способа проведения выработок. При комбайновом способе $K_{\text{пр}} = 0,6–1,0$, коэффициент принимается в зависимости от глубины расположения выработки (H) и среднего значения расчётного сопротивления сжатию [153].

Результаты проведенных расчетов воздействия нагрузки на ММШК в условиях проведения горной выработки по пласту Лутугинский шахты «Южная» АО «СДС-Уголь» (г. Кемерово) приведены в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Данные расчета нагрузки на ММШК

Направление горного давления	Расчетные параметры		
	Сопротивление сжатию слоев пород в массиве, МПа	Смещение пород, мм	Нагрузка горного давления на 1 м выработки, кПа
Со стороны кровли	$R_{\text{с.кр.}} = 24$	$U_{\text{М}} = 88$	$P_{\text{кр.}} = 165$
Со стороны боков	$R_{\text{с.б.}} = 6$	$U_{\text{Мб}} = 43,8$	$P_{\text{б.}} = 87,5$

По результатам расчета установлено (Рисунок 3.1), что в горной выработке с размерами по ширине $B = 5,0$ м и высоте $h = 3,5$ м, пройденной в массиве горных пород на глубине от дневной поверхности 250 м с коэффициентом крепости пород кровли $f=4$, возникает нагрузка горного давления на 1 м со стороны кровли на крепь в размере 165 кПа и со стороны боков 87,5 кПа, что соответствует 165 и 87,5 кН/м² соответственно (Таблица 3.1). Согласно

[154], данная выработка характеризуется II категорией интенсивности проявления горного давления (средней интенсивности), так как полученные расчетные значения смещения пород кровли горной выработки (U_M) находятся в пределах свыше 50 до 200 мм.

Согласно методике [153], расчетная нагрузка (P , кПа) на 1 м выработки определяется с учетом установленной зависимости от величины расчетных смещений пород (U_M , мм) и расчетного сопротивления сжатию (R_c , МПа) слоев пород в массиве. В свою очередь, сопротивление пород в кровле на одноосное сжатие (R_c , МПа) зависит от типа пород кровли по обрушаемости и устойчивости.

В Таблице 3.2 представлены данные и результаты определения расчетной нагрузки (P , кН/м²) в горной выработке для устойчивой, средней устойчивости, неустойчивой и весьма неустойчивой непосредственной кровли выработки. Тип кровли по устойчивости [156] зависит от литологического состава и характеристик пород и предела прочности при одноосном сжатии (МПа), который ориентировочно кратно 10 сопоставим коэффициенту крепости (f) [157].

Таблица 3.2 – Результаты определения зависимости расчётной нагрузки от типа кровли по устойчивости

Тип кровли по устойчивости	Принятые характеристики горных пород для расчета		Расчётное сопротивление сжатию ($R_{с.кр.}$), МПа		Расчетная нагрузка ($P_{кр.}$), кН/м ²	
	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	Коэфф. крепости, (f)				
			Тип кровли			
			I	III	I	III
Устойчивые	50	6	54	36	120	120
Средней устойчивости	30-50	5	45	30	120	141
Неустойчивые	20-40	4	36	24	120	165
Весьма неустойчивые	20	2	18	12	204	240

Устойчивость кровли характеризуется временем устойчивого состояния и допустимыми размерами обнажений, что показывает способность обнаженных и не поддерживаемых крепью нижних слоев пород кровли сохранять целостность и не выпадать в подкрепное пространство выработки [156].

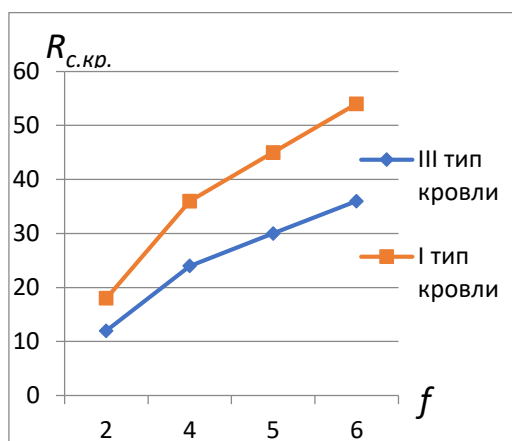
Расчет проводился:

- для I типа кровли по обрушаемости (однородная кровля из слоистых преимущественно глинистых, песчаноглинистых и песчаных сланцев (аргиллитов и алевролитов), ($R_c < 60$ МПа) [154];

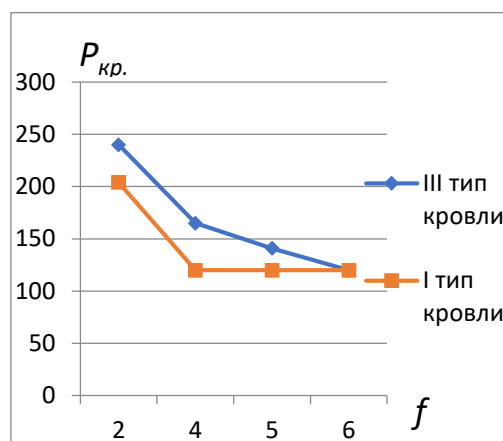
- для III типа кровли по обрушаемости (однородная и неоднородная кровля, кровля с интенсивной кососекущей трещиноватостью в зонах тектонических пикативных и разрывных нарушений, кровля с неустойчивыми породами, ($R_c \leq 30$ МПа) [154].

На графиках (Рисунок 3.2) представлена теоретическая зависимость расчетного сопротивления сжатию ($R_{с.кр.}$) (Рисунок 3.2а) и расчетной нагрузки ($P_{кр.}$) (Рисунок 3.2б) на кровлю выработки от типа кровли по устойчивости, в зависимости от соответствующего коэффициента крепости пород по классификации М. М. Протодяконова. Зависимость установлена для I и III типа кровли по обрушаемости.

Установлено, что в пройденной горной выработке с размерами по ширине $B=5,0$ м и высоте $h=3,5$ м на глубине от дневной поверхности 250 м расчетное сопротивление сжатию (R_c , МПа) слоев пород в массиве увеличивается, а нагрузка (P , кН/м²) на кровлю и ММШК уменьшается как для I, так и для III типа кровли по обрушаемости (Рисунки 3.2а, 3.2б). При этом максимальная нагрузка 240 кН/м² горного давления со стороны кровли возникает на неустойчивых кровлях с III типом кровли по обрушаемости и уменьшается по мере увеличения коэффициента крепости пород (f) по классификации М. М. Протодяконова.



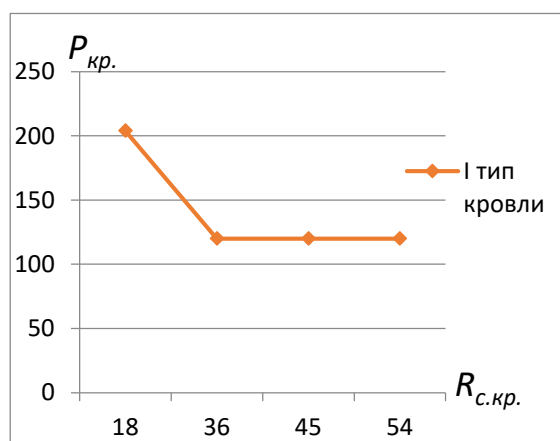
а)



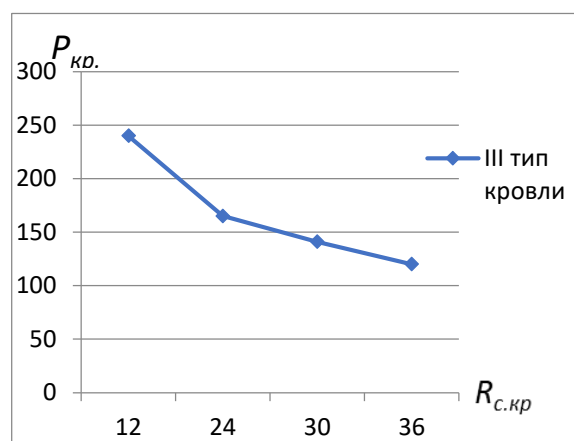
б)

Рисунок 3.2 – График теоретической зависимости сопротивления сжатию ($R_{с.кр.}$) (а) и расчетная нагрузка ($P_{кр.}$) (б) от коэффициента крепости пород по классификации М. М. Протоdjяконова

На графиках (Рисунок 3.3) представлена теоретическая взаимосвязь расчетной нагрузки ($P_{кр.}$) и расчетного сопротивления сжатию ($R_{с.кр.}$) для I типа кровли по обрушаемости (Рисунок 3.3а) и III типа кровли по обрушаемости (Рисунок 3.3б).



а)



б)

а) I тип кровли по обрушаемости;

б) II тип кровли по обрушаемости

Рисунок 3.3 – График теоретической взаимосвязи расчетной нагрузки ($P_{кр.}$) и расчетного сопротивления сжатию ($R_{с.кр.}$)

Установлено, что при увеличении расчетного сопротивления сжатию (R_c , МПа) слоев пород в массиве значения нагрузки (P , кН/м²) на кровлю и ММШК уменьшается как для I, так и для III типа кровли по обрушаемости (Рисунок 3.3).

3.2. Исследование силовых параметров ММШК

Основными силовыми элементами секций крепи являются опорные гидравлические стойки и гидродомкраты передвижки, представляющие собой гидроцилиндры. Гидравлические стойки поддерживают опорные балки перекрытия ММШК и обеспечивают управление кровлей. Гидродомкраты передвижки служат для перемещения секций ММШК по заданному рабочему циклу передвижения способом шагания.

В процессе исследования силовых параметров ММШК проведем расчет силовых, конструктивных и скоростных параметров гидроцилиндров гидравлических стоек и гидродомкратов передвижки.

Для исследования силовых параметров в качестве исходных были приняты данные с рабочей КД на ММШК и полученные выше в п. 3.1:

- максимальная нагрузка горного давления со стороны кровли $P_{кр.} = 240$ кН/м², нагрузка горного давления со стороны боков $P_{б.} = 87,5$ кН/м²;

- длина опорных балок перекрытия секций ММШК $L = 6,25$ м, ширина опорных балок перекрытия секций ММШК $B = 0,6$ м;

- количество опорных балок на передовой секции ММШК – 2 шт., на отстающей секции – 3 шт.;

- площадь боковой поверхности отстающей (передовой) секции ММШК $S_{б.} = 3$ м²;

- вес ММШК (G , кН) без учета веса штоков и поршней гидроцилиндров (8 шт.) принимаем $G_K = 205$ кН, вес ММШК без учета веса штоков и

поршней гидроцилиндров одной секции (4 шт.) принимаем $G_{к1} = 209,8$ кН, вес секции ММШК (G_c , кН) для передовой секции принимаем равным 95,6 кН, для отстающей секции – 114,2 кН;

– номинальное давление настройки предохранительного клапана $P_{ном.} = 40$ МПа.

Определение рабочих диаметров цилиндра и штока гидроцилиндра стойки секции ММШК

По методике [136] определяем сопротивление (P_c , кН) ММШК для поддержания кровли рабочими гидравлическими стойками по формуле:

$$P_c = P_{кр.} F, \quad (3.11)$$

где F – площадь перекрытия ММШК, поддерживаемая кровлю всеми секциями одновременно, m^2 .

Исходя из конструкции перекрытия ММШК, площадь перекрытия (F, m^2) определяется по формуле:

$$F = nLB, \quad (3.12)$$

где n – количество опорных балок перекрытия, поддерживающих кровлю выработки, шт.

Суммарная сила (P_s , кН), действующая на ММШК с учетом его веса ($G, кН$), определяется по формуле:

$$P_s = P_c + G \quad (3.13)$$

Учитывая, что ММШК состоит из двух секций и в процессе передвижки кровля выработки непрерывно поддерживается по рабочему циклу передвижения секций ММШК путем поочередного распора гидравлических стоек двух секций одновременного и поочередного распора гидравлических стоек

отстающей и передовой секции, сила (P_{ST} , кН), действующая на одну стойку, определяется по формуле:

$$P_{ST} = \frac{P_S}{n_{CT}}, \quad (3.14)$$

где n_{CT} – количество гидравлических стоек, находящихся в распоре при одновременном поддержании кровли, шт.

Для расчета диаметра ($D_{ПС}$, м) поршня гидроцилиндра стойки используем методику [158], с учетом принятого номинального давления ($P_{НОМ.}$, МПа) и коэффициента потерь давления в гидросистеме, согласно [158], $k = 1,1 - 1,5$, для расчета принимаем $k = 1,2$. Диаметр ($D_{ПС}$, м) поршня гидроцилиндра стойки определяем по формуле:

$$D_{ПС} = \sqrt{\frac{4P_{ST}}{\pi P_{НОМ.}}} k. \quad (3.15)$$

Полученные результаты расчета рабочего диаметра поршня гидроцилиндра стойки секции ММШК при передвижке секций с поддержанием кровли с помощью всех опорных балок перекрытия (одновременный распор 8 стоек двух секций), при передвижке отстающей секций крепи (распор передовой секции, поддержка кровли с помощью двух опорных балок) и при передвижке передовой секции (распор отстающей, поддержка кровли с помощью трех опорных балок) представлены в Таблице 3.3.

По итогам полученных расчетных значений, в зависимости от варианта распора, диаметра ($D_{ПС}$, м) поршня гидроцилиндра стойки секции ММШК (Таблица 3.3) из рекомендуемого ряда [159], с учетом запаса прочности 25%, конструктивно задаем больший внутренний диаметр цилиндра гидроцилин-

дра стойки секции $D_{ПС} = 200$ мм, диаметр штока гидроцилиндра стойки выбираем $d_{ШС} = 140$ мм, согласно рекомендации [158] и ряда [159].

Таблица 3.3 – Результаты расчета рабочего диаметра гидроцилиндра стойки секции ММШК

Вариант распора крепи	n , шт.	F , м ²	P_C , кН	P_S , кН	$n_{ст}$, шт.	P_{ST} , кН	$D_{ПС}$, м
Полный распор секций ММШК	5	18,75	4500	4705	8	588,1	0,15
Распор передовой секции	2	7,5	1800	2009,8	4	502,45	0,138
Распор отстающей секции	3	11,25	2700	2909,8	4	727,3	0,167

Согласно [136], коэффициент начального распора $K_{НР}$ – это максимальное давление рабочей жидкости (P_{max} , МПа), подводимое к поршневой полости гидростойки, отнесенное к давлению срабатывания предохранительного клапана гидростойки ($P_{ном.}$, МПа) при ее номинальном сопротивлении, рекомендуемое значение коэффициента начального распора $K_{НР} = 0,6 – 0,8$. Исходя из этого, максимальное давление рабочей жидкости (P_{max} , МПа), подводимое к поршневой полости гидростойки, можно определить по формуле:

$$P_{max} = K_{НР} P_{ном.} \quad (3.16)$$

Рассчитанная величина максимального давления рабочей жидкости составит $P_{max} = 24 – 32$ МПа, для дальнейших расчётов принимаем среднее значение $P_{max} = 28$ МПа.

Определение рабочих диаметров цилиндра и штока гидроцилиндра передвижки секции ММШК

Определяем боковую силу ($G_{\text{бок.}}$, кН), воздействующую со стороны бокового горного давления на боковую поверхность секций ММШК, по формуле:

$$G_{\text{бок.}} = P_{\text{б.}} S_{\text{б.}} \quad (3.17)$$

Усилие выдвигки / передвигки секции крепи ($F_{\text{с}}$, кН) определим по предложенной методике [160] по формуле:

$$F_{\text{с}} = G_{\text{бок.}} \mu + G_{\text{с}} \mu , \quad (3.18)$$

где μ – коэффициент сопротивления (трения) перемещению стальных поверхностей секции крепи по вмещающим породам ($\mu = 0,4 - 0,6$), для расчета принимаем $\mu = 0,6$.

Усилие для одного гидроцилиндра передвигки / выдвигки секции крепи ($F_{\text{с1}}$, кН) определяем по формуле:

$$F_{\text{с1}} = \frac{F_{\text{с}}}{n_{\text{д.п.}}} , \quad (3.19)$$

где $n_{\text{д.п.}}$ – количество гидродомкратов, участвующих в передвигки секций ММШК, данные заданы 3D моделью и КД ММШК, для расчета принимаем $n_{\text{д.п.}} = 2$ шт.

Для расчета диаметра ($D_{\text{пп}}$, м) поршня гидроцилиндра передвигки секций ММШК так же используем методику [158], с учетом принятого среднего значения $P_{\text{max}} = 28$ МПа и коэффициента потерь давления в гидросистеме $k = 1,2$ определяем по формуле:

$$D_{\text{пп}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{с1}}}{\pi P_{\text{max}}}} k . \quad (3.20)$$

Полученные результаты расчета рабочего диаметра поршня гидроцилиндра передвижки секции ММШК при выдвиге отстающей секции представлены в Таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты расчета рабочих диаметров поршня гидроцилиндра передвижки отстающей секции ММШК

Вариант работы гидроцилиндра передвижки	$G_{бок.}, \text{кН}$	$F_C, \text{кН}$	$n_{д.п.}, \text{шт.}$	$F_{C1}, \text{кН}$	$D_{ПП}, \text{м}$
Выдвижка отстающий секции	264,2	227	2	113,5	0,079

В соответствии с [159] из рекомендуемого ряда, с учетом запаса прочности 25%, конструктивно задаем больший внутренний диаметр цилиндра гидродомкрата передвижки $D_{ПП} = 100 \text{ мм}$, тогда диаметр штока гидроцилиндра передвижки выбираем $d_{шт.} = 80 \text{ мм}$ согласно рекомендуемого соотношения $\frac{d_{шт}}{D_{ПП}} = 0,3 - 0,7$ [158] и ряда [159].

Исходя из того, что отстающую секцию домкраты передвижки толкают поршневыми полостями, а передовая секция передвигается штоковыми полостями домкратов передвижки, дополнительно определим диаметр ($D_{ПП}, \text{м}$) поршня гидроцилиндра при передвижки передовой секций ММШК из следующих соотношений расчёта площади штока ($S_{шт}, \text{м}^2$):

$$S_{шт} = \frac{F_{C1}}{P_{max}}, \quad (3.21)$$

и

$$S_{шт} = \frac{\pi D_{ПП}^2}{4} - \frac{\pi d_{шт}^2}{4}, \quad (3.22)$$

где $d_{шт}$ – заданный диаметр штока гидроцилиндра передвижки из ряда [159], м.

Результаты расчета рабочего диаметра поршня гидроцилиндра передвижки секции ММШК для обеспечения тягового усилия для передвижки передовой секции представлены в Таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты расчета рабочих диаметров поршня гидроцилиндра передвижки для передвижки передовой секции ММШК

Вариант работы гидроцилиндра передвижки	$G_{бок.}, \text{кН}$	$F_C, \text{кН}$	$n_{д.п.}, \text{шт.}$	$F_{C1}, \text{кН}$	$D_{пп}, \text{м}$
Передвижка передовой секции	264,2	215,88	2	107,94	0,11

Исходя из того, что тяговое усилие при передвижке передовой секции обеспечивается площадью поршня без учета площади штока гидроцилиндра, необходимо компенсировать площадь штока увеличением площади поршня, тогда из двух вариантов расчета поршня гидроцилиндра передвижки ($D_{пп}, \text{м}$) принимаем расчетное значение для передвижки передовой секции ММШК для выбора диаметра цилиндра гидродомкрата передвижки. В соответствии с [159] из рекомендуемого ряда, с учетом запаса прочности 25%, окончательно конструктивно задаем внутренний диаметр цилиндра гидродомкрата передвижки $D_{пп} = 140 \text{ мм}$, диаметр штока гидроцилиндра передвижки $d_{шт} = 80 \text{ мм}$.

Таким образом, поддержка кровли при проходке выработки в процессе передвижки секций ММШК обеспечивается распором гидравлических стоек двух секций крепи одновременно, и поочередным распором гидравлических стоек отстающей и передовой секции согласно рабочему циклу передвижки секций.

Установлено, что необходимое усилие для поддержки перекрытием ММШК кровли и передвижки секций ММШК достигается силовыми параметрами гидравлических стоек секции и гидродомкратами передвижки сек-

ций, которые зависят от величины горного давления со стороны кровли и бочков выработки на ММШК.

Определение скорости, времени при складывании (осадке) и выдвижки (распоре) гидроцилиндра стойки и выдвижки секции ММШК

Для определения скорости, времени осадки и распора гидроцилиндров принимаем исходные данные:

- ход штока гидроцилиндра ($L_{Ш}$, мм) стойки секции ММШК при распоре или осадке принимаем $L_{ШС} = 450$ мм;
- внутренний диаметр подводящего рукава (d , мм) к гидроцилиндрам стойки секции ММШК принимаем $d = 10$ мм, исходя из величины осадки (хода) гидроцилиндра стойки;
- ход штока гидроцилиндра ($L_{Ш}$, мм) выдвижки секции ММШК при выдвижке и передвижке принимаем $L_{ШП} = 1000$ мм.
- внутренний диаметр подводящего рукава (d , мм) к гидроцилиндрам выдвижки секции ММШК принимаем $d = 12$ мм, исходя их хода гидроцилиндра выдвижки.

Требуемый расход (Q , л/мин) определяем по формуле [161]:

$$Q = \frac{V d^2 \pi 1,5}{100}, \quad (3.23)$$

где V – скорость потока рабочей жидкости, м/с. По [159] принимаем $V = 6$ м/с.

Скорость штока гидроцилиндра ($V_{ПВ}$, м/с) при выдвижке (распоре) определяется по формуле [161]:

$$V_{ПВ} = \frac{4Q}{\pi D_{П}^2}, \quad (3.24)$$

где D_{Π} – диаметра поршня гидроцилиндра, м, для гидроцилиндра стойки значение соответствует принятому $D_{\Pi C}$, для гидроцилиндра передвижки принятому $D_{\Pi П}$.

Скорость штока гидроцилиндра ($V_{\Pi C}$, м/с) при складывании (осадки) определяется по формуле [161]:

$$V_{\Pi C} = \frac{4Q}{\pi(D_{\Pi C}^2 - d_{\Pi C}^2)} . \quad (3.25)$$

Время при выдвиги (распоре) штока гидроцилиндра (T_B , с) определим по формуле:

$$T_B = \frac{L_{\Pi}}{V_{\Pi B}} . \quad (3.26)$$

Время при складывании (осадки) штока гидроцилиндра (T_C , с) определим по формуле:

$$T_C = \frac{L_{\Pi}}{V_{\Pi C}} . \quad (3.27)$$

Полученные результаты расчета скорости, времени при складывании (осадке) и выдвиги (распоре) гидроцилиндра стойки и передвижки секции ММШК представлены в Таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты расчета скорости, времени осадки и распора гидроцилиндров

Гидроцилиндр	Q , л/мин	$V_{\Pi B}$, м/с	$V_{\Pi C}$, м/с	$(T_B, \text{с})$	$(T_C, \text{с})$
Гидроцилиндр стойки	28,26	0,015	0,029	30	15,5
Гидроцилиндр передвижки	40,69	0,044	0,065	22,7	15,3

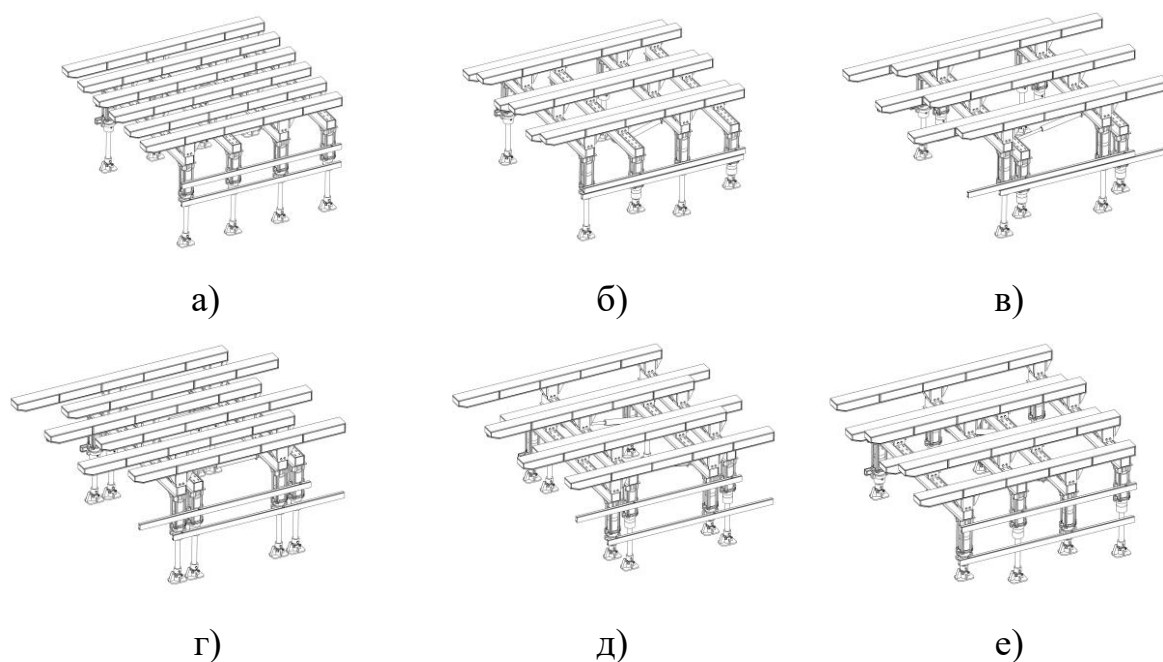
Определение времени рабочего цикла передвижки секций ММШК

Согласно предложенным структурным схемам конструкции и описанного принципа работы ММШК (Глава 2, п.п. 2.1, 2.2) был разработан рабочий циклически-шагающий тип передвижения секций крепи с учетом кинематики движения гидравлических стоек и гидродомкратов передвижки [19, 150]. Рабочий цикл передвижки шагающей крепи (Таблица 3.7) имеет два варианта реализации, отличающиеся принятой структурной схемой расстановки секций и последовательностью их передвижки. Рабочий цикл для каждого варианта начинается с исходного положения и состоит из 6 стадий.

Таблица 3.7 – Последовательность рабочего цикла передвижки секций ММШК

Структурная схема ММШК	Порядок передвижки секций	Цикл передвижки секций
Разряженная схема расстановки секций крепи	Отстающая, затем передовая	Исходное положение; 1. Складывание (осадка) гидростоек отстающей секции; 2. Выдвижка гидродомкрата передвижки, выдвижение отстающей секции; 3. Выдвижка (распор) гидростоек отстающей секции; 4. Складывание (осадка) гидростоек передовой секции; 5. Складывание гидродомкрата передвижки, подтягивание передовой секции; 6. Выдвижка (распор) гидростоек передовой секции (переход в исходное положение).
Уплотненная схема расстановки секций крепи	Передовая, затем отстающая	Исходное положение; 1. Складывание (осадка) гидростоек передовой секции; 2. Выдвижка гидродомкрата передвижки, выдвижение передовой секции; 3. Выдвижка (распор) гидростоек передовой секции; 4. Складывание (осадка) гидростоек отстающей секции; 5. Складывание гидродомкрата передвижки, подтягивание отстающей секции; 6. Выдвижка (распор) гидростоек отстающей секции (переход в исходное положение).

Схема рабочего цикла передвижки ММШК при проходке подготовительных выработок, по разряженной схеме расстановки секций, приведена на Рисунке 3.4.



а) – исходное положение; б) – складывание отстающей секции; в) выдвижка отстающей секции; г) распор отстающей секции; д) складывание передовой секции; е) подтягивание передовой секции и распор

Рисунок 3.4 – Схема рабочего цикла передвижки ММШК

Время полного рабочего цикла передвижки секций ММШК ($T_{\text{ц}}$, с) определим в соответствии с подходом, приведенным в [150] по формуле:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{овр}}^{\text{о}} + T_{\text{опр}}^{\text{п}}, \quad (3.28)$$

где $T_{\text{овр}}^{\text{о}}$ – время цикла «осадка-выдвижка-распор» отстающей секции ММШК, с; $T_{\text{опр}}^{\text{п}}$ – время цикла «осадка-передвижка-распор» передовой секции ММШК, с.

Время цикла «осадка-передвижка-распор» отстающей секции ММШК ($T_{\text{овр}}^{\text{о}}$) определяем по формуле:

$$T_{\text{овр}}^0 = T_{\text{сс}}^0 + T_{\text{вп}}^0 + T_{\text{вс}}^0, \quad (3.29),$$

где $T_{\text{сс}}^0$ – время при складывании (осадке) штока гидроцилиндра стойки отстающей секции ММШК, согласно данных Таблицы 3.6, с;

$T_{\text{вп}}^0$ – время при выдвижки гидроцилиндра передвижки отстающей секции ММШК, согласно данных Таблицы 3.6, с;

$T_{\text{вс}}^0$ – время выдвижки (распора) штока гидроцилиндра стойки отстающей секции ММШК, согласно данных Таблицы 3.6, с.

Время цикла «осадка-передвижка-распор» передовой секции ММШК ($T_{\text{опр}}^{\text{п}}$) определяем по формуле:

$$T_{\text{опр}}^{\text{п}} = T_{\text{сс}}^{\text{п}} + T_{\text{сп}}^{\text{п}} + T_{\text{вс}}^{\text{п}}, \quad (3.30),$$

где $T_{\text{сс}}^{\text{п}}$ – время при складывании (осадки) штока гидроцилиндра стойки передовой секции ММШК, согласно данных Таблицы 3.6, с;

$T_{\text{сп}}^{\text{п}}$ – время при складывании гидроцилиндра передвижки (подтягивания) передовой секции ММШК, согласно данных Таблицы 3.6, с;

$T_{\text{вс}}^{\text{п}}$ – время выдвижки (распора) штока гидроцилиндра стойки передовой секции ММШК, согласно данных Таблицы 3.6, с.

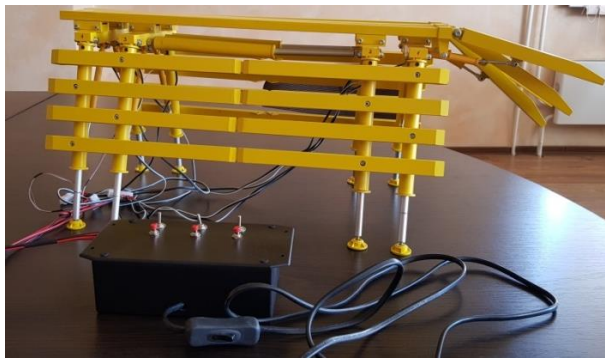
Таким образом, расчетное время цикла «осадка-передвижка-распор» отстающей секции ММШК ($T_{\text{овр}}^0$) составит 68,2 с, а цикла «осадка-передвижка-распор» передовой секции ММШК ($T_{\text{опр}}^{\text{п}}$) составит 60,8 с. Расчетное время полного рабочего цикла передвижки секций ММШК ($T_{\text{ц}}$), при заданных исходных параметрах расчета, составит 129 с или 2,15 мин, что соответствует скорости передвижения 0,93 м/мин.

Разработанный рабочий цикл передвижки секций ММШК способствует интеграции крепи в состав проходческого комплекса для скоростной проходки, позволяет разработать алгоритм автоматизированной работы ММШК в составе проходческого комплекса [150].

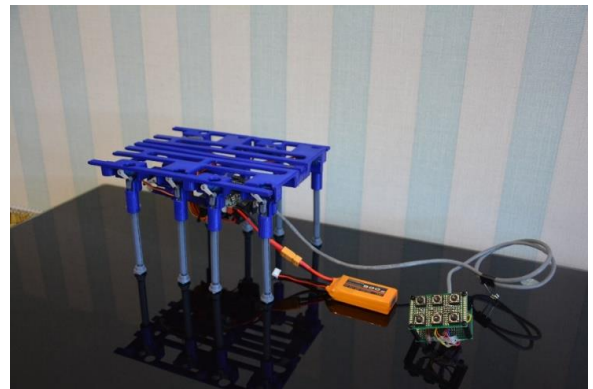
3.3. Исследования процесса передвижки секций ММШК

По результатам разработки конструктивных технических решений и обоснования принципа работы и параметров ММШК, проведенных в Главе 2, для проведения экспериментальных исследований процесса передвижки секций шагающей крепи были разработаны и изготовлены модели ММШК с ручным управлением для отработки крутонаклонных угольных пластов в масштабе 1:10 (Рисунок 3.5а) и модель, воспроизводящая процесс передвижки секций в автоматическом режиме в масштабе 1:25 (Рисунок 3.5б).

Назначение макетов: моделирование процесса передвижения секций ММШК.



а)



б)

а) модель с ручным управлением;

б) модель, воспроизводящая процесс передвижки секций
в автоматическом режиме

Рисунок 3.5 – Модели ММШК

Цель экспериментальных исследований: отработка процесса передвижки секций ММШК способом шагания по разработанному циклу передвижки.

Модель с ручным управлением (Рисунок 3.6) состоит из двух секций, каждая из которой оснащена четырьмя стойками с установленными линейными актуаторами, предназначенные для подъема и опускания секций с

опорными балками. Между собой секции связаны двумя линейными актуаторами, предназначенные для передвижки секций. Торцевые балки имитируют управляемый козырек для выпуска угля и могут опускаться и подниматься в пределах хода в 30° . Линейные актуаторы работают на постоянном токе 12 В, питающие провода подключены к пульта управления. Подача управляющих команд на актуаторы стоек секций осуществляется с пульта управления посредством перевода реверсивного переключателя соответствующей секции (секция 1 и секция 2) в положение «Верх» или «Вниз» и нажатия кнопки «Пуск». Актуаторы передвижки управляются так же при помощи кнопки и соответствующего реверсивного переключателя.

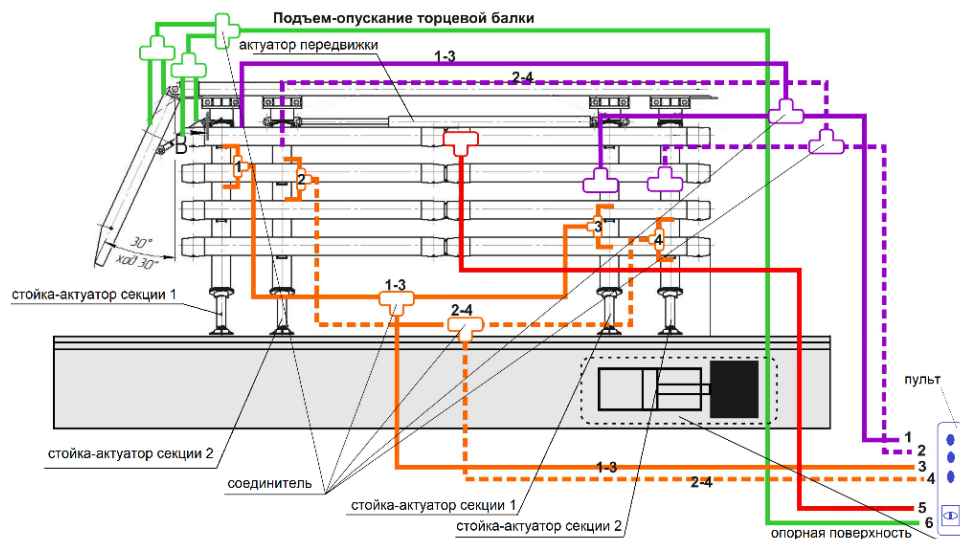


Рисунок 3.6 – Структурная схема модели с ручным управлением

В модели ММШК, воспроизводящей процесс передвижки секций в автоматическом режиме (Рисунок 3.5б), гидравлические опорные стойки в секциях и гидродомкраты передвижки выполнены на основе электрических сервоприводов. Выносной пульт управления (далее по тексту – ПУ), построенный на базе микроконтроллера ATmega2560, имеет четыре выделенные цифровые линии связи с оборудованием, расположенным на модели, так же име-

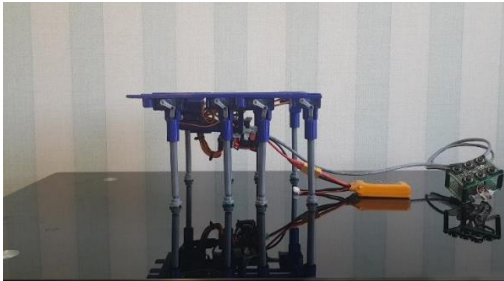
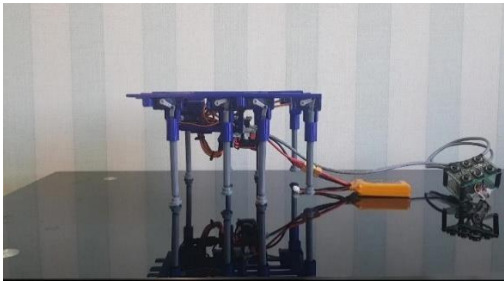
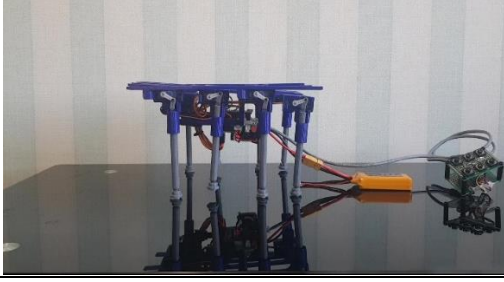
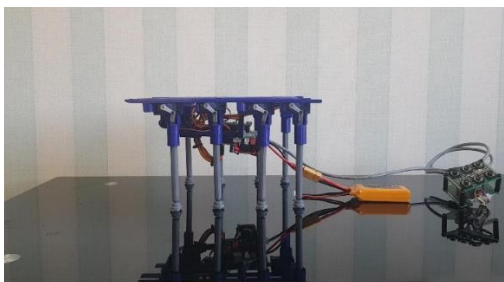
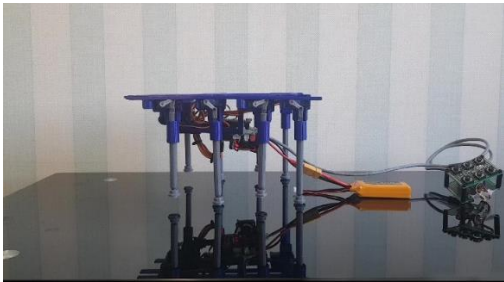
ется порт micro USB для программирования микроконтроллера и клавиши управления. Соединение ПУ с моделью ММШК осуществляется по кабелю, максимальная длина кабеля с сохранением устойчивого сигнала, проверенная в ходе эксперимента, может составлять до 6 м, питание от блока питания на 24 В.

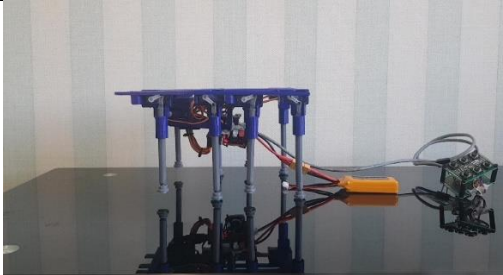
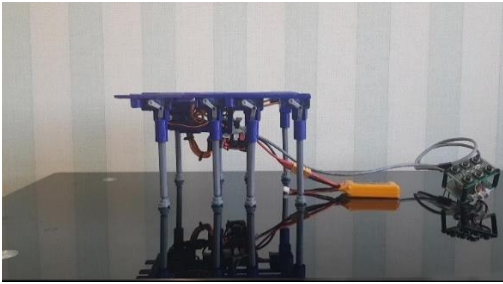
В ходе экспериментальных исследований был смоделирован процесс передвижки секций способом шагания по разработанному циклу с использованием моделей крепи с ручным и автоматическим управлением.

Результаты моделирования передвижки секций ММШК в автоматическом режиме представлены в Таблице 3.8.

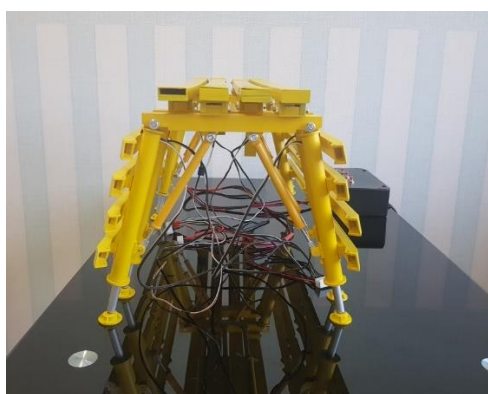
В начале эксперимента модель ММШК находится в исходном положении – опорные стойки секций опираются на опорную поверхность, перекрытие отстающей и передовой секции находятся в одной плоскости, отстающая секция установлена с отставанием от передовой не менее чем на шаг передвижки. Процесс передвижки секций модели в автоматическом режиме производится путем запуска трех стадий передвижки согласно разработанного и представленного ранее цикла. Каждая стадия запускается путем ручного старта посредством нажатия соответствующей управляющей клавиши на ПУ. Для выравнивания передвигаемой секции предусмотрен встроенный в микроконтроллер алгоритм выравнивания, основанный на получении данных о положении секции с гироскопа и сравнении с исходным нулевым положением в следующей последовательности: за счет изменения положения передних и задних опорных стоек производится выравнивание секции модели в продольной плоскости, после достижения нулевого отклонения от исходного состояния запускается выравнивание секции в перпендикулярной плоскости так же до достижения нулевого положения.

Таблица 3.8 – Проверка процесса передвижки секций на модели ММШК
в автоматическом режиме

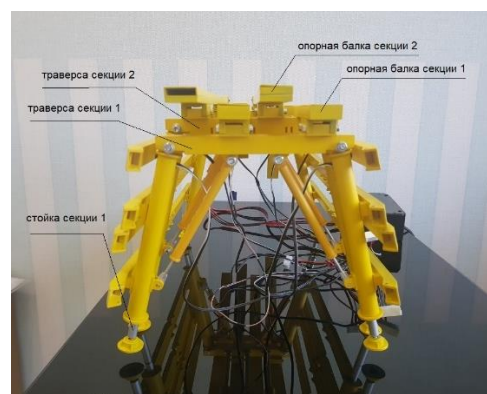
Стадии передвижки	Положение секций модели	Описание действий
Исходное положение		Нажатием клавиши управления (1) на ПУ запускается выполнение кода, обеспечивающий перевод модели в исходное положение по заданным положениям опорных стоек и привода передвижки (исходное нулевое состояние). Модель переходит в режим ожидания нажатия клавиши управления.
Передвижка отстающей секции		Нажатием клавиши управления (2) на ПУ запускается стадия передвижки отстающей секции. Производится втягивание опорных стоек отстающей секции до момента полного опускания перекрытия отстающей секции на траверсы передовой секции.
		Производится выдвижение отстающей секции приводом передвижки на заданный шаг передвижки секции.
		Производится выдвижение опорных стоек отстающей секции на рабочую длину, соответствующую исходному нулевому состоянию, с последующим автоматическим выравниванием секции в продольной и поперечной плоскости. Модель переходит в режим ожидания нажатия клавиши управления.
Передвижка передовой секции		Нажатием клавиши управления (3) на ПУ запускается стадия передвижки передовой секции. Производится втягивание опорных стоек передовой секции до момента полного опускания перекрытия передовой секции на траверсы отстающей секции.

		Производится подтягивание передовой секции приводом передвижки на заданный шаг передвижки секции.
		Производится выдвижение опорных стоек передовой секции на рабочую длину, соответствующую исходному нулевому состоянию, с последующим автоматическим выравниванием секции в продольной и поперечной плоскости. Модель переходит в режим ожидания нажатия клавиши управления.

Поперечный вид положений секций в ходе экспериментальных исследований процесса передвижки модели ММШК с ручным управлением показан в исходном состоянии (Рисунок 3.7а), и в процессе передвижки (Рисунок 3.7б).



а)



б)

а) – исходное положение; б) – в процессе передвижки

Рисунок 3.7 – Поперечный вид модели ММШК с ручным управление

Таким образом, при проведении экспериментальных исследований по отработке процесса передвижки секций ММШК способом шагания было

воспроизведено автоматизированное/дистанционное управление рабочим циклом ММШК, согласно предложенного алгоритма и цикла работы, для шагающей крепи [55].

Результаты моделирования рабочего процесса цикла передвижки крепи ММШК позволяют разработать алгоритм ее автоматизированной работы в составе проходческого комплекса. Экспериментальные исследования процесса передвижки ММШК позволили разработать программу управления роботизированной шагающей крепью [162].

На основе полученных результатов был разработан и изготовлен экспериментальный макет ММШК для скоростной проходки в масштабе 1:4 (Рисунок 3.8) для проведения дальнейших исследований.



Рисунок 3.8 – Экспериментальный макет ММШК

В рамках экспериментальной части работы была проведена верификация методики расчета времени рабочего цикла передвижки секций ММШК. Экспериментальная проверка проведена на экспериментальном макете ММШК (Рисунок 3.8) с учетом масштаба. Экспериментальные работы были выполнены в два этапа.

На первом этапе по методике, аналогично п. 3.2, были рассчитаны скорости, время при складывании (осадке) и выдвигки (распора) гидроцилиндра

стойки, и передвижки секций масштабного экспериментального макета ММШК.

В качестве исходных были приняты данные согласно рабочей документации на масштабный макет:

- гидроцилиндр передвижки ЦГ-50.30×250.22; шаг передвижки (ход штока гидроцилиндра ($L_{ш}$, мм) передвижки секции макета ММШК при выдвижки и передвижке) – $L_{шп} = 250$ мм;

- гидроцилиндр стойки ЦГ-80.40×320.22; ход штока гидроцилиндра ($L_{ш}$, мм) стойки секции макета ММШК при распоре или осадке - $L_{шс} = 100$ мм;

- внутренний диаметр подводящего рукава (d , мм) к гидроцилиндрам стойки секции и передвижки макета ММШК – $d = 10$ мм.

Полученные результаты расчета представлены в Таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты расчета скорости, времени осадки и распора гидроцилиндров масштабного экспериментального макета ММШК

Гидроцилиндр	Скорость штока при выдвижке (распоре), ($V_{пв}$, м/с)	Скорость штока при складывании (осадки), ($V_{пс}$, м/с)	Время при выдвижке (распоре), ($T_{в}$, с)	Время при складывании (осадки), ($T_{с}$, с)
Гидроцилиндр стойки	0,094	0,125	1,1	0,8
Гидроцилиндр передвижки	0,24	0,375	1,0	0,7

Далее было рассчитано время рабочего цикла передвижки секций масштабного экспериментального макета ММШК, согласно описанной в п. 3.2 последовательности рабочего цикла передвижки секций для разряженной схемы расстановки секций ММШК. Получены следующие результаты расчетного времени: передвижка отстающей секции масштабного макета «осад-

ка-передвижка-распор» – 2,9 с; передвижка передовой секции масштабного макета «осадка-передвижка-распор» – 2,6 с; полный рабочий цикл передвижки секций масштабного макета – 5,5 с. Расчетная скорость передвижки масштабного макета составила 5,4 м/мин.

На втором этапе проведено экспериментальное определение времени рабочего цикла передвижки секций масштабного макета ММШК с использованием интерфейсного пульта программы управления [163] путем последовательного нажатия на клавиши управления, согласно рабочему циклу передвижки секций ММШК. Акт экспериментальных исследований приведен в Приложении А.

Экспериментально полученные результаты времени рабочего цикла передвижки секций масштабного макета представлены в сводной Таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты сравнения расчетных и экспериментальных значений времени передвижки секций масштабного макета ММШК

Параметры рабочего цикла, с	Значения		Отклонение
	Расчетные	Экспериментальные	
Время передвижки отстающей секции, «осадка-передвижка-распор»	2,9	3,3	0,4
Время передвижки передовой секции, «осадка-передвижка-распор»	2,6	3	0,4
Время полного рабочего цикла передвижки секций макета	5,5	6,3	0,8

Скорость передвижки масштабного макета в результате экспериментального определения времени передвижки секций составила 4,5 м/мин.

Таким образом, была проведена экспериментальная верификация методики расчета времени рабочего цикла передвижки секций ММШК с использованием масштабного экспериментального макета. Подтверждено, что среднее отклонение между расчетными и экспериментальными значениями времени передвижки составили 14,6%. Результаты показывают достаточность применения методики расчета времени рабочего цикла передвижки секций ММШК для оценки и инженерного применения при расчете вариантов циклов передвижки ММШК для различных технологических условий применения.

3.4. Разработка конфигурации автоматизированной системы управления ММШК

В процессе разработки конфигурации (архитектуры) автоматизированной системы управления ММШК объектом исследования являлся процесс управления, как отдельной единицей ММШК, так и в составе проходческого комплекса. Была проведена формализация объектов управления, элементов системы управления, источников данных и принципов их обмена между элементами.

Согласно описанного выше в п. 3.2 последовательности рабочего цикла передвижки секций ММШК, построенной по разряженной схеме, была разработана схема цикла работы (Рисунок 3.9). Схема показывает последовательность выполнения основных процессов работы крепи на стадиях цикла передвижки и состав датчиков для контроля состояния элементов крепи, задействованных в системе управления крепи.

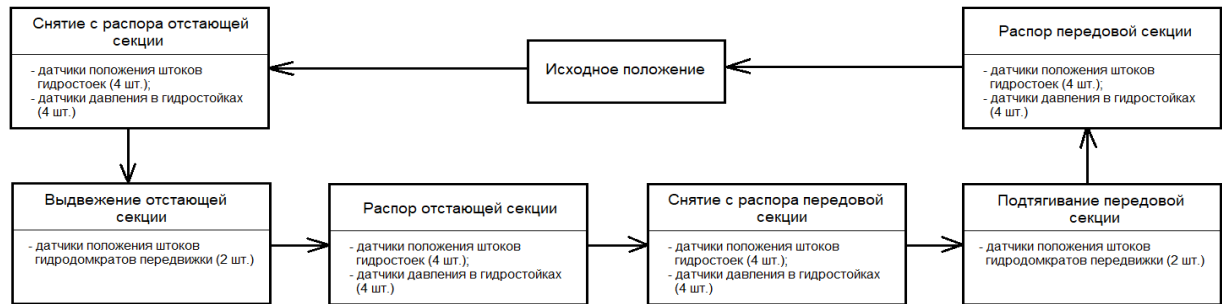


Рисунок 3.9 – Схема цикла работы ММШК

Схема алгоритма работы ММШК в составе проходческого комплекса

Схема алгоритма работы ММШК (Рисунок 3.10) отражает один полный цикл работы ММШК в составе проходческого комплекса с учетом кинематики движения крепи и выполнения промежуточных основных и вспомогательных технологических операций, смежные процессы объединены и пронумерованы.

Разработанная схема алгоритма работы ММШК, полученные результаты в работах [164-167] по тестированию алгоритмов управления прикладного программного и технического обеспечения автоматизированной системы управления ММШК были использованы при разработке программы управления [162].

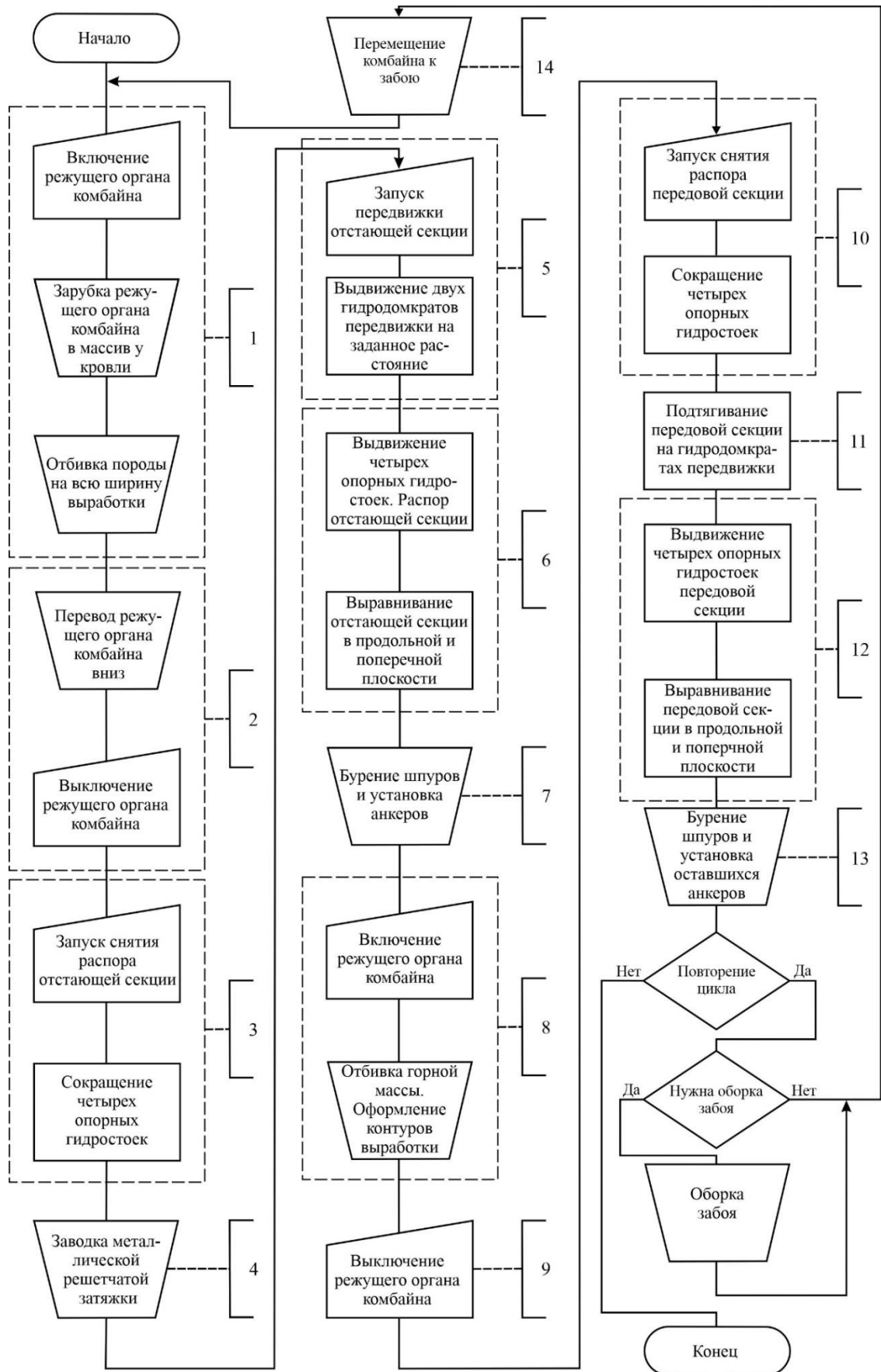


Рисунок 3.10 – Схема алгоритма работы ММШК
в составе проходческого комплекса

Структурная схема управления работой оборудования в составе проходческого комплекса

Предложенная структурная схема управления работой оборудования в составе проходческого комплекса (Рисунок 3.11) показывает взаимосвязанные необходимые и достаточные структурные и функциональные элементы проходческого комплекса, подземные и наземные элементы, участвующие в их управлении и типы связей данных между оборудованием комплекса.

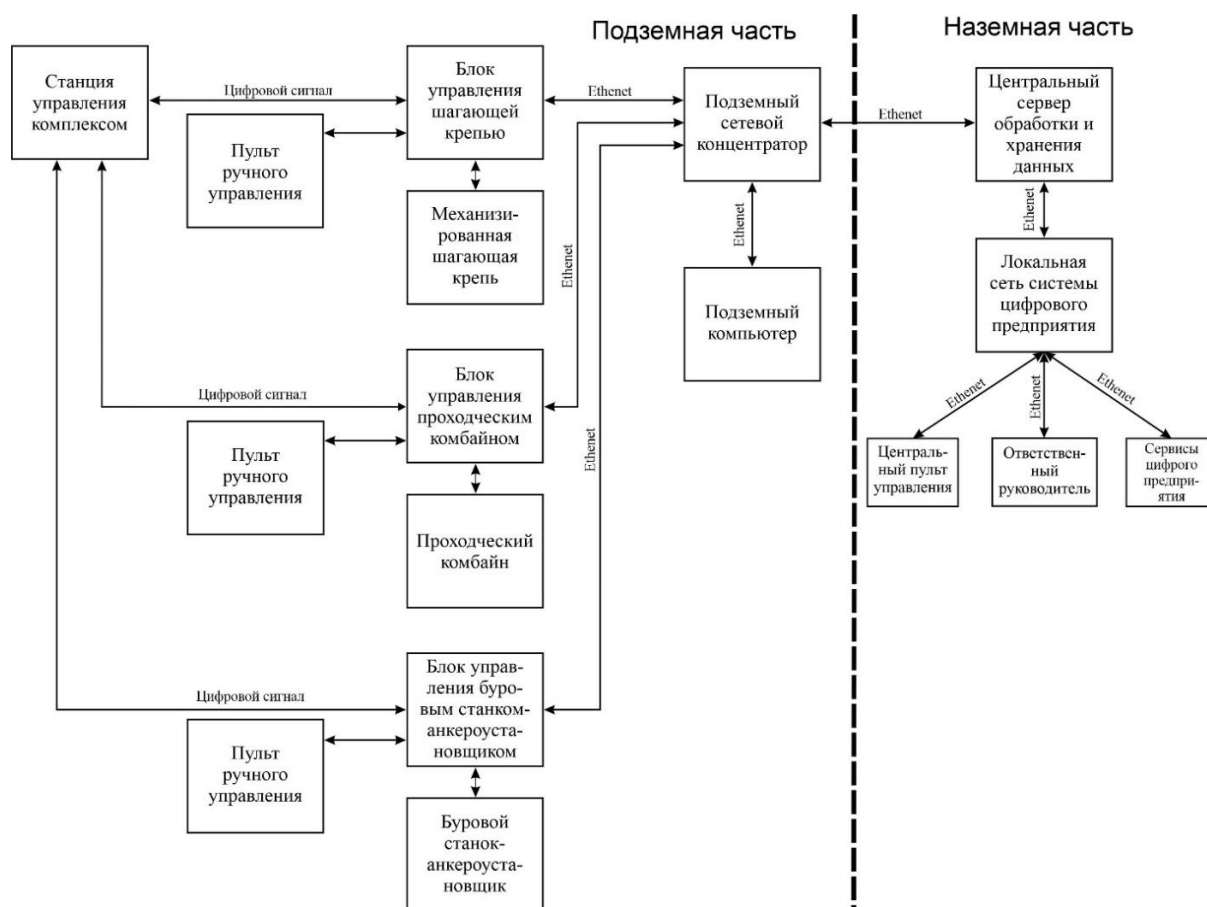


Рисунок 3.11 – Структурная схема управления работой оборудования в составе проходческого комплекса

Таким образом, разработанная конфигурация системы управления ММШК позволяет обеспечить дистанционную и автоматизированную работу шагающей крепи в составе проходческого комплекса, в том числе в безлюд-

ных технологиях выемки полезных ископаемых [55], что повышает уровень безопасности проведения проходческих работ.

3.5. Выводы

1. Теоретически обоснована зависимость расчетной нагрузки ($P_{кр.}$) действующей на ММШК со стороны массива пород кровли и расчетного сопротивления сжатию ($R_{с.кр.}$) от крепости пород и типа кровли по устойчивости, одновременно с этим установлено, что в пройденной подготовительной выработке размерами 5,0х3,5 м и глубине 250 м максимальная нагрузка 240 кН/м² горного давления со стороны кровли на крепь возникает на неустойчивых кровлях с III типом кровли по обрушаемости и уменьшается по мере увеличения коэффициента крепости пород (f) по классификации М. М. Протодяконова.

2. Для крепи ММШК размерами 6,26х5,0х3,5 м с расчетной нагрузкой 240 кН/м² на ММШК со стороны массива пород кровли выработки теоретически обосновано распределение усилий, действующих на одну гидравлическую стойку при передвижке секций крепи, и необходимое усилие для передвижки секций крепи, которые в совокупности определяют продолжительность цикла проходческих работ, одновременно установлено, что максимальная сила действует на одну стойку при распоре отстающей секции и составляет не менее 727,3 кН, а максимальная величина усилия передвижки соответствует передвижке отстающей секции и должна быть не менее 227 кН, при этом время полного цикла передвижки секций крепи составит 2,15 мин, а скорость 0,93 м/мин.

3. Установлен экспериментально процесс передвижки секций крепи ММШК с циклическим шагающим способом передвижки секций по разработанному рабочему циклу передвижения шагающей крепи с использованием моделей крепи с ручным и автоматическим управлением. Результаты моделирования рабочего цикла передвижки позволили разработать программу

управления роботизированной шагающей крепью и получить Свидетельство о государственной регистрации. Экспериментально проведена верификация методики расчета времени рабочего цикла передвижки секций ММШК с использованием масштабного экспериментального макета. Полученные результаты отклонения 14,6% между расчетными и экспериментальными значениями времени передвижки позволяют использовать методику для инженерного применения при расчете вариантов циклов передвижки ММШК для различных технологических условий применения.

4. Обоснована конфигурация системы управления работы ММШК в составе проходческого комплекса на основе представленной схемы алгоритма работы ММШК, состоящей из подлежащих выполнению основных и вспомогательных технологических операций проходческого цикла с учетом цикла работы шагающей крепи, обеспечивающая автоматизированную работу шагающей крепи и дальнейшую интеграцию в цифровую систему управления шахтой.

На основе представленных выводов сформулировано второе научное положение:

– с увеличением коэффициента крепости пород для I и III типов кровли по обрушаемости нагрузка на крепь ММШК уменьшается, при этом в подготовительной выработке размерами 5,0×3,5 м, и глубине 250 м максимальная нагрузка на секцию крепи с тремя опорными балками составляет 240 кН/м² при неустойчивых кровлях и минимальная 120 кН/м² – при устойчивых, причем при максимальной нагрузке обеспечиваются необходимые время и скорость передвижки соответственно 2,15 мин и 0,93 м/мин.

4. ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ММШК С СОПРЯГАЕМЫМИ ОБЪЕКТАМИ В СОСТАВЕ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В процессе проходки горной выработки с использованием шагающей крепи крепь ММШК взаимодействует с сопрягаемыми объектами, как в составе проходческого комплекса, так и с массивом горных пород подземной горной выработки.

К основным задачам исследований в настоящей главе были отнесены:

- численные исследования и моделирование процессов взаимодействия секций ММШК с массивом горных пород при их передвижке;
- исследования процессов взаимодействия оборудования проходческого комплекса на базе ММШК при выполнении операций проходческого цикла;
- обоснование основных вариантов компоновок ММШК для применения в проходческих и добычных комплексах при разработке угольных пластов.

4.1. Численные исследование взаимодействия ММШК с массивом горных пород при проходке подземных горных выработок

Для выявления закономерностей происходящих в процессах совместного деформирования элементов крепи ММШК и пород кровли, для оценки обеспечения устойчивости выработки при передвижке секций были проведены исследования [19] взаимодействия крепи ММШК с массивом горных пород при проведении подземных горных выработок. При проведении исследования использованы методы моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом взаимодействия элементов крепи и пород [168-171]

Для исследования взаимодействия системы «крепь – вмещающие выработку породы» принята для решения краевая задача Дирихле с граничными условиями 1-го рода.

Была поставлена задача: для ограниченной области исследований Ω , размеры которой по оси z значительно больше размеров в плоскости xy , найти компоненты смещений и напряжений для каждой точки внутри области. При исследовании использовалась математическая модель, сформулированная на основе классических уравнений теории упругости для условий плоской деформации [172]:

уравнений равновесия

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} - q = 0, \quad (4.1)$$

дифференциальных уравнений

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \quad (4.2)$$

физических уравнений

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [(1 - \mu^2)\sigma_x - \mu(1 + \mu)\sigma_y], \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [(1 - \mu^2)\sigma_y - \mu(1 + \mu)\sigma_x], \quad \gamma_{xy} = \frac{2(1 + \mu)}{E} \tau_{xy}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

где σ_x , σ_y , τ_{yx} – компоненты напряжений; ε_x , ε_y , γ_{yx} – компоненты деформаций; q – объемный вес пород; μ – коэффициент Пуассона; u , v – компоненты смещений; E – модуль упругости.

Граничные условия 1-го рода определяются следующим образом: на боковых границах модели задаются горизонтальные компоненты смещений

$u|_{\Omega} = 0$; на нижней границе модели задаются вертикальные и горизонтальные компоненты смещений $u|_{\Omega} = 0, v|_{\Omega} = 0$.

Задача решалась методом конечных элементов. Граничные условия учитываются на этапе сборки матриц — из них вычеркиваются строки и столбцы, соответствующие граничным узлам, в которых значения компонент смещений известны.

Внутри области соблюдается условие, что на каждую точку исследуемой области равномерно действует гравитационное поле напряжений γH , отражающее действие веса налегающих пород кровли. Контур выработки определяется координатами вершин многоугольника, в пределах которого модуль упругости и плотность пород принимаются равными нулю. Распор опорных балок секции крепи ММШК в кровле и почве выработки задается в виде сосредоточенной силы, приложенной к вершинам конечных элементов, расположенных на балках.

Для моделирования процессов взаимодействия были приняты следующие горно-геологические и горнотехнические условия: глубина расположения выработки 500 м; ширина выработки 5,0 м; высота выработки 3,0 м; угол падения пласта до 15° ; мощность пласта 3,0 м; распор крепи ММШК 600-3000 кН на один метр длины выработки. Свойства угольного пласта средней мощности и боковых пород представлены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Свойства угольного пласта и вмещающих его пород

Литотипы породных слоёв	Мощность слоя, м	Расстояние почвы слоя от кровли пласта, м	Предел прочности при сжатии, МПа	Количество подслоёв в модели, шт.
Основная кровля, мелкозернистый алевролит	30,0	2,4	55	7
Непосредственная кровля, аргиллит	2,0	0,4	30	5
Ложная кровля, аргиллит	0,4	0,0	25	2
Угольный пласт	3,0	-3,0	10	15

Окончание Таблицы 4.1

Ложная почва, аргиллит	0,2	-3,2	20	2
Непосредственная почва, аргиллит	3,7	-6,7	35	3
Основная почва, алевролит	28,0	-31,0	50	8

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород, вмещающего горную выработку, был проведен последовательно в три этапа. На первом этапе на основе алгоритма метода конечных элементов выполняется упругое решение для нахождения компонент смещений и напряжений. На втором этапе исследуется состояние массива горных пород, которое характеризуется нелинейной зависимостью между нормальными и касательными напряжениями в зоне влияния горной выработки. На основе критерия прочности Кулона–Мора в каждом конечном элементе вычисляется коэффициент остаточной прочности угля (k_o) или пород:

$$k_o = \frac{\tau_{\text{пред}}}{\tau_{\text{МКЭ}}}, \quad (4.4)$$

где $\tau_{\text{пред}}$ – предельные касательные – напряжения; $\tau_{\text{МКЭ}}$ – касательные напряжения, полученные по результатам численного моделирования.

Согласно теории прочности Мора, разрушение породы определяют соотношением касательных и нормальных напряжений в случае превышения ими предельных значений. Огибающие предельных кругов напряжений можно описать параболической зависимостью [173]:

$$\tau_{\text{пред}} = \{(\sigma_r - \sigma)[2\sigma_r - 2\sqrt{\sigma_r(\sigma_r - \sigma_c)} + \sigma_c]\}^{0.5}, \quad (4.5)$$

где σ – нормальные напряжения в породном слое или угольном пласте, находящемся в сложнапряженном состоянии; σ_c , σ_r – пределы прочности угля или породы при сжатии и растяжении соответственно.

На основе коэффициента остаточной прочности находят границы зон поврежденных и обрушенных пород. В конечных элементах, расположенных в этих зонах, модуль упругости изменяют на секущий модуль деформации (E_d):

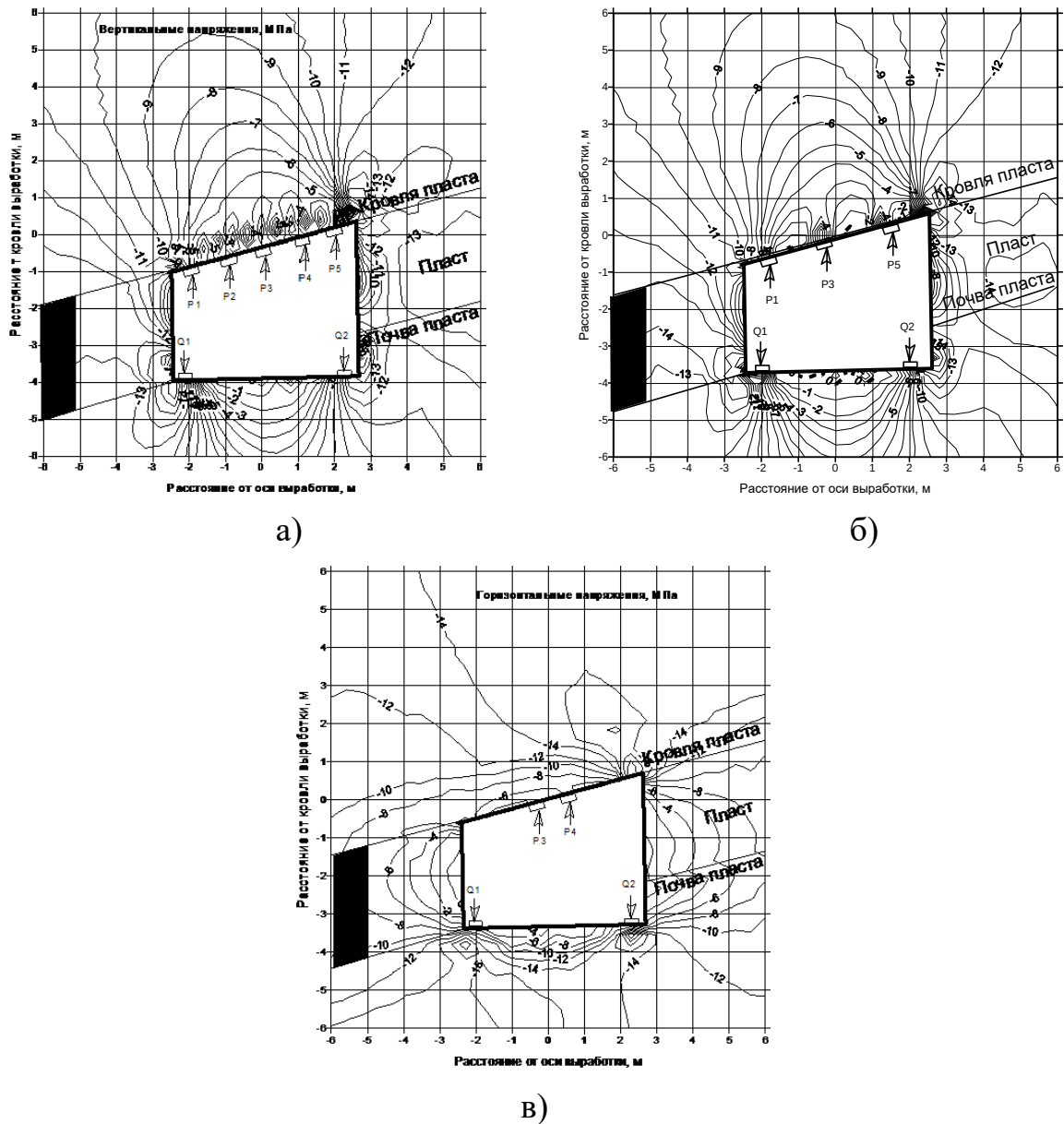
$$E_d = k_o E . \quad (4.6)$$

На третьем, заключительном этапе, реализуется нелинейное решение по [174], в котором модифицируются локальные матрицы жесткости конечных элементов в зависимости от секущих модулей деформации пород, строится глобальная матрица жесткости и выполняется повторный расчет с использованием стандартных процедур метода конечных элементов.

Численные исследования проводилось с использованием программного комплекса, разработанного в СибГИУ (г. Новокузнецк) [175].

В ходе исследования были проведены вычислительные эксперименты для различных вариантов схем расположения опорных балок при передвижке и распоре секций крепи ММШК, изменении давления секций крепи ММШК на кровлю ($P_1, P_2, \dots, P_5$) и почву (Q_1, Q_2) выработки, формы и размеров поперечного сечения пластовой выработки (Рисунок 4.1).

Оценка результатов моделирования осуществлялась на основе анализа закономерностей распределения вертикальных и горизонтальных смещений, напряжений, коэффициента остаточной прочности угля и пород в окрестности выработки. В качестве базового варианта принята подготовительная выработка, пройденная на горизонтальном пласте при отсутствии крепи ММШК.



- а) вертикальные напряжения с полным распором всех опорных балок;
 б) вертикальные напряжения при передвижке секций крепи с поддержанием кровли с помощью трех опорных балок; в) горизонтальные напряжения при передвижке секций крепи с поддержанием кровли с помощью двух центральных опорных балок

Рисунок 4.1 – Изолинии распределения напряжений (МПа)
 в окрестности выработки

В процессе исследования выполнено численное моделирование трех вариантов работы крепи ММШК:

- с полным распором (3000 кН/м длины выработки) всех опорных балок (Рисунок 4.1а);
- с частичным распором (1500 кН/м длины выработки) при передвижке секций крепи ММШК с поддержанием кровли с помощью трех опорных балок (Рисунок 4.1б);
- с частичным распором (1000 кН/м длины выработки) при передвижке секций крепи с поддержанием кровли с помощью двух центральных опорных балок (Рисунок 4.1в).

По результатам численного моделирования установлено, что при полном распоре секций крепи ММШК по сравнению с распором при её передвижке вертикальные смещения пород кровли уменьшаются в 1,3 раза, горизонтальные в 1,2 раза.

Полученные результаты распределения вертикальных и горизонтальных напряжений (знак «–» соответствует сжимающим напряжениям, знак «+» – растягивающим) подтверждают положительное влияние крепи ММШК, так как в породах кровли отсутствуют растягивающие напряжения, то есть снижается риск их обрушения. Воздействие распора элементов крепи ММШК распространяется на высоту 0,5-1,5 м от кровли выработки в виде зоны уплотнения пород непосредственно над крепью.

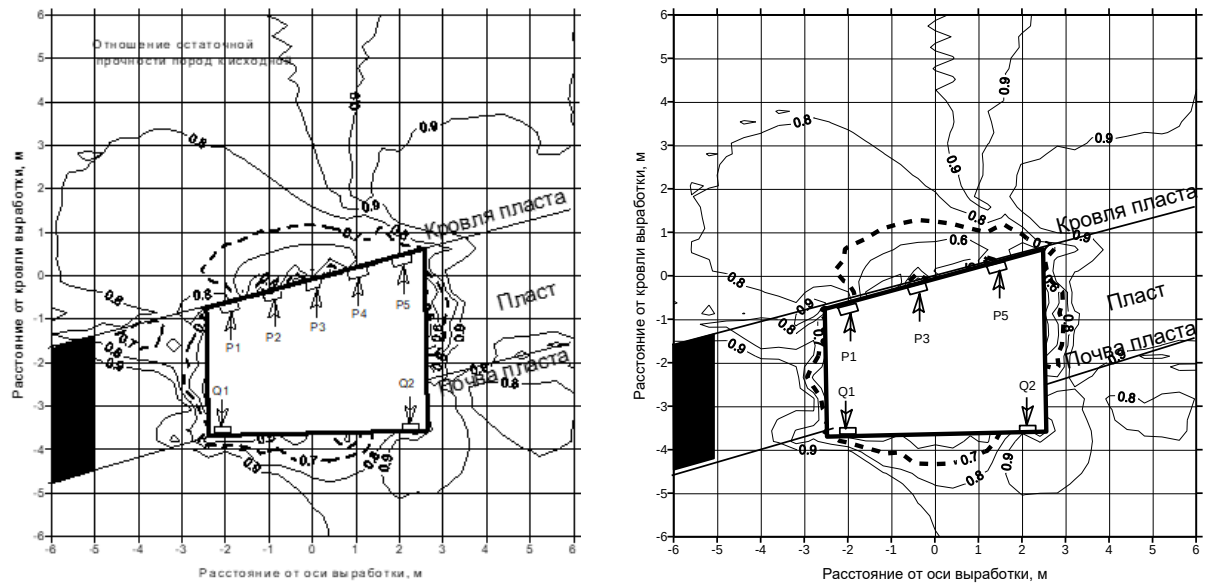
Следует отметить, что неравномерное воздействие секций крепи ММШК на породы кровли при передвижке секций может приводить к формированию блочной структуры и местным вывалам породных блоков между опорными балками, поэтому применение решётчатой затяжки при креплении выработок является обязательным.

В процессе исследований выявлены максимальные концентрации вертикальных и горизонтальных напряжений на пересечении кровли и почвы выработки с её боками. Давление гидравлических стоек на почву выработки приводит к появлению в ней знакопеременных вертикальных напряжений: под стойками сжимающих, а в середине выработки растягивающих вертикальных напряжений. Горизонтальные напряжения в породах почвы сжима-

ющие. Сочетание знакопеременных напряжений в породах почвы способствует разрушению и пучению пород почвы на глубину до одного метра. Растягивающие горизонтальные напряжения также возникают в боках выработки (Рисунок 4.1в). При увеличении угла падения пласта от 0 до 15° величины напряжений изменяются несущественно, однако возрастает асимметричность графиков распределения напряжений с отклонением оси симметрии в сторону падения пласта.

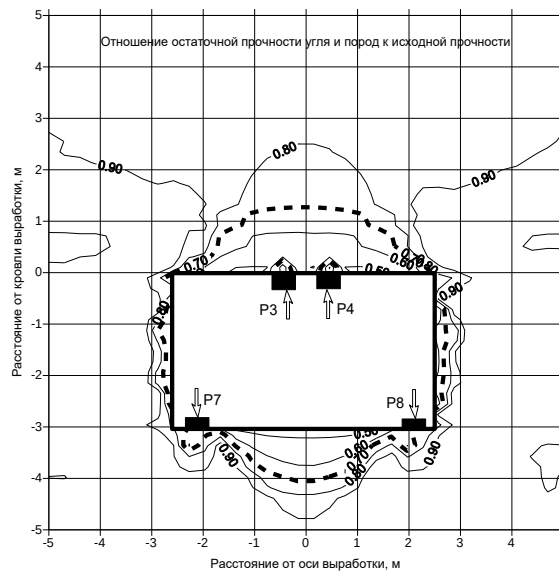
Для оценки устойчивости пород в окрестности подготовительной выработки в ходе исследований был рассчитан коэффициент остаточной прочности (k_{pr}), который определяется как отношение остаточной прочности угля и пород к исходной. Построенные изолинии распределения коэффициента остаточной прочности (Рисунок 4.2) позволяют оценить изменение формы и размеров зон предразрушения угля и пород (пунктирная линия при $k_{pr} = 0,7$ соответствует границе зоны предразрушения). Из практики шахтных наблюдений состояния кровли и угольного пласта на контуре выработки установлено, что зона поврежденных пород соответствует значению коэффициента остаточной прочности в диапазоне $0,5 < k_o \leq 0,7$, а зона разрушения – $0 < k_o \leq 0,5$.

По результатам анализа формы и размеров зон предразрушения краевой части пласта в боках выработки, пород кровли и почвы выявлена асимметричность формы зоны предразрушения пород кровли, которая возрастает при увеличении угла падения пласта (Рисунки 4.2а, 4.2б). Максимальный вес пород перемещается в сторону падения пласта, что следует учитывать при выборе оптимального дифференцированного распора балок в секциях крепи ММШК.



а)

б)



в)

- а) пройденной по наклонному пласту при полном распоре балок;
 б) пройденной по наклонному пласту при передвижке секций крепи с поддержанием кровли с помощью трёх опорных балок; в) при передвижке секций крепи ММШК с поддержанием кровли с помощью двух центральных опорных балок

Рисунок 4.2 – Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности угля и пород в окрестности выработки

Аналогичная закономерность формирования зоны предразрушения на наклонном пласте так же выявлена и в породах почвы (Рисунки 4.2а, 4.2б); в выработке, пройденной на горизонтальном пласте, такая закономерность не наблюдается (Рисунок 4.2в).

По результатам численного моделирования:

- установлено, что влияние нагруженных опорных балок приводит к уплотнению пород кровли на высоту до 0,5 м;
- выявлено формирование локальных зон уплотнения пород кровли над каждой балкой, а при передвижке секций крепи ММШК между балками возникает участок разрушения пород ($k_{pr} \leq 0,5$);
- установлено, что давление гидростоек на почву по бокам выработки приводит к формированию локальных концентраторов напряжений (Рисунок 4.1), зон разрушения или уплотнения пород (Рисунок 4.2);
- выявлено, что в краевой части пласта в боках выработки, независимо от начального распора и расположения балок возникает зона разрушения угля глубиной до 0,5 м, при этом необходимо отметить, что отжим угля с боков выработки может привести к травмированию персонала, поэтому рекомендуется конструкцию крепи ММШК дополнить противоотжимными устройствами.

Для учета особенности конструкции крепи ММШК при моделировании распора секций было предложено оценить значения податливости и несущей способности, которые относят к основным параметрам механизированных крепей в работах [176-178].

Для определения податливости и несущей способности крепи ММШК в подготовительном проходческом забое с учётом её полного и частичного распора при передвижке секций были использованы результаты численного моделирования геомеханических процессов в окрестности выработки, представленные на Рисунках 4.1-4.2. При этом податливость и нагрузку на секцию крепи ММШК можно объединить в виде модуля деформации крепи согласно [176].

Модуль деформации крепи (E_k , кН/м^2) определяется по следующей формуле:

$$E_k = \frac{hP_k}{S\Delta h}, \quad (4.7)$$

где h – высота выработки, м; P_k – нагрузка на секцию крепи, кН; S – площадь перекрытия механизированной крепи, м^2 ; Δh – податливость крепи, м.

Исходные данные, результаты моделирования и расчета модуля деформации крепи (E_k) представлены в Таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты моделирования и расчёта модуля деформации крепи ММШК

Вариант распора крепи	Нагрузка на крепь P_k , кН	Площадь несущего перекрытия, м^2	Конвергенция кровли и почвы, м	Модуль деформации крепи, кН/м^2
Полный распор	3000	27,8	0,140	2312
Передвижка секций с распором трёх балок	1500	14,9	0,150	2013
Передвижка секций с распором двух балок	1000	9,3	0,168	1920
Без крепи	0	0	0,220	0

На основании анализа результатов моделирования (Таблица 4.2) можно сделать вывод, что в процессе передвижки секции крепи ММШК ее модуль деформации снижается, при этом величины конвергенции кровли и почвы

для рассматриваемого варианта допустимы, что подтверждается практикой и нормативными документами [179, 180].

4.2. Анализ операций цикла проходки подготовительных выработок проходческим комплексом с использованием ММШК

Согласно проведенного анализа в Главе 1, одним из актуальных вопросов повышения эффективности проходки подготовительных выработок является увеличение темпов их проведения при использовании высокопроизводительных проходческих комбайнов, а также обеспечение безопасности работ.

Как ранее было отмечено, для увеличения скорости проходки предлагается исключить из проходческого цикла выполнение трудоемких работ, связанных с устройством временной предохранительной крепи в зоне забоя и использовать для поддержки кровли выработки шагающую крепь ММШК. Предполагается, что это позволит совместить операции основного проходческого цикла, связанные с выемкой горной массы и бурением, установкой анкерного крепления, при этом перекрытие шагающей крепи обеспечит безопасность работ.

Исследуемый проектный вариант проходческого комплекса на базе крепи ММШК представлен в Главе 2, п.2.5. Шагающая крепь позволяет механизировать процесс поддержки кровли выработки в зоне забоя и исключить присутствие людей в призабойной зоне при выполнении операций по бурению и установке постоянного анкерного крепления.

В качестве базового для сравнения был принят вариант проведения и крепления конвейерного штрека 1В (Приложение Б) на шахте «Южная» АО «СДС-Уголь» (г. Кемерово). Исходные данные соответствуют принятым в Главе 3, п.3.1 при проведении расчетов нагрузки опорного давления, сводные показатели исследуемых вариантов способов проходки подготовительной выработки приведены в Таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Сводные показатели исследуемых вариантов способов проходки подготовительной выработки

Наименование показателя	Базовый вариант	Проектный вариант
Способ поддержки призабойной части выработки	Временная предохранительная крепь	Шагающая крепь ММШК
Применяемое оборудование	Проходческий комбайн с режущим органом избирательного действия; буровой станок с анкероустановщиком	Проходческий комбайн с режущим органом избирательного действия; шагающая крепь ММШК; буровой станок с анкероустановщиком
Постоянное крепление выработки	Крепление выработки осуществляется сталеполимерной анкерной крепью, перетяжка кровли – решетчатая затяжка; бортов – полимерная сетка (решетчатая затяжка), шаг установки анкеров – 1,0 м; количество анкеров в кровле 5штук, количество анкеров в борта по 3 штуки с каждой стороны	
	Установка решетчатой затяжки и анкерного крепления в зоне забоя под защитой временной предохранительной крепи	Установка решетчатой затяжки в зоне забоя, а анкерного крепления в хвостовой части шагающей крепи ММШК под защитой перекрытия
Организация работ	Количество смен – 3; продолжительность смены – 8 часов; состав звена – 5 человек (машинист горновыемочных машин, два проходчика, дежурный электрослесарь, горнорабочий)	
Вспомогательные операции	Монтаж вентиляционного трубопровода, водоотлива и воздуховода, наростка ленточного конвейера, доставка материалов, техническое обслуживание забойного оборудования и др.	

Отличительными чертами основного проходческого цикла предлагаемого проектного варианта от базового являются: установка решетчатой за-

тяжки и передвижка отстающей секции шагающей крепи; бурение и установка трех анкеров в кровлю в хвостовой части крепи ММШК и передвижка передовой секции; бурение и установка двух анкеров в кровлю и по три анкера в бока выработки; перемещение из призабойной зоны операций проходческого цикла по бурению и установки анкерного крепления в хвостовую часть шагающей крепи ММШК.

Для оценки эффективности применения крепи ММШК в составе проходческого комплекса необходимо определить временные составляющие основного проходческого цикла и построить планограмму согласно [181, 182], с учетом разработанного цикла (этапов) передвижки шагающей крепи (Глава 3, п.3.2) и порядка работы проходческого комплекса на базе ММШК (Глава 3, п.3.5)

Продолжительность оборки кровли, установка решетчатой затяжки и передвижка передовой секции крепи ($T_{п1}$, мин) определялась по формуле:

$$T_{п1} = T_0 + \frac{H_3 \times K_C \times 60}{n} + T_{пос}, \quad (4.8)$$

где T_0 – продолжительность оборки кровли, согласно [183, 184] принимаем 5 мин;

H_3 – норма времени на установку затяжки, согласно [183, 184] принимаем 0,795 чел. час;

K_C – коэффициент совмещения, согласно [183, 184] принимаем 0,85;
 n – количество работников, принимаем 3 чел.;

$T_{пос}$ – продолжительность передвижки отстающей секции, принимаем, согласно проведенного расчета в Главе 3, п. 3.2, равной 1,14 мин.

Продолжительность бурения и установки трех анкеров в кровлю в хвостовой части крепи ММШК и передвижка передовой секции ($T_{п2}$, мин) определялась по формуле:

$$T_{П2} = (H_{БВ} + H_{Б0}) \times N_{Ш} \times L_{Ш} + \frac{H_A \times N_{Ш} \times 60}{n} + T_{ППС}, \quad (4.9)$$

где $H_{БВ}$ – норма времени на вспомогательные операции при бурении, согласно [183, 184] принимаем 0,36 чел. мин;

$H_{Б0}$ – норма времени на бурение пород, для VII категории буримости согласно [183, 184] принимаем 0,108 чел. мин;

$N_{Ш}$ – количество шпуров, принято 3 шт.;

$L_{Ш}$ – глубина шпура, принято 2,9 м;

H_A – норма времени на установку анкера, согласно [183, 184] принимаем 0,137 чел. час;

n – количество работников, принимаем 2 чел.;

$T_{ППС}$ – продолжительность передвижки передовой секции, принимаем, согласно проведенного расчета в главе 3 п. 3.2, равной 1,01 мин.

Продолжительность бурения и установки двух анкеров в кровлю и по три анкера в бока выработки ($T_{П2}$, мин) определялась по формуле:

$$T_{П3} = (H_{БВ} + H_{Б0}) \times N_{Ш}^K \times L_{Ш}^K + (H_{БВ} + H_{Б0}) \times N_{Ш}^Б \times L_{Ш}^Б + \\ + \frac{H_A \times N_{Ш}^K \times 60}{n} + \frac{H_A \times N_{Ш}^Б \times 60}{n} \times K_C, \quad (4.10)$$

где $H_{БВ}$ – норма времени на вспомогательные операции при бурении, согласно [183, 184] принимаем 0,3 чел. мин;

$H_{Б0}$ – норма времени на бурение пород, для VII категории буримости согласно [183, 184] принимаем 0,108 чел. мин, для V категории буримости, 0,62 чел. мин;

$N_{Ш}^K$ – количество шпуров в кровле, принято 2 шт.;

$L_{Ш}^K$ – глубина шпура в кровле, принято 2,9 м;

$N_{Ш}^Б$ – количество шпуров в боках, принято 6 шт.;

$L_{\text{ш}}^{\text{Б}}$ – глубина шпура в боках, принято 2,9 м;

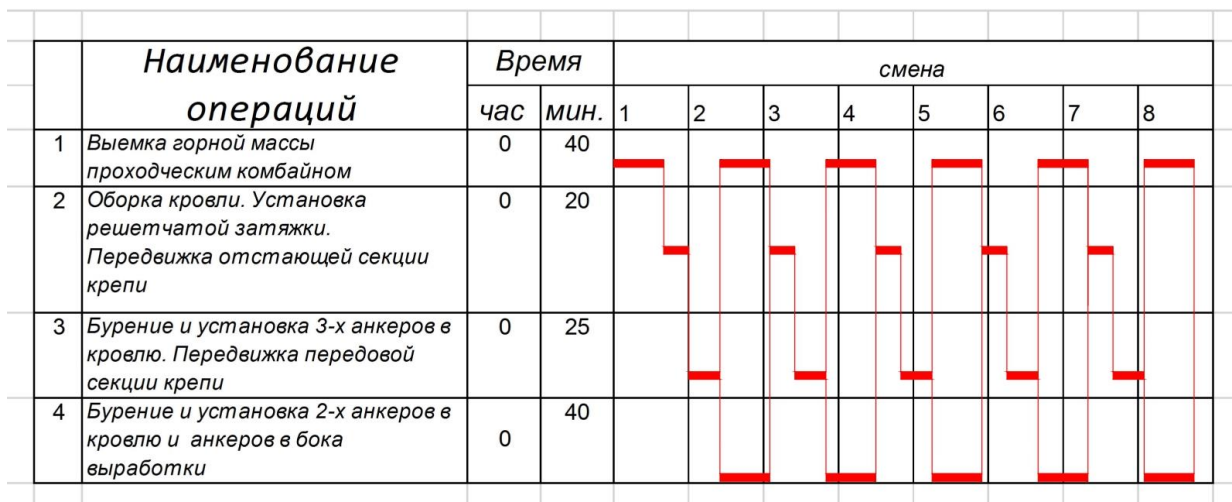
$N_{\text{А}}$ – норма времени на установку анкера, согласно [183, 184] для анкера 2,9 м принимаем 0,137 чел. час, для анкера 2,0 м принимаем 0,123 чел. час;

n – количество работников, принимаем 2 чел.;

$K_{\text{С}}$ – коэффициент совмещения, согласно [183, 184], принимаем 0,75.

По результатам расчета временных показателей основных операций процесса проходки подготовительной выработки для проектного варианта была построена планограмма основного проходческого цикла (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Планограмма проходки подготовительной выработки проходческим комплексом с использованием шагающей крепи ММШК



Из планограммы (Таблица 4.4) видно, что операции по выемки горной массы проходческим комбайном и второй этап бурения и установки анкеров в кровлю и бока выработки проводятся совмещенно.

Среднемесячная скорость проходки ($V_{\text{мес}}$, м/мес) определялась по формуле:

$$V_{\text{мес}} = L_3 \times N_{\text{ц}} \times n_{\text{мес}}, \quad (4.11)$$

где L_3 – длина заходки; $N_{\text{ц}}$ – количество циклов в сутки; $n_{\text{мес}}$ – среднее количество дней в месяце, для расчета принято 29,3 дня.

Результаты расчетов проектного варианта способа проходки подготовительной выработки и данные базового варианта представлены в Таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты исследования вариантов способов проходки подготовительной выработки

Наименование показателя	Ед. измер.	Базовый вариант	Проектный вариант
Глубина заходки	м	1	
Время вспомогательных операций	ч	4 ч 45 мин	
Время основного проходческого цикла	мин	140	85 (при совмещении) 125 (без совмещения)
Количество циклов в сутки	шт.	7	13 (при совмещении) 9 (без совмещения)
Среднемесячная скорость проходки	м/мес.	205	381 (при совмещении) 264 (без совмещения)

Сравнение планов работ проектного варианта (Таблица 4.4) с работой базового варианта на основе традиционного способа с установкой временной предохранительной крепи (Приложение Б) и анализ результатов исследований (Таблица 4.5) показывает увеличение на 6 циклов проходки в сутки и прирост скорости проходки не менее чем 1,8 раза для предложенного способа проходки проходческим комплексом на базе крепи ММШК.

Таким образом, использование шагающей крепи ММШК в составе проходческого комплекса исключает трудоемкий ручной труд по установке временной предохранительной крепи, что повышает безопасность ведения проходческих работ. ММШК в проходческом цикле взаимодействует с проходческим комбайном и буровым станком с анкероустановщиком. Установлено, что применение ММШК позволяет частично совместить по времени

операции основного проходческого цикла, а именно операции, связанные с выемкой горной массы и бурением шурфов под анкеры, посредством перемещения из призабойной зоны в хвостовую часть шагающей крепи выполнение работ по установке анкерного крепления.

4.3. Методика обоснования основных вариантов компоновок ММШК для проходческих и добычных комплексов

Предложенные конструктивные решения шагающей крепи ММШК (Глава 2), теоретические и экспериментальные макетные исследования (Глава 3) дают основание разработать методику обоснования основных вариантов компоновок ММШК для включения в состав добычных и проходческих комплексов при использовании в технологиях скоростной проходки подготовительных подземных горных выработок и выемки трудноизвлекаемых запасов угля. Как было предложено выше (Глава 2, п. 2.4) в качестве многофункционального использования ММШК определены технологические схемы для отработки круто-наклонных угольных пластов, камерно-столбовой отработке и проходки подготовительных горных выработок, а также отработки с открытой поверхности зоны угольного разреза КГРП.

В укрупненном виде методика обоснования компоновки ММШК включает в себя выполнение следующих этапов:

Первый этап – формирование исходных данных.

1. Уточнение технологической схемы применения крепи ММШК.
2. Уточнение горно-геологических условий применения крепи ММШК.
3. Определение параметров горной выработки, пород кровли и их характеристик.

Второй этап – выбор компоновочной схемы.

1. Выбор типа построения конструкции крепи ММШК – по разряженной или уплотненной схеме.

2. Уточнение конструктивных элементов конструкции крепи ММШК в зависимости от применяемой технологической схемы отработки:

а) отработка круто-наклонных угольных пластов – наличие управляемого козырька для дозированного выпуска, поперечная раздвижка траверс, гидравлические стойки секций шарнирно связаны с траверсами секций, заряженное расположение опорных балок;

б) камерно-столбовой способ отработки угольного пласта – гидравлические стойки жестко связаны с траверсами секций, заряженное расположение опорных балок;

в) проходка подготовительных горных выработок – гидравлические стойки жестко связаны с траверсами секций, разряженное расположение опорных балок; создание при помощи опорных балок передвигаемой секции опережающего перекрытия в зоне забоя, механизированная доставка в зону опережающего перекрытия элементов крепи (решетчатой затяжки);

г) КГРП – гидравлические стойки жестко связаны с траверсами секций, разряженное расположение опорных балок.

Третий этап – определение параметров и характеристик.

1. Расчет нагрузок, действующих на крепь ММШК в горной выработке со стороны массива пород (Глава 3, п. 3.1).

2. Расчет силовых, конструктивных и скоростных параметров гидроцилиндров гидравлических стоек и гидродомкратов передвижки, времени рабочего цикла передвижки секций крепи ММШК (Глава 3, п. 3.2).

3. Окончательный выбор конструкции основных элементов и узлов крепи ММШК.

4. Разработка алгоритма работы, уточнение схемы управления крепи ММШК (дистанционная, автоматизированная) (Глава 3., п. 3.4).

Представленная методика позволяет обосновать и создать конструктив шагающей крепи ММШК для применения в составе добычного или проходческого комплекса для конкретной технологической схемы и разработать конструкторскую документацию для изготовления и испытаний образца кре-

пи. Исходя из разработанной конструкторской документации и полученных массогабаритных характеристик проводится уточненный прочностной расчет опорных элементов конструкции и перекрытия крепи, в случае необходимости вносятся соответствующие правки в конструкции.

4.4. Выводы

1. По результатам численного моделирования геотехнического состояния массива горных пород при проведении подземных выработок с применением крепи ММШК, установлено: применение крепи ММШК положительно влияет на устойчивость кровли и почвы подготовительной выработки, так как в ней отсутствуют растягивающие напряжения; обоснована по геомеханическим факторам возможность применения крепи ММШК при комбайновом способе проведения подготовительной выработки на наклонных пластах; предложенный методологический подход количественного обоснования геомеханических параметров взаимодействия элементов сложной системы «механизированная крепь – вмещающие выработку породы» рекомендуется для выбора оптимальных параметров технологий выемки угля с использованием шагающей крепи.

2. Использование ММШК в составе проходческого комплекса для проведения подземных выработок позволяет разделить последовательные и взаимосвязанные операции основного проходческого цикла в пространстве и частично совместить по их времени, что в совокупности увеличивает темп проходки не менее чем в 1,8 раза по сравнению традиционным способом механизированной проходки с установкой временной предохранительной крепи.

3. Разработана методика обоснования выбора основных вариантов компоновок ММШК для включения в состав добычных и проходческих комплексов в зависимости от технологической схемы отработки угольных пластов.

На основе представленных выводов сформулировано третье научное положение:

– при поочередной передвижке секций крепи ММШК с тремя и двумя опорными балками модуль деформации секции крепи изменяется и достигает соответственно максимального значения 2013 кН/м^2 при нагрузке на крепь 1500 кН , и минимального 1920 кН/м^2 при нагрузке на крепь 1000 кН , при этом максимальная величина конвергенции кровли и почвы выработки составит $0,168 \text{ м}$, не превышая допустимых значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены научно обоснованные технические и технологические решения по разработке конструкции механизированной крепи подготовительных выработок шагающего типа и обоснованию ее параметров для реализации технологий скоростной проходки подготовительных выработок и отработки трудноизвлекаемых угольных пластов, обеспечивающих полноту и безопасность извлечения запасов угля, имеющие существенное значение для развития угледобывающих регионов страны и горного машиностроения.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта, известных технологических решений и средств механизации для проходки подземных выработок и разработки трудноизвлекаемых угольных пластов показал отсутствие современных средств механизации, способных создать своевременную опережающую поддержку кровли в тупиковой зоне подготовительного забоя с не снижаемым (постоянным) распором, применение которых позволит обеспечить эффективность и безопасность подземной добычи.

2. Обоснована конструкция ММШК, состоящая из двух секций с циклически-шагающим способом передвижки, предназначенная для практического применения в различных технологических задачах подземной разработки как многофункциональная платформа. Установлено, что ММШК в виде двухсекционной конструкции с разнесенным во времени шаганием секций обеспечивает необходимую скорость проходки подготовительных выработок и безопасность работ при их ведении за счет своевременной опережающей поддержки кровли и поочередного восприятия перекрытием секций горного давления с сохранением устойчивости элементов конструкции при значениях коэффициента запаса прочности крепи $n > 1,5$.

3. Теоретически обоснована зависимость воздействующей на ММШК нагрузки горного давления со стороны массива пород кровли от крепости пород и типа кровли по устойчивости. Установлено, что в пройденной подготовительной выработке размерами 5,0х3,5 м и глубине 250 м максимальная нагрузка 240 кН/м^2 горного давления со стороны кровли на ММШК возникает на неустойчивых кровлях с III типом кровли по обрушаемости, а минимальная 120 кН/м^2 – при устойчивых кровлях, при этом с увеличением коэффициента крепости пород для I и III типов кровли по обрушаемости отмечается увеличение сопротивляемости сжатию пород кровли в массиве и уменьшение нагрузки на ММШК. Обоснованы конструктивные и скоростные параметры гидроцилиндров гидравлических стоек и гидродомкратов передвижки ММШК в условиях проходки при максимальной нагрузке, что позволило определить время рабочего цикла передвижки секций ММШК 2,15 мин и скорость 0,93 м/мин.

4. Численными исследованиями и математическим моделированием геотехнического состояния массива горных пород при проведении подземных выработок с применением крепи ММШК установлено, что при поочередной передвижке секций крепи ММШК с тремя и двумя опорными балками модуль деформации секции крепи изменяется и достигает соответственно максимального значения 2013 кН/м^2 при нагрузке на крепь 1500 кН, и минимального 1920 кН/м^2 при нагрузке на крепь 1000 кН, при этом максимальная величина конвергенции кровли и почвы выработки не превышает допустимых значений и составляет 0,168 м. Применение разработанной ММШК в технологиях проходки подземных горных выработок позволяет разделить последовательные и взаимосвязанные операции основного проходческого цикла в пространстве и частично совместить по их времени, что в совокупности увеличивает темп проходки не менее чем в 1,8 раза.

5. Полученные в работе результаты рекомендованы и переданы к использованию при изготовлении ММШК для скоростной проходки горных выработок на предприятиях АО НПК «АЛТАЙМАШ».

Направления дальнейших исследований:

1. Совершенствование конструкции ММШК для расширения области применения под отработку пластовых кимберлитовых месторождений за счет полноты извлечения руды.
2. Обоснование направлений повышения эффективности выемки мощного угольного пласта с применением ММШК с учетом влияния его угла залегания.
3. Совершенствование конструкции ММШК для обеспечения передвижки секций крепи при проходке криволинейной горной выработке за счет раздельной работы гидродомкратов передвижки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Coal Mining to 2025 - Updated with Impact of COVID-19. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. <https://store.globaldata.com/report/gdmmgco005mr-global-coal-mining-to-2025-updated-with-impact-of-covid-19/#tab-list-of-figures> (дата обращения 24.06.2021).
2. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года. — <http://static.government.ru/media/files/OoKX6PriWgDz4CNNAxwIYZEE6zm6I52S.pdf> (дата обращения 22.06.2021).
3. Горная энциклопедия [Электронный ресурс] : подгот. по печ. изд. 1984-1991 гг. — В 5 томах. — М. : Советская энциклопедия, Рубрикон, 2008. — Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/g/gornoproходcheskie-raboty/>. — Дата последнего обращения : 26.06.2021
4. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года / И.Г. Таразанов., Д.А. Губанов // Уголь. — 2021. — № 3. — С. 27-43. — DOI: 10.18796/0041-5790-2021-3-27-43.
5. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2018 года / Уголь. — 2019. — № 3. — С. 64-79. — DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-64-79. — URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032019.pdf> (дата обращения: 22.06.2021).
6. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года / Уголь. — 2018. — № 3. — С. 58-73. — DOI: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. — URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (дата обращения 22.06.2021).
7. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2016 года / Уголь. — 2017. — № 3. — С. 36-50. — DOI: 10.18796/0041-5790-2017-3-36-50. — URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032017.pdf> (дата обращения 22.06.2021).

8. Угольная промышленность Кузбасса. Основные показатели работы. Ежемесячный сборник № 12. – Кемерово: АО «Информационно-вычислительный центр», 2020. – 84 с.

9. Беликов, В.В. Проблемы и пути повышения эффективности проведения подготовительных выработок на угольных шахтах России / В.В. Беликов, А.И. Чавкин // Уголь. – 2009. – №3. – С.31-34.

10. Севостьянов, Ю. К. Многоштрековая подготовка угольных пластов / Ю. К. Севостьянов, А. В. Ремезов // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. ст. Международной науч.-практ. конф., Новокузнецк, 05–06 июня 2012 года / Сибирский государственный индустриальный университет; Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2012. – С. 116-117.

11. Костюк, С.Г. Усовершенствование способа подготовки угольного пласта к отработке / С.Г. Костюк, Г.А. Ситников, О.В. Любимов, С.С. Породин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 2. – С.75-86.

12. Егоров, А.П. Оценка возможности и эффективности внедрения технологических схем скоростной проходки подземных горных выработок на угольных шахтах / А.П. Егоров, И.А. Кондаков // Уголь. – 2019. – № 11. – С. 22-28.

13. Тациенко, В. П. Научное обоснование и разработка технологических схем отработки пологих и наклонных угольных пластов короткими очистными забоями на шахтах Кузбасса. – Автореф. дисс. докт. техн. наук. – М., 2003. – 42 с.

14. К вопросу отработки удароопасных угольных пластов короткими забоями / Д.В. Яковлев, В.П. Баскаков, М.А. Розенбаум, С.И. Калинин // Уголь. – 2015. – № 7. – С. 13-16. – URL : <http://www.ugolinfo.ru/Free/072015.pdf> (дата обращения: 26.06.2021).

15. Черепов, А.А. Исследование распределения напряжений и деформаций геомассива при камерно-столбовой системе разработки мощного пологого угольного пласта / А.А. Черепов, С.Н. Ширяев, В.Ю. Кулак // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №9. – С.170-178.

16. Семенцов, В.В. Исследование технологии отработки целиков угля при камерно-столбовой системе в российских шахтах. Обзор / В.В. Семенцов, М.С. Добровольский, Е.В. Нифанов, М.С. Шабалин // Вестник НЦ ВостНИИ. – 2018. – № 4. – С.5-23.

17. Исследование технологии безопасной отработки целиков угля при камерно-столбовой систем в зарубежных шахтах / В.В. Семенцов, Д.В. Осминин, М.С. Добровольский [и др.] // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2019. – № 4. – С. 37-56. – DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.12.4.005.

18. Prokopenko, S. A. Classification of protective pillars toward higher safety and innovation in room-and-pillar coal mining / S. A. Prokopenko, V. V. Sementsov, M. S. Dobrovolsky, E. V Nifanov.// Eurasian Mining. – 2020. – No 2. – P. 24-27. – DOI: 10.17580/em.2020.02.05.

19. Клишин, В.И. Исследование взаимодействия многофункциональной шагающей крепи с массивом горных пород при проведении подземных выработок / В.И. Клишин, В. Н. Фрянов, Л. Д. Павлова, С. М. Никитенко, Ю. В. Малахов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2021. – № 3. – С. 3-12. – DOI: 10.15372/FTPRPI20210301.

20. Афанасьев, В.Я. Уголь России: состояние и перспективы: монография / В.Я. Афанасьев, Ю.Н. Линник, В.Ю. Линник. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 271с.

21. ГОСТ Р 54976-2012. Оборудование горно-шахтное. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2014. – 28 с.

22. Топчиев, А.В. Горные машины и комплексы / А.В. Топчиев, В.И. Ведерников, М.Т. Коленцев, А.В. Астахов, П.В. Семенча. – М.: Недра, 1971. – 560 с.

23. Сафохин, М.С. Горные машины и оборудование: учеб. для вузов / М.С. Сафохин, Б. А. Александров, В.И. Нестеров. – М.: Недра, 1995. – 463 с.
24. Малевич, Н.А. Горнопроходческие машины и комплексы : учеб. для вузов / Н.А. Малевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 384 с.
25. Кантович, Л.И. Горные машины. Учебник для техникумов / Л.И. Кантович, В.Н. Гетопанов. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
26. Тургель, Д. К. Горные машины и оборудование подземных разработок // Учебное пособие. – Екатеринбург, 2007. – 302 с.
27. Базер, Я.И. Проходческие комбайны / Я.И. Базер, В.И. Крутилин, Ю.Л. Соколов. – М.: Недра, 1974. – 304 с.
28. Солод, В.И. Горные машины и автоматизированные комплексы: Учебное пособие / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Первов. – М.: Недра, 1981. – 503 с.
29. Горнопроходческие машины и комплексы : учеб. для вузов / Л. Г. Грабчак, В. И. Несмотряев, В. И. Шендеров, Б. Н. Кузовлев. – Москва : Недра, 1990. – 336 с.
30. Кантович, Л. И. Щитовая проходка подземных выработок II Уголь / Л. И. Кантович. – М.:«Импернум Пресс». – 2000. – 225 с.
31. Эткин, С.М., Симоненко В.М. Сооружение подземных выработок проходческими щитами / С.М. Эткин, В.М.Симоненко. – М.: Недра, 1980. – 304 с.
32. Картозия, Б.А. Шахтное и подземное строительство: учеб. для вузов. 2-е изд. / Б.А. Картозия, Б.И. Федунец, М.Н. Шуплик и др. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 607 с.
33. Маметьев, Л.Е. Тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шахтах Кузбасса / Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 2. – С. 14–16.
34. Опыт эксплуатации проходческих комбайнов избирательного действия (на примере шахт ОАО “СУЭК-Кузбасс”) / В.И. Нестеров, А.А. Хорешок, Б.Л. Герике, В.В. Кузнецов, Ю.В. Дрозденко, С.Г. Мухортиков // Горная

техника: добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник, 2012. – СПб.: Славутич. – С. 20–23.

35. Хорешок, А.А. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 1. Опыт производства и развития : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 213 с.

36. Хорешок, А.А. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 2. Эксплуатация и диагностика : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 281 с.

37. Эксплуатация проходческих комбайнов на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / В. А. Ковалев, А. А. Хорешок, Б. Л. Герике [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 2(96). – С. 26-33.

38. Современное оборудование компании Sandvik для угольных шахт / Горная промышленность. – 2011. – № 2 (96). – С. 36-38.

39. Баскаков, В. П. Опыт скоростного проведения подготовительных выработок с применением технологии поэтапного крепления / В. П. Баскаков, М. С. Добровольский // Уголь. – 2011. – № 10(1027). – С. 5-8.

40. Современные технологии двухуровневого анкерного крепления: перспективы применения при отработке рудных месторождений полезных ископаемых в различных горногеологических условиях / П. В. Гречишкин, Е. А. Разумов, Д. Ф. Зяятдинов, С. С. Чугайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 10. – С. 182-200.

41. Ланцевич, М.А. Анализ анкероустановщиков с пневматическими вращателями / М.А. Ланцевич, А.А. Репин, С.Я. Левенсон, Д.И. Кокоулин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – № 1. – Т.2. – 2014. – 127-131 С.

42. Борисов, А. Ю. Разработка двухкорончатых стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом: дисс. ... канд. техн. наук : 05.15.02. – Кемерово, 2016. – 16 с.

43. Ситников, Г.А. Оценка эффективности производства механизированной проходки подземных горных выработок / Г. А. Ситников, С. С. Породин // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : Сборник трудов V Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 30–31 марта 2016 года / Ответственные редакторы Е. Ю. Пудов, О. А. Клаус – Прокопьевск: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» в г. Прокопьевске, 2016. – С. 97-101.

44. Ефременков, А.Б. Разработка научных основ создания систем геохода: дис. ... докт. техн. наук: 05.05.06 / Ефременков Андрей Борисович. – Кемерово, 2016. – 25 с.

45. Хорин, В.Н. Гидравлические системы механизированных крепей / В.Н. Хорин, С.В. Мамонтов, В.Я. Каштанова // М.: Недра. – 1971. – 288 с.

46. Хорин, В.Н. Расчет и конструирование механизированных крепей / В.Н. Хорин. – М.: Недра, 1988. – 255 с.: ил.

47. Коровкин, Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев / Под ред. Ю.Л. Худина. – М.: Недра, 1990. – 413 с.: ил.

48. Докукин, А. В. Механизированные крепи и их развитие / А.В. Докукин, Ю.А. Коровкин, Н.И. Яковлев. – М.: Недра. – 1984. – 288 с.

49. Бурчаков, А.С. Технология и механизация подземной разработки пластовых месторождений / А.С. Бурчаков, Ю.А. Жежелевский, С.А. Ярунин. – М: Недра, 1989. – С.431.

50. Малеев, Г. В. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: Учебник для вузов / Г.В. Малеев, В.Г. Гуляев. – М.: Недра. – 1988. – 368 с.
51. ГОСТ 33164.1-2014 Оборудование горно-шахтное. Крепи механизированные. Секции крепи. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 54 с.
52. Бурчаков, А.С. Технология подземной разработки месторождений полезных ископаемых. / А. С. Бурчаков. – М: Недра, 1983. – 487 с.
53. Хорин, В.Н. Расчет и конструирование механизированных крепей / В.Н. Хорин – М.: Недра, 1988. – 255 с.: ил.
54. ISO TC SC8 Strategic Business Plan ISO TC 82 SC8. <https://sd.iso.org/documents/open/24b8260f-e3bc-4522-b3ce-58454e0514a9> (дата обращения 18.05.2021)
55. Nikitenko, M.S. Multifunction walking roof support for underground mining of stratified deposits and placers / M.S. Nikitenko, Yu.V. Malakhov, S.A. Kizilov, S.S. Zhuravlev // Eurasian Mining. – No. 2. – Pp. 58–62. – DOI: 10.17580/em.2020.02.14. – <http://www.rudmet.ru/journal/1986/article/33449/>
56. US Patent 2,795,936 Sept. 30, 1952 Walking roof support. Warren A. Blower, Franklin, and Richard L. Ziegler, Seneca, Pa., assignors to Joy Manufacturing Company, Pittsburgh, Pa., a corporation of Pennsylvania. Appl., Serial No. 312,182 5 Claims. (Cl. 61-63).
57. US Patent 4,189,258 Maykemper et al., Feb. 19, 1980 Walking mine-roof support. Hermann Hemscheidt Maschinenfabrik GmbH & Co., Wuppertal, Fed. Rep. of Germany.
58. US patent 3,435,620 Weirich et al., Apr. 01, 1969 Walking mine roof support. Walter Gewerk schaft Eisenhuette Westfalia, Altlunen, Germany CL. E21d 11/00 U.S. Cl. 61-45 7 Claims.
59. Основы горного производства: Учебное пособие / И.Е. Долгий, А.А. Силантьев // Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). – СПб, 2003. – 96 с.

60. 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.

61. US Patent 4,710,064 Dec. 1, 1987 Stafford et al. Movable roof support and bolter system. Appl. No.: 912,331 22 Filed: Sep. 26, 1986.

62. US Patent 4,737,051 Mobile mine-roof support Hans Bill. Hermann Hemscheidt Maschinenfabrik GmbH & Co., Appl. No.: 1,495 22 Filed: Dec. 5, 1986.

63. Патент № 2134793 С1 Российская Федерация, МПК E21D 23/04, E21D 23/08. Самоходная механизированная крепь : № 98102104/03 : заявл. 10.02.1998 : опубл. 20.08.1999 / Ю. И. Наместников, В. А. Потапенко, Б. Г. Никишичев [и др.]; заявитель Акционерное общество открытого типа «Подмосковный научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт» (ОАО «ПНИУИ»).

64. Лапшин, В. В. Об устойчивости движения шагающих машин / В. В. Лапшин // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 6. – С. 319-335. – DOI 10.7463/0614.0712266.

65. Лапшин, В.В. Механика и управление движением шагающих машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 199 с.

66. Брискин, Е.С. Концепция создания шагающей машины для МЧС / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев, В.В. Жога //Экстремальная робототехника: мат. XII науч.-техн. конф. / СПбГТУ, ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – СПб., 2002. – С.139-146.

67. Okhotsimsky, D. Walking machines / D. Okhotsimsky, A. Platonov, A. Kiril'chenko, V. Lapshin, V. Tolstousova // Advances in Mechanics. – 1992. – Vol. 15, no. 1-2. – P. 39-70.

68. Song S-M., Waldron K.J. Machines That Walk. The Adaptive Suspension Vehicle. – Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press, 1989. – 314 p.

69. Павловский, В.Е. О разработках шагающих машин. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2013. – 32 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН;

№ 101). – Режим доступа: <http://library.keldysh.ru//preprint.asp?lg=r&id=2013-101> (дата обращения 16.05.2021).

70. Чернышев, В.В. Опыт использования шагающей машины для ликвидации аварийного разлива нефти. – БЖ. – 2003. – №5. – С.28-30.

71. Объединенные машиностроительные технологии. – <http://www.omt-ohe.ru/production/krepi> (дата обращения 22.05.2021).

72. Поисковые и конструкторские работы по изысканию кинематических и конструктивных параметров средств крепления сопряжения очистного забоя со штреками при отработке мощных пластов угля слоевыми системами / Сибирский государственный проектно-конструкторский и экспериментальный институт горного машиностроения «Сибгипрогормаш». – Новосибирск, 1986. – 36 с.

73. Вукобратович, М. Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. – М.: Мир, 1976. – 542 с.

74. Артоболевский, И.И. Особенности и возможности шагающих машин / И.И. Артоболевский, А.П. Бессонов, Н.В. Умнов // Вопросы земледельческой механики. – М.: Изд-во ВИМ, 1978. – С.41.

75. Чернышев, В.В. Исследование механизма взаимодействия опорных элементов (стоп) шагающих машин со слабыми и экологически ранимыми грунтами / Состояние и перспективы развития дорожного комплекса: сб. науч. тр. междунар. конф. – Брянск: БГИТА, 2001. – Вып.2. – С.35-36.

76. Мамолетов, А.В. Динамика и оптимизация структуры, параметров и алгоритмов управления шагающих машин со сдвоенными шагающими двигателями: дис. ... д. физ.-мат. наук: 01.02.01 / Мамолетов Александр Васильевич. – Волгоград, 2015. – 49 с.

77. Lind, G. H. Key success elements of coal pillar extraction in New South Wales / The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2002. – pp. 199-205.

78. Wilson, H. G. Mobile Roof Support for Retreat Mining // Paper in 10th International Conference on Ground Control in Mining, Proceedings, ed. by S.

Peng (Morgantown, WV, June 10-12, 1991). Dept. of Min. Eng., WV Univ., 1991. – Pp. 103-114.

79. Mark C., Chase F.E. Analysis of retreat mining pillar stability (ARMPS) / Paper presented at the seminar on new technology for ground control in retreat mining. – Pittsburgh. U.S. Bureau of Mines, 1997. – Pp. 17-34.

80. Howe, L., A Decade of mobile roof support application in the United States. Paper in Proceedings, 17th International Conference on Ground Control in Mining, ed. by S. S. Peng (Morgantown, WV, Aug. 4-6, 1998). Dept. of Mining Engineering, WV Univ., Pp 187-201.

81. McTyer K., Sutherland T. The Duncan Method of Partial Pillar Extraction at Tasman Mine / 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011. – Pp. 8-15.

82. Maleki H., Owens J., Endicott M. Field evaluation of mobile roof support technologies / Paper presented at the 20th international conference on ground control in mining, Morgantown, WV. West Virginia University, 2001. – Pp. 67-77. – URL: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/feomr.pdf> (дата обращения: 26.05.2021).

83. Maleki H., Owens J. Analysis of the interaction between mobile roof supports and mine strata: paper presented at the conference on design and construction in mining, petroleum and civil engineering, Sao Paulo, Brazil. Escola Politecnica da Universidade de Sao Paulo, 1998. – Pp. 287 – 393.

84. Geomechanics of Mine Workings Support Systems / Volodymyr Bondarenko, Iryna Kovalevska, Hennadiy Symanovych, Mykhaylo Barabash, Oleksandr Vivcharenko. – London: Taylor & Francis Group., 2018. – 231 p.

85. Семенцов, В. В. Проблемы камерно-столбовой отработки мощных пологих пластов Кузнецкого угля, опасных по газодинамическим явлениям / В. В. Семенцов, С. А. Прокопенко // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2018. – Т. 5. – № 1. – С. 109-115.

86. Повышение эффективности и безопасности отработки целиков при камерно-столбовой системе разработки угольных пластов / Ю. М. Филатов, В. В. Семенцов, С. А. Прокопенко [и др.] // Уголь. – 2018. – № 12(1113). – С. 16-20. – DOI: 10.18796/0041-5790-2018-12-16-20.

87. Prokopenko, S. A. Technology of extended pillar recovery in room and pillar mining in leading coal producing countries / S.A. Prokopenko, V.V. Sementsov, M.S. Dobrovolsky // Eurasian Mining. – 2019. – No 1. – P. 21-24. – DOI: 10.17580/em.2019.01.05.

88. Сидорчук, В.К. Конструктивные особенности ходовой части гусеничной механизированной крепи с целью снижения давления на почву / В. К. Сидорчук, А. М. Балабышко // Труды РАНИМИ. – 2017. – № 3(18). – С. 25-29.

89. Семенцов, В. В. Технология и оборудование для повышения уровня извлечения угля при камерно-столбовой отработке пластов / В. В. Семенцов, В. С. Лудзиш, С. А. Прокопенко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 10. – С. 65-78. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-65-78.

90. Федорин, В. А. Геотехнологическое обоснование средств выемки мощных пологих угольных пластов с использованием безразгрузочного комплекта передвижных опор (БКПО) / В. А. Федорин, Е. Л. Варфоломеев, О. В. Кассина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 1. – С. 253–258.

91. Варфоломеев, Е. Л. Длиннокамерная технология добычи угля подземным способом / Е. Л. Варфоломеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S6. – С. 90-103.

92. Воронова, Э.Ю. Опыт создания и развитие агрегатированных проходческих систем для проведения горизонтальных и наклонных горных выработок / Э.Ю. Воронова, Ю.В. Антипов // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – №6. – С.30-37.

93. 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. Опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.

94. Гетопанов, В. Н. Горные и транспортные машины и комплексы / В.Н. Гетопанов, Н.С. Гудилин, Л.И. Чугреев. – М.: Недра, 1991.

95. Коденцов, А.Я. Гидротехнология на шахтах. – М., Недра, 1984. – 320 с.

96. Атрушкевич, В. А. Техническое обеспечение поточного проведения подготовительных выработок на угольных шахтах / В.А. Атрушкевич, А.А. Атрушкевич, О.А. Атрушкевич // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2012. – № 1. – С. 3-13.

97. Зайденварг, В.Е. Угольная промышленность за рубежом. / В.Е. Зайденварг, Н.И. Гаркавенко, В.С. Афендииков, Е.М. Дубровский – М.: Горная промышленность, 1993. – 389с: ил.34.

98. Установка БУР-01. Выход на промышленные испытания. – <https://sibelectro.com/ustanovka-bur-01-vyход-na-promyshlennye-ispytaniya/> (дата обращения 21.05.2021).

99. Правила безопасности при строительстве подъемных сооружений (ПБ 03-428—02). П68 Серия 03. Выпуск 12 / Колл. авт. — М.: Научно-технический центр «Промышленная безопасность», 2009. — 408 с.

100. Bertignoll, I.H. The Alpine Bolter Miner. Austrian technology for rapid roadway development / Min. Technol. 1995. № 77. – Pp. 163-165.

101. Bertignoll, H.; Saria, W.; Owens, K. Slow cutting for higher productivity and safety / The sandvik bolter miner MB610. // Coal Int. 2014. –№ 262. – Pp. 34–37.

102. Qiao, S. Performance evaluation of different pick layouts on bolter miner cutting head / J. Min. Sci. 2018. – № 54. – Pp. 969–978.

103. Современное оборудование компании Sandvik для угольных шахт // Горная промышленность. – 2011. – № 2(96). – С. 36-38.

104. Ортнер, П. Проходческие комбайны типа «Bolter Miner» серии MB600 компании «Sandvik» – системное решение для скоростной и безопасной проходки выработок на угольных шахтах / П. Ортнер, К. В. Григорьев // Уголь. – 2008. – № 11(991). – С. 7-10.

105. Бунин, В.И. Передвижная предохранительная крепь для проведения горизонтальных и наклонных выработок (ППК-1) / В.И. Бунин, Г.Г. Сенников, Ю.Д. Григоренко, Г.Ф. Винокуров. // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых: Сб.науч.тр. № 7. – Ассоциация «Кузбассуглетехнология». – Кемерово, 1994. – С.87-92.

106. Бунин, В.И. Создание проходческих комплексов на принципе агрегатирования для проведения наклонных выработок: Владимир Иванович Бунин. дис. ... докт. техн. наук. Кемерово, 1997. – 36 с.

107. Хазанович, Г.Ш. К вопросу об оценке эффективности горнопроходческих систем / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – №7. – С. 15-22.

108. К вопросу об определении показателей эффективности горнопроходческого оборудования / Г.Ш. Хазанович [и др.] // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XII междунар. науч.- техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», (Екатеринбург, 24-25 апреля 2014 г.) / Оргком.: Ю.А. Лагунова, Н.М. Суслов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2014. – С. 134-138.

109. О некоторых направлениях разработки эффективного горнопроходческого оборудования / Г. Ш. Хазанович, В. Г. Черных, Э. Ю. Воронова, А. В. Отроков // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 4. – С. 20-24.

110. Направления и результаты исследований по созданию проходческого оборудования нового технического уровня / Г.Ш. Хазанович [др.] //Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности (Тамбов, 31 января 2013 г.): сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ.

конф; в 13 ч.- Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – Ч.7. – С. 148-152.

111. Хазанович, Г. Ш. Актуальные направления научных исследований горнопроходческого оборудования / Г. Ш. Хазанович // Горное оборудование и электромеханика. – 2018. – № 2(136). – С. 41-45.

112. Воронова, Э.Ю. Научные основы разработки агрегатированных проходческих систем для подземного способа добычи полезных ископаемых: дис. ... док. техн. наук: 05.05.06 / Воронова Элеонора Юрьевна. – Новочеркасск, 2015. – 59 с. – 26 с.

113. Шаламанов, В.А. Пути повышения технико-экономических показателей комбайновой проходки подготовительных горных выработок / В.А. Шаламанов, А.Ю. Ганин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2003. – № 6. – С.50-51.

114. Сидорчук, В. К. Обоснование технологии разработки угольных пластов с трудноуправляемыми кровлями и ограниченными запасами : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.15.02. – Тула, 2000. – 116 с.

115. Кулаков, В. Н. Создание технологий выемки мощных крутых угольных пластов: дисс. ... д-ра техн. наук : 05.15.02. – Новосибирск, 1999. – 80 с.

116. Ремезов, А. В. Зарубежный опыт применения технологических схем отработки наклонных и крутонаклонных угольных пластов на шахтах / А. В. Ремезов, А. В. Ануфриев, Р. О. Кочкин // Современные проблемы в горном деле и методы моделирования горно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых : Сборник материалов всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Кемерово, 17–19 ноября 2015 года / Тайлаков О.В. (отв. редактор). – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2015. – С. 42.

117. Турбор, И. А. Обоснование и разработка схемы передвижки секций механизированной крепи в условиях отработки пластов с неустойчивыми

кровлями / И. А. Турбор, Ю. В. Турук, Д. Н. Шурыгин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № S3. – С. 3-11. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-3-3-11.

118. 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(49). – С. 56-64.

119. 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.

120. Пат. РФ RU160742U1, МПК E 21D/00 (2006/01). Крепь для отработки мощных крутых пластов угля подэтажной выемкой / В. И. Клишин, Д. И. Кокоулин. Оpubл. 20.03.2016, бюл. № 8. заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук.

121. Клишин, В.И. Обоснование технологий разработки мощных пологих и крутых угольных пластов с выпуском угля. – ГИАБ. – Отд. вып. № 6. – 2013. – С. 36–47.

122. Клишин, В.И. Разработка и обоснование параметров многофункциональной шагающей крепи / В.И. Клишин, Ю.В. Малахов – Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал / Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – № 5. – С. 125-131.

123. Klishin, V.I. Development and substantiation of parameters of multifunctional mobile roof support / V. I. Klishin and Yu. V. Malakhov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 377 (2019) 012015 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/377/1/012015 – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/377/1/012015>.

124. Клишин, В.И. Разработка технических требований к механизированной шагающей крепи в составе горно-проходческого комплекса /

В.И. Клишин, Ю.В. Малахов, С.М. Никитенко, Б.А.Анферов // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал/ Новокузнецк: СибГИУ, 2020. – № 6. – С.125-131.

125. Патент № 2724816 Российская Федерация, МПК E21D 11/00, E21D 19/04, E21C 41/16 ,E21D 23/00. Способ проведения подготовительной горной выработки и механизированная крепь для его осуществления / В. И. Клишин, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова, С.М. Никитенко, Ю.В. Малахов, С.И. Мефодьев; ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН. – № 2019135575, заявл. 05.11.2019; зарегистрир. 25.06.2020. – Бюл. № 18. – 2 с. : ил.

126. Патент № 2739010 Российская Федерация, МПК E21C 41/00, E21D 23/00. . Способ проведения подготовительной горной выработки и механизированная крепь для его осуществления / В. И. Клишин, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова, С.М. Никитенко, Ю.В. Малахов, С.И. Мефодьев, И.А. Шундулиди; ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН. – № 2020113988, заявл. 03.04.2020; зарегистрир. 21.12.2020. – Бюл. № 36. – 2 с. : ил.

127. Патент на ПМ № 193398 Российская Федерация, МПК E21D 23/00. Секция крепи механизированная шагающая / В. И. Клишин, Ю. В. Малахов, М. С. Никитенко, С. А. Кизилов; ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН. – № 2019114283; заявл. 07.05.2019; зарегистрир. 28.10.2019, Бюл. № 31. – 2 с. : ил.

128. Патент на ПМ № 196496 Российская Федерация, МПК E21D 23/04 . Секция крепи для отработки мощных крутых угольных пластов / В. И. Клишин, Ю. В. Малахов, М. С. Никитенко, С. М. Никитенко С. А. Кизилов; ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН. – № 2019121420, заявл. 05.07.2019; зарегистрир. 03.03.2020. – Бюл. № 7. – 2 с. : ил.

129. Дударева, Н.Ю. SolidWorks 2009 на примерах / Н.Ю. Дударева, С. А.Загайко. – СПб.: БХВ–Петтебург, 2009.

130. Алямовский, А.А. SolidWorks / CosmosWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004.

131. Прерис, А.М. SolidWorks 2005/2006: Учебный курс. – СПб.: Питер 2006.
132. Галлагер, Г. Метод конечных элементов. – М.: Мир, 1980.
133. Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л. Метод конечных элементов и САПР. – М.: Мир, 1989.
134. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. – М.: Мир, 1989.
135. Писаренко, Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1988.
136. ГОСТ 31561-2012 Крепи механизированные для лав. Основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. – 32 с.
137. Никитенко, М.С. Роботизированный комплекс по отработке мощных крутонаклонных пластов угля и рудных месторождений / М.С. Никитенко, Ю.В. Малахов, С.М. Никитенко // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал / Новокузнецк: СибГИУ, 2017. – №3. – С. 249-251.
138. Robotic complex for the development of thick steeply-inclined coal seams and ore deposits / M. S. Nikitenko, Yu. V. Malakhov, B. Neogi, P. Chakraborty, D Banerjee // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – №84. – 012002. – <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/84/1/012002>
139. Патент № 2471990 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/18. Способ разработки пологих и наклонных угольных пластов средней мощности: № 2011131404/03 : заявл. 26.07.2011 : опубл. 10.01.2013 / В. И. Клишин, Д. И. Кокоулин, А. М. Никольский, А. М. Федорин ; заявитель Учреждение Российской академии наук Институт горного дела Сибирского отделения РАН, Учреждение Российской академии наук Институт угля Сибирского отделения РАН

140. Клишин, В.И. Метод направленного гидроразрыва труднообрушающихся кровель для управления горным давлением в угольных шахтах / В.И. Клишин, А.М. Никольский, Г.Ю. Опрук, А.А. Неверов, С.А. Неверов // Уголь. – 2008. – № 11 (991). – С. 12-17.

141. Филатов, А.П. Обоснование технологических схем и средств механизации подземной отработки погребенных алмазосодержащих россыпей / А.П. Филатов, В.И. Клишин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S16. – С. 295-306.

142. Клишин, В.И. Экологические аспекты прогрессивных технологий отработки мощных угольных пластов с выпуском подкровельной толщи / В.И. Клишин, С.М. Никитенко, Е.С. Пфаргер // Экология и безопасность техносфере: современные проблемы и пути решения : Сборник трудов / ЮТИ ТПУ. 2017. – С. 217–220.

143. Кизилев, С. А. Геотехнологические особенности подземной отработки трудноизвлекаемых запасов полезных ископаемых роботизированными комплексами / С. А. Кизилев, Ю. В. Малахов, М. К. Королев // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 06–10 апреля 2020 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2020. – С. 453-455.

144. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661322. Моделирование процесса управляемого площадочного выпуска угля из мощных крутых пластов в системах подэтажного обрушения / С.В. Клишин, В.И. Клишин, Ю.В. Малахов, Г.Ю. Опрук. – Бюл. № 9. – 2019.

145. Нецветаев, А.Г. Развитие технологии безлюдной угледобычи с применением комплексов КГРП / А.Г. Нецветаев, А.А. Григорян, Д.И. Пружина // Горная промышленность. – 2015. – № 4 (122). – С. 87-91.

146. Оборудование и технология для безлюдной добычи угля из-под бортов открытых разработок / А. Г. Нецветаев, А.А. Григорян, Д. И. Пружина

// Уголь. – 2015. – № 10(1075). – С. 36-40. – DOI: 10.18796/0041-5790-2015-10-36-40.

147. Комплексы глубокой разработки пластов: обзор применения и изучения их технического состояния/ Б.Л. Герике, Ю.В Дрозденко, Д.В. Копытин // Техника и технология горного дела. – 2020. – №3. – С. 58-78. – DOI: 10.26730/2618-7434-2020-3-58-78.

148. Ярош, А.С. Обоснование разработки мобильного многофункционального горноспасательного комплекса, с элементами роботизации, для ликвидации последствий аварий в горных выработках шахт и рудников / А. С. Ярош, В. И. Бунин, Ю. В. Малахов, В. Б. Попов, А. С. Голик, А. А. Черепов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Выпуск 3. –2017. – Кемерово. – ISSN 2072-6554. – С. 46-51.

149. Турук, Ю. В. Методы определения силовых и конструктивных параметров механизированных крепей струговых комплексов : специальность 05.05.06 «Горные машины» : дисс. ... д-ра техн. наук / Турук Юрий Владимирович. – Новочеркасск, 2014. –178 с.

150. Клишин, В. И. Организационные аспекты скоростной проходки подземных горных выработок с использованием механизированной шагающей крепи / В. И. Клишин, Ю. В. Малахов // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 4(156). – С. 9-15. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-4-9-15.

151. Малахов Ю.В., Кизилев С.А. Роботизированные модули для проходки горных выработок и отработки трудноизвлекаемых запасов угля / Ю.В.Малахов, С.А. Кизилев // V научно-практическая конф. ПМХ: сб. статей. – 2020. – С. 129-134.

152. Булычев, Н. С. Проектирование и расчет крепи капитальных выработок / Н. С. Булычев, Н. Н.Фотиева, Е. В. Стрельцов. — М.: Недра, 1986. – 288 с.

153. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб: Науч.-исслед. ин-т горн, геомех. и маркшейд. дела, 1991. — 125 с.

154. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах»: утверждена приказом № 448 Ростехнадзора 19 ноября 2020 г.

155. Цимбаревич, П.Н. Механика горных пород / П.Н. Цимбаревич — М.: Углетехиздат, 1948. — 184 с.

156. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. — СПб, 1993. — 147 с. (М-во топлива и энергетики РФ. Науч.-исслед. ин-т горн, геомех. и маркшейд. дела).

157. Классификация горных пород по крепости f (шкала проф. М. М. Протодьяконова). <https://rosmining.ru/wp-content/uploads/2014/11/Классификация-горных-пород-по-Протодьяконову.pdf> [электронный ресурс] (дата обращения 19.08.2021).

158. Коваль, П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин: Учебник для студентов вузов по специальности «Горные машины и комплексы» — М.: Машиностроение. 1979. — 319с, ил.

159. ГОСТ 6540-68 Гидроцилиндры и пневмоцилиндры. Ряды основных параметров. М.: Издательство стандартов, 1991. — 6 с.

160. Обоснование и выбор схемных решений комплекса для проведения выработок малого сечения в условиях угольных шахт: специальность 05.05.06 «Горные машины» : дисс. ... канд. техн. наук / Уразбахтин Рустам Юсуфович; Санкт-Петербургский горный университет. — Санкт-Петербург. — 2019. — 43 с..

161. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: Справочник.-3-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1995. — 448с, :ил.

162. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615981. Программа управления роботизированной шагающей

крепью / Ю. В. Малахов, С.А. Кизилов, М.С., Никитенко М.С. – Бюл. № 4. – 2021.

163. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611584. Программа управления и индикации данных экспериментальной эксплуатации прототипов роботизированных элементов подземного горно-шахтного оборудования / С. М. Никитенко, М. С. Никитенко, С. А. Кизилов, Д. М. Корец, Д. Ю. Худоногов. Бюл. № 2. – 2022.

164. Разработка имитационной модели шагающей крепи с интеграцией алгоритмов управления для визуализации технологических процессов / М. С. Никитенко, С. С. Журавлев, Ю. В. Малахов, Н. В. Абабков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 1(131). – С. 49-59. – DOI: 10.26730/1999-4125-2019-1-49-58.

165. Журавлев, С.С. Модельно-ориентированное проектирование алгоритма управления шагающей крепи при интеграции концепции мобильного места оператора / С.С. Журавлев, С.Р. Шакиров, Ю.В. Малахов, М.С.Никитенко // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности: труды конференции. – 2019. – С. 415-420.

166. Журавлев, С.С. Моделирование комплекса «Технологическое оборудование и система управления» шагающей крепи для решения задачи отладки и тестирования алгоритмов управления / С.С. Журавлев, С.Р. Шакиров, Ю.В. Малахов, М.С.Никитенко // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – № 5. – С. 250-252.

167. Zhuravlev, S. S. Modeling of the complex “Technological equipment and Control system” for debugging and testing control algorithms of the walking support / S. S. Zhuravlev, M. S. Nikitenko, Yu. V. Malakhov and S. R. Shakirov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 377 (2019) 012015 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/377/1/012015 – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/377/1/012031>.

168. Yasitli N. E. and Unver B. 3D numerical modelling of stresses around a longwall panel with top coal caving, J. S. Afr. Inst. Min. Metall. – 2005. – Vol. 105. – P. 287-300.

169. Серяков, В. М. О методе расчета напряженного состояния горных пород с учетом особенностей их контактного взаимодействия с крепью выработок // ФТПРПИ. – 2016. – № 5. – С. 23-29.

170. Миренков, В. Е. Взаимодействие вмещающих пород и крепи при ведении очистных работ // ФТПРПИ. – 2017. – № 5. – С. 15-22.

171. Mustafa E. Yetkin, Ahmet T. Arslan, M. Kemal Özfirat, Bayram Kahraman, and Hayati Yenice. Numerical modelling of stress–strain analysis in underground thick coal mining // Int. J. Eng. Res. Technol. – 2018. – Vol. 7. – Issue 04. – P. 199-204.

172. Безухов, Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высш. шк., 1968. – 512 с.

173. Проскуряков, Н. М. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 1991. – 368 с.

174. Фадеев, А. В. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

175. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020618595. Программный комплекс для моделирования геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве при взаимном влиянии системы подземных горных выработок / В. Н. Фрянов, Л. Д. Павлова, А. Б. Цветков; ФГБОУ ВО Сиб. гос. индустр. ун-т. – Фед. служба по интелект. собств.; Дата регистр. 30 июля 2020 г.

176. Абдугалиева, Г.Б. Совершенствование методических подходов к расчёту нагруженности крепей / Г.Б. Абдугалиева, К.М. Бейсембаев, С.С. Жетесов, Г.С. Жолдыбаева, М.М. Исаков, Н.С. Малыбаев, А.Н. Шманёв // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №7. – С. 5-11.

177. Коровкин, Ю. А. Теория и практика длиннолавных систем / Ю. А. Коровкин, П. Ф. Савченко. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. – 808 с.
178. Эксплуатация механизированных крепей и пути их совершенствования / под ред. С. Т. Кузнецова. – М.: Недра, 1976. – 188 с.
179. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 216 с.
180. Юнкер, М. Контроль кровли в пластовых выработках / Пер. с нем. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2015. – 680 с.
181. Основы горного дела / П. В. Егоров [и др.]. – М.: МГГИ, 2002. – 405 с.
182. Скукин, В. А. Экономика горного производства и менеджмент: учеб. пособие / В. А. Скукин, А. Н. Супруненко, Л. С. Скрынник. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2007. – 478 с.
183. Единые нормы выработки (времени) для шахт Кузнецкого бассейна / Минуглепром СССР. – М., 1981. – 556 с.
184. Укрупненные нормативы времени на горнопроходческие и нарезные горные работы шахт и рудников горнодобывающей промышленности и в геологоразведке / Министерство труда Российской Федерации. Центральное бюро нормативов по труду. – Москва, 1992. – 197 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

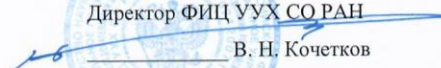
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт экспериментальных исследований по определению времени рабочего цикла передвижки секций на масштабном экспериментальном макете многофункциональной механизированной шагающей крепи в условиях ФИЦ УУХ СО РАН

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФИЦ УУХ СО РАН)

ОКПО 16355633 ОГРН 1024200718739 ИНН/КПП 4207002065/420501001
Юр. Адрес: просп. Советский, д. 18, г. Кемерово, 650000
Тел./факс (384-2) 36-34-62 E-mail: centr@coal.sbras.ru http://www.coal.sbras.ru

УТВЕРДАЮ
Директор ФИЦ УУХ СО РАН

В. Н. Кочетков
« » 2022г.

АКТ

экспериментальных исследований по определению времени рабочего цикла
передвижки секций на масштабном экспериментальном макете
многофункциональной механизированной шагающей крепи
в условиях ФИЦ УУХ СО РАН

г. Кемерово

«14» февраля 2022 г.

Очной комиссией в составе:

председатель

зав. лабораторией ЛУМ Института угля ФИЦ УУХ СО РАН,
д.т.н.

Клишин В. И.

члены комиссии

главный научный сотрудник, д.т.н.

Герике Б. Л.

зав. лабораторией ПМУ ГС Института угля ФИЦ УУХ СО
РАН, к.т.н.

Никитенко М. С.

ведущий инженер ЛУМ Института угля ФИЦ УУХ СО РАН

Малахов Ю. В.

проведены испытания экспериментального макета многофункциональной
механизированной шагающей крепи (ММШК).

1. Объект испытаний

Объектом испытаний являлся экспериментальный макет ММШК выполненный в
масштабе 1:4.

Предметом испытаний является функция передвижки ММШК, в частности время
рабочего цикла передвижки секций экспериментального макета ММШК в масштабе.

Цель испытаний – апробация функции передвижки секций ММШК, определение
времени рабочего цикла передвижки секций на экспериментальном макете ММШК в
масштабе.

2. Место, сроки испытаний

Испытания проведены 14.02.2022 года на базе ФИЦ УУХ СО РАН, гор. Кемерово, пр. Ленинградский, 10 (помещение энерготехблок).

3. Краткое описание, назначение функции передвижки

Цикл передвижки шагающей крепи ММШК состоит из поочередной передвижки секций крепи путем выполнения последовательных операций движения гидравлических стоек и гидродомкратов передвижки на секциях крепи. Рабочий цикл передвижки обеспечивает передвижку секций крепи на установленный шаг передвижки, время выполнения полного рабочего цикла передвижки секций ММШК определяет скорость передвижки ММШК.

От объекта испытаний для обеспечения исследуемой функции требуется выполнения рабочего цикла передвижки в следующей последовательности: складывание (осадка) гидростоек отстающей секции; выдвигка гидродомкрата передвижки, выдвигание отстающей секции; выдвигка (распор) гидростоек отстающей секции; складывание (осадка) гидростоек передовой секции; складывание гидродомкрата передвижки, подтягивание передовой секции; выдвигка (распор) гидростоек передовой секции.

4. Краткое описание процесса испытаний

Ход штока гидроцилиндра передвижки (шаг передвижки) 250 мм и ход штока гидростойки 100 мм заданы конструкцией макета ММШК.

Испытания заключались в определении времени рабочего цикла передвижки секций масштабного макета ММШК с использованием интерфейсного пульта Программы управления и индикации данных экспериментальной эксплуатации прототипов роботизированных элементов подземного горно-шахтного оборудования (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611584) путем последовательного нажатия на клавиши управления, согласно разработанному рабочему циклу передвижки секций ММШК.

Для экспериментальных исследований использовались средства измерения - рулетка измерительная металлическая по ГОСТ 7502-98 и секундомер механический СОСпр-2Б-2-000 по ТУ 25-1894.003-90.

5. Результаты испытаний

Экспериментально полученные результаты замеров времени рабочего цикла передвижки секций масштабного макета ММШК приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты замера значений времени передвижки секций масштабного макета ММШК

Параметры рабочего цикла	Полученные экспериментально значения
Время передвижки отстающей секции, "осадка-выдвигка-распор", с	3,3
Время передвижки передовой секции, "осадка-передвижка-распор", с	3
Время полного рабочего цикла передвижки секций макета, с	6,3

Скорость передвижки масштабного макета ММШК по результатам экспериментального определения времени передвижки секций составила 4,5 м/мин.

6. Рекомендации по результатам испытаний

Разработать программу автоматического управления циклом передвижки секций ММШК.

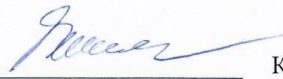
Провести исследования параметров поворота при передвижке секций ММШК за счет раздельной работы гидродомкратов передвижки.

7. Выводы.

Объект испытаний выполняет заданную функцию передвижки корректно и в полном объеме, согласно разработанной последовательностью цикла передвижки секций.

Комиссия считает возможным применение объекта испытаний для оценки характеристик времени и скорости исследуемых вариантов цикла передвижки секций крепи ММШК для различных технологических условий применения.

Председатель комиссии:



Клишин В. И.

Члены комиссии:



Герике Б. Л.



Никитенко М. С.

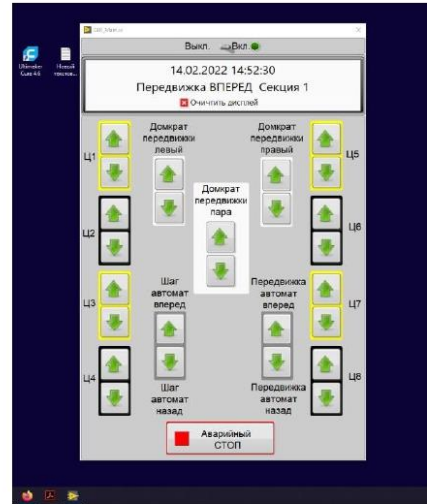


Малахов Ю. В.

Приложение
к Протоколу экспериментальных исследований по определению времени рабочего цикла
передвижки секций на масштабном экспериментальном макете ММШК
от «14» февраля 2022 г.



а



б



в

Проведение экспериментальных исследований, где: а – экспериментальный макет ММШК; б – интерфейсный пульт программы управления;
в – модуль управления электромагнитными клапанами гидроцилиндров макета

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Д.002.02.101.05.10.2018 Документация на проведение и крепление конвейерного штрека 1В с конвейерного ствола («Шахта «Южная» АО «СДС-Уголь»)

