Tolland

## Малахов Юрий Валентинович

# ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШАГАЮЩЕЙ КРЕПИ

Специальность: 05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН) и в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Научный руководитель: Клишин Владимир Иванович, доктор технических наук,

профессор, член-корреспондент РАН, директор Институ-

та угля ФИЦ УУХ СО РАН

Официальные оппоненты:

Габов Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», профессор кафедры машиностроения

Кузиев Дильшад Алишерович, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС», доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Защита состоится «09» июня 2022 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Факс (3842) 68-23-23, e-mail: <a href="mailto:haa.omit@kuzstu.ru">haa.omit@kuzstu.ru</a>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте <a href="http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2022/mal/Dissertation.pdf">http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2022/mal/Dissertation.pdf</a>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_ 2022 года.

Ученый секретарь диссертационного совета



Непша Федор Сергеевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 значительный объем и скорости 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, травмаопасны, 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 крутонаклонных 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, Р. 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 устой-

чивости по обрушаемости 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 решений.

**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 мас-

сивом 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 и анализ напряженно-деформированного состояния элементов ММШК.

## Научные положения, выносимые на защиту:

- 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;
- с увеличением коэффициента крепости пород для I и III типов кровли по обрушаемости нагрузка на крепь ММШК уменьшается, при этом в подготовительной выработке размерами  $5.0\times3.5$  м, и глубине 250 м максимальная нагрузка на секцию крепи с тремя опорными балками составляет 240 к $H/m^2$  при неустойчивых кровлях и минимальная 120 к $H/m^2$  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/м² при нагрузке на крепь 1500 кН, и минимального 1920 кН/м² при нагрузке на крепь1000 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 конференции 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.

Автор выражает глубокую благодарность д-ру экон. наук С.М. Никитенко, д-ру техн. наук, проф. В.Н. Фрянову, д-ру техн. наук, проф. Б.Л. Герике, канд. техн. наук М.С. Никитенко за поддержку данного направления работы, ценные научные консультации и практическую помощь при проведении исследований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** даны общая характеристика работы, показана актуальность обоснования параметров ММШК для скоростной проходки подготовительных выработок и отработки трудноизвлекаемых полезных ископаемых, поставлены цель и задачи исследований, сформулированы идея работы, защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен аналитический обзор объемов проведения горных выработок проходческими комбайнами. Установлено, что рост темпов добычи готовых к выемке запасов угля сдерживается из-за недостаточности воспроизводства подготовительных выработок. Технология камерно-столбовой отработки (КСО), несмотря на ряд ее преимуществ, сопровождается высокими уровнями производственной опасности и потерями полезных ископаемых при извлечении, что требует поиска

средств надежного поддержания кровли выработки с неснижаемым (постоянным) распором.

Рассмотрены существующие способы и средства механизации горнопроходческих комплексов для проведения подготовительных выработок и добычных работ КСО. Анализ известных устройств показал, что они не позволяют эффективно реализовывать технологии скоростной проходки подземных выработок и КСО при разработке трудноизвлекаемых угольных пластов.

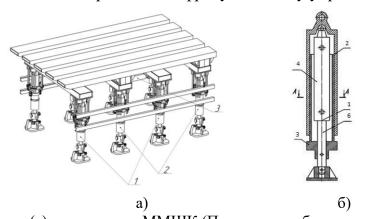
Установлено, что в условиях ухудшения горнотехнических и горногеологических условий отрабатываемых угольных пластов необходимо обеспечить своевременное опережающее поддержание обнаженной кровли и защиту работающего персонала и оборудования в тупиковой зоне подготовительного забоя. В настоящее время нет объективной и однозначной информации о направлениях развития и разработках механизированных средств для реализации технологий скоростной проходки и отработки трудноизвлекаемых угольных пластов в таких условиях.

Предложено одно из перспективных технических решений, обеспечивающих механизированную своевременную опережающую поддержку кровли выработки в подготовительном забое с неснижаемым (постоянным) распором секций в процессе передвижки — ММШК. Внедрение подобных устройств позволит повысить темпы проходки, что на сегодняшний день является важной и актуальной задачей.

В конце первой главы сформулированы цель и задачи исследований.

**Во второй главе** приведено обоснование требований и схемных решений к ММШК, которая должна:

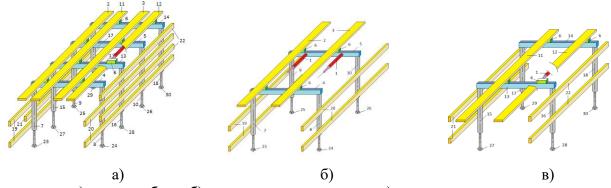
- адаптироваться для технологий скоростной проходки подготовительных выработок и отработки трудноизвлекаемых полезных ископаемых;
- обеспечивать ограждение и временную защиту рабочего пространства призабойной зоны горной выработки без остановки процесса возведения постоянного крепления за ее пределами с минимальным отставанием;
- обеспечивать механизацию процесса возведения постоянного крепления выработки и возможность технологического совмещения по времени операций по выемке горной массы и анкерному креплению кровли в призабойной зоне, при одновременном их разделении в пространстве;
  - быть пригодной к транспортированию в горных выработках без разборки;
- обеспечивать автономную (в том числе автоматизированную) работу с дальнейшей интеграцией в цифровую систему управления шахтой.



(а) конструкция ММШК (Патент на изобретение № 2739010), (б) конструкция силовой гидростойки секции ММШК (патент на полезную модель № 196496) Рисунок 1 – ММШК для скоростной проходки

Структурная схема ММШК (рис. 1а) независима от использования в технологических схемах отработки, конструкция которой строится на единой платформе, и состоит из передовой секции (1), отстающей секции (2) и домкрата передвижки (3). При разряженной схеме передвижка начинается с отстающей секции (2), при уплотненной – с передовой (1).

Более подробное конструктивное решение ММШК с четырьмя опорными балками представлено на рис. 2а. Крепь состоит из двух секций – передовой (рис. 2б) и отстающей (рис. 2в), соединенных между собой гидродомкратами передвижки (1).

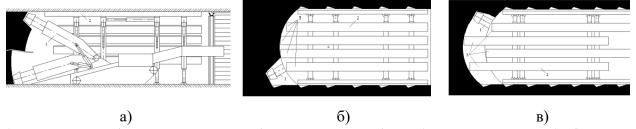


а) крепь в сборе; б) передовая секция крепи; в) отстающая секция крепи Рисунок 2 — ММШК для проходки подземных горных выработок

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 и 10 секции передовой закреплены направляющие 19 и 20, которые образуют с гидравлическими стойками относительно жесткие рамы в плоскости борта выработки. Аналогичным образом гидравлические стойки 15, 16, 17 и 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 и 26 на почву горной выработки. Аналогичным образом гидравлические стойки 15, 16, 17 и 18 секции отстающей опираются опорами 27, 28, 29 и 30.

Процесс передвижки секций ММШК (рис. 2) производится в следующем порядке: снимается распор и производится сокращение гидростоек отстающей секции (рис. 2в), при этом опоры гидростоек отрываются от почвы горной выработки; передвигаемая секция крепи под действием своего веса ложится опорными балками на траверсы распертой передовой секции крепи (рис. 2б); далее отстающая секция (рис. 2в) перемещается при помощи гидродомкрата передвижения на величину установленного шага передвижки; по окончании передвижки производится распор гидростоек между почвой и кровлей выработки; во время передвижки отстающей секции крепи (рис. 2в) вторая передовая секция (рис. 2б) находится в постоянном распоре и поддерживает кровлю горной выработки; далее в аналогичной последовательности производится передвижка передовой секции (рис. 2б); по окончании передвижки производится распор гидростоек между почвой и кровлей выработки и секции ММШК переходят в исходное положение (рис. 2а).

Способ создания своевременной опережающей поддержки кровли в призабойной зоне при помощи опорных балок секций ММШК в процессе проведения подготовительной горной выработки показан на рис. 3.



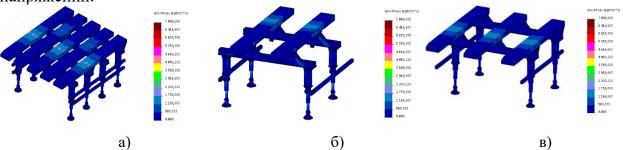
- а) расстановка оборудования в призабойной зоне выработки (продольный разрез); б) полное перекрытие кровли в призабойной зоне (вид в плане); в) опережающее временное перекрытие кровли при передвижке секции крепи (вид в плане)
  - 1 стреловидный исполнительный орган проходческого комбайна; 2 механизированная крепь; 3 опорные балки секций крепи

Рисунок 3 — Способ проведения подготовительной горной выработки с использованием ММШК (Патент на изобретение № 2724816)

Моделирование и расчет напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций перекрытия секций ММШК были проведены с использованием расчетного модуля Simulation специализированного программного комплекса SolidWorks Premium 2016, методом конечных элементов с учётом контакта узлов и деталей секций ММШК.

Для исследования были принята конструкция ММШК, состоящая из секций с перекрытием с двумя и тремя опорными балками. Расчетные схемы моделирования: первая расчетная схема: ММШК в исходном состоянии, поддержка кровли производится всеми опорными балками передовой и отстающей секции одновременно; вторая расчетная схема: ММШК в процессе передвижки отстающей секции с поддержанием кровли передовой секцией с помощью двух опорных балок, передовая секция в распоре; третья расчетная схема: ММШК в процессе передвижки передовой секции с поддержанием кровли отстающей секцией с помощью трех опорных балок, отстающая секция в распоре.

В качестве примера на рис. 4 показаны эпюры распределения эквивалентных напряжений.



а) первая расчетная схема нагружения; б) вторая расчетная схема нагружения; в) третья расчетная схема нагружения Рисунок 4— Эпюры распределения эквивалентных напряжений

Для определения соответствия исследуемых элементов конструкции секций ММШК (опорных балок и траверс) условию прочности был произведен расчет коэффициента запаса прочности (n) по следующей формуле:

$$n = \frac{\sigma_{\rm T}}{\sigma_{\rm 9KB}},\tag{1}$$

где  $\sigma_{\rm T}$  — предел текучести материала, к ${\rm H/m^2}$ ;  $\sigma_{\rm 3KB}$  — расчетные эквивалентные напряжения, к ${\rm H/m^2}$ .

Расчет показал, что исследуемые опорные балки и траверсы секций ММШК удовлетворяют условию прочности для выбранных вариантов нагружения, так как величина коэффициента запаса прочности n > 1,5.

Таким образом, конструкция перекрытия секций ММШК (опорные балки и траверсы) обладает необходимой устойчивостью и прочностью.

Предложен состав технологического оборудования проходческого комплекса для скоростной проходки (рис. 5): проходческий комбайн с режущим органом избирательного действия 1, ММШК 2, буровой станок с анкероустановщиком 3 и транспортное средство 4 (телескопический ленточный конвейер, перегружатель, самоходный вагон). Проходческий комбайн 1 под защитой перекрытия ММШК 2 производит разрушение горного массива. Призабойная часть выработки поддерживается перекрытием секций ММШК 2, создавая временное предохранительное крепление и образуя безопасное рабочее пространство, при этом буровой станок с анкероустановщиком 3 так-же размещен под перекрытием ММШК 2 в стороне пройдённой выработки. Транспортировка отбитой горной массы осуществляется транспортным средством 4, например, телескопическим ленточным конвейером.

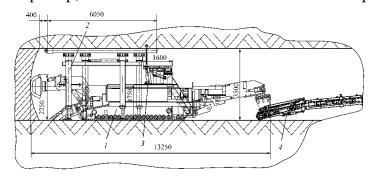


Рисунок 5 — Компоновочное решение проходческого комплекса для скоростной проходки

Проходческий комплекс в данной конфигурации решает задачи по повышению эффективности и увеличению скорости проходки подготовительных выработок путем совмещения операций в проходческом цикле, связанных с работой комбайна и креплением выработки при обеспечении безопасности.

**В третьей главе** представлены результаты теоретических исследований влияния нагрузок, действующих на ММШК со стороны массива пород различной крепости и устойчивости.

По методике Института ВНИМИ (г. Санкт-Петербург) был проведен расчет действующей на ММШК вертикальной и боковой составляющих нагрузки от горного давления. Одним из основных параметров, определяющих значение расчетной нагрузки (P, кПа) на 1 м выработки является величина сопротивления сжатию ( $R_c$ , МПа) слоев пород в массиве, которая в свою очередь, зависит от устойчивости и обрушаемости пород.

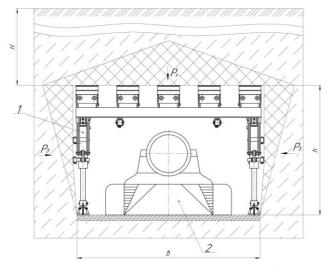
В качестве исходных данных были использованы горно-геологические условия проведения горных выработок по пласту Лутугинский шахты «Южная» АО «СДС-Уголь» (г. Кемерово): форма горной выработки – прямоугольная, высота h=3,5 м, ширина B=5,0 м, площадь поперечного сечения 17,5 м $^2$ ; кровля: породы – алевролит с прослойками песчаника; тип кровли по устойчивости – неустойчивая; средней крепости, коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову для расчета принимаем f=4; уголь средней крепости, коэффициент крепости f=1,0; мощность и высоту горной выработки принимаем 3,5 м; породы почвы – алевролит средней крепости f=4; глубина проведения горной выработки (f) от дневной поверхности 250 м; по обрушаемости принимаем ІІІ тип кровли (однородная и неоднородная кровля, кровля с интенсивной кососекущей трещиноватостью в зонах тектонических пликативных и разрывных

нарушений, кровля с неустойчивыми породами, ( $R_c \le 30$  МПа)); по устойчивости I класс пород кровли (неустойчивая кровля с допускаемым обрушением кровли от забоя

до 1 м; (преимущественно тонкослоистые и трещиноватые глинистые сланцы  $R_c < 30 \text{ M}\Pi a$ ).

Таблица 1 – Результаты расчета нагрузки на MM	ИШК
---	-----

	Расчетные параметры			
Направление горного давления	Сопротивление сжатию слоев пород в массиве, МПа	Смещение пород, мм	Нагрузка горного давления на 1 м выработки, кПа	
Со стороны кровли	$R_{\rm c. kp.} = 24$	$U_{\rm M} = 88$	$P_{\rm \kappa p.} = 165$	
Со стороны боков	$R_{\rm c.6.} = 6$	$U_{\rm M6} = 43.8$	$P_{6} = 87,5$	

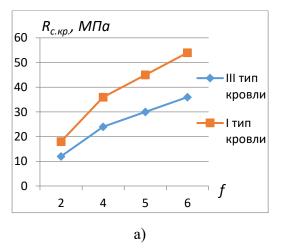


1 – ММШК; 2 – проходческий комбайн Рисунок 6 – Расчётная схема для определения нагрузки на ММШК

По результатам расчета установлено (рис. 6), что в горной выработке возникает нагрузка горного давления на 1 м со стороны кровли на ММШК в размере  $165 \text{ к}\Pi \text{а}$  и со стороны боков  $87,5 \text{ к}\Pi \text{a}$ , что соответствует  $165 \text{ к}H/\text{m}^2$  и  $87,5 \text{ к}H/\text{m}^2$  соответственно (табл. 1).

Установлено, что в пройденной горной выработке расчетное сопротивление сжатию ( $R_c$ , МПа) слоев пород в массиве увеличивается, а нагрузка (P, к $H/м^2$ ) на кровлю и ММШК уменьшается как для I, так и для III типов кровли по обрушаемости (рис. 7). При этом максимальная нагрузка 240 к $H/м^2$  горного давления со стороны кровли

возникает на неустойчивых кровлях с III типом кровли по обрушаемости и уменьшается по мере увеличения коэффициента крепости пород (f).



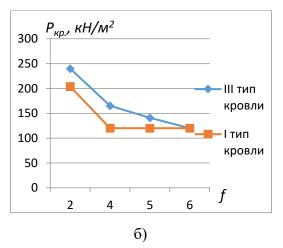
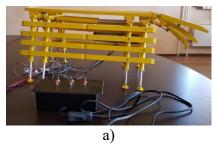
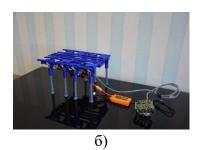


Рисунок 7 — Зависимость расчетного сопротивления сжатию ( $R_{c.кp.}$ ) (a) и расчетной нагрузки ( $P_{кp.}$ ) (б) от коэффициента крепости пород по классификации М. М. Протодьяконова (f)

При исследовании силовых параметров ММШК были использованы ранее полученные результаты при расчете действующих на ММШК вертикальной и боковой составляющих нагрузки от горного давления. Получены конструктивные и скоростные параметры гидроцилиндров гидравлических стоек и гидродомкратов передвижки, определено время рабочего цикла передвижки секций ММШК 2,15 мин и скорость 0,93 м/мин.

Экспериментальные исследования по моделированию процесса передвижки секций способом шагания по разработанному рабочему циклу были проведены с использованием двух моделей ММШК (рис. 8).





а) модель с ручным управлением;

б) модель, воспроизводящая процесс передвижки секций в автоматическом режиме Рисунок 8 – Модели ММШК в масштабе

Результаты моделирования рабочего цикла передвижки ММШК стали основой для разработки алгоритма её автоматизированной работы в составе проходческого комплекса. Экспериментальные исследования процесса передвижки ММШК позволили разработать программу для ЭВМ № 2021615981 «Программа управления роботизированной шагающей крепью».

На основе полученных результатов был разработан и изготовлен экспериментальный макет ММШК для скоростной проходки в масштабе 1:4 (рис. 9) для проведения дальнейших исследований.

На следующем этапе экспериментальных исследований было определено время рабочего цикла передвижки секций экспериментального макета ММШК и проведена верификация методики расчета времени рабочего цикла передвижки секций ММШК с учетом масштаба макета.

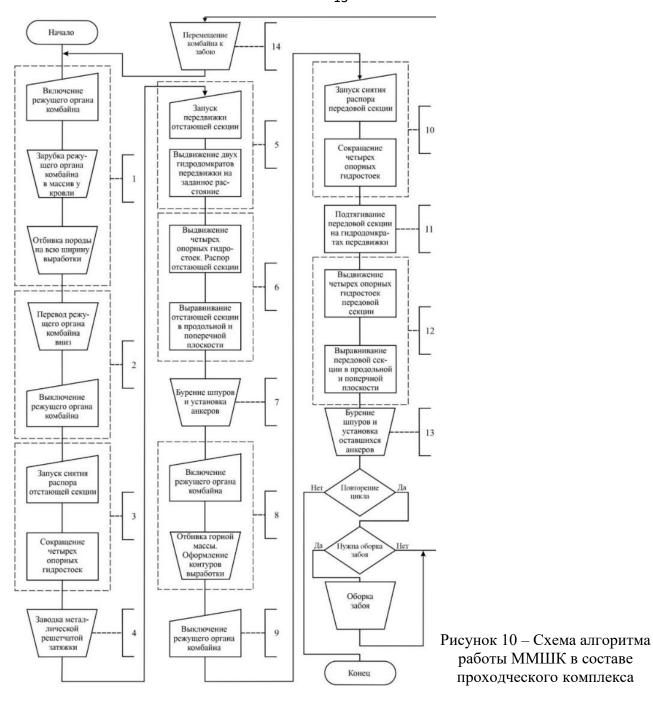
Полученные результаты со средним отклонением между расчетными и экспериментальными значениями времени передвижки составили 14,6%, что является достаточным для инженерного применения при расчете вариантов циклов передвижки ММШК для различных технологических условий применения.

Для реализации автоматизированного управления ММШК в составе проходческого комплекса разработана схема алгоритма работы ММШК (рис. 10), которая отражает один полный рабочий цикл работы ММШК



Рисунок 9 – Экспериментальный макет ММШК для скоростной проходки

при выполнении операций основного проходческого цикла.



Исследования проходческого цикла проведения подготовительных выработок проходческого комплекса с использованием ММШК показали, что использование ММШК позволяет разделить операции основного проходческого цикла в пространстве и частично совместить по времени, что в совокупности увеличивает темп (скорость) проходки по сравнению традиционным способом.

**В четвертой главе** представлены результаты численных исследований взаимодействия с массивом горных пород и моделирования напряженно-деформированного состояния секций ММШК в процессе передвижения по горной выработке.

При исследовании взаимодействия системы «крепь-породы» использовались классические уравнения теории упругости для условий плоской деформации:

уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} - q = 0, \tag{2}$$

дифференциальные уравнения

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x},$$
 (3)

физические уравнения

$$\varepsilon_{x} = \frac{1}{E} [(1 - \mu^{2})\sigma_{x} - \mu(1 + \mu)\sigma_{y}], \quad \varepsilon_{y} = \frac{1}{E} [(1 - \mu^{2})\sigma_{y} - \mu(1 + \mu)\sigma_{x}], \quad \gamma_{xy} = \frac{2(1 + \mu)}{E} \tau_{xy}, \quad (4)$$

где  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{yx}$  — компоненты напряжений;  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ ,  $\gamma_{yx}$  — компоненты деформаций; q — объемный вес пород;  $\mu$  — коэффициент Пуассона; u, v — компоненты смещений; E — модуль упругости.

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

Исследование проводилось с использованием программного комплекса, разработанного в СибГИУ (г. Новокузнецк), с численной реализацией системы разрешающих уравнений методом конечных элементов. 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 ММШК 600-3000 кН/м выработки. Характеристики и свойства угольного пласта средней мощности и боковых пород представлены в таблице 2.

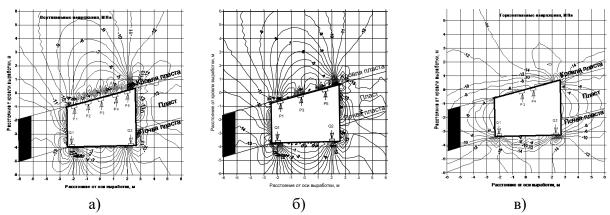
Таблица 2 – Характеристики угольного пласта и вмещающих его пород

таолица 2 – Характо	ристики .	угольного пласта і	ольного пласта и вмещающих его пород		
Литотипы породных слоёв	Мощ-	Расстояние	Предел	Количество	
	ность	почвы слоя от	прочности при	подслоёв в	
	слоя, м	кровли пласта, м	сжатии, МПа	модели, шт.	
Основная кровля,	30,0	2,4	55	7	
мелкозернистый алевролит	30,0	Δ,4	33	1	
Непосредственная	2,0	0,4	30	5	
кровля, аргиллит	2,0	0,4	30	3	
Ложная кровля, аргиллит	0,4	0,0	25	2	
Угольный пласт	3,0	-3,0	10	15	
Ложная почва, аргиллит	0,2	-3,2	20	2	
Непосредственная почва,	3,7	-6,7	35	3	
аргиллит	3,7	-0,/	33	3	
Основная почва, алевролит	28,0	-31,0	50	8	

В процессе исследования выполнено численное моделирование трех вариантов работы крепи ММШК: с полным распором (3000 кН/м длины выработки) всех опорных балок; с частичным распором (1500 кН/м длины выработки) при передвижке секций крепи ММШК с поддержанием кровли с помощью трех опорных балок; с частичным распором (1000 кН/м длины выработки) при передвижке секций крепи с поддержанием кровли с помощью двух центральных опорных балок.

На рис. 11 показана схема поперечного сечения горной выработки и расположения нагрузочных элементов крепи ММШК, создающих давление на кровлю  $(P_1, P_2, \dots P_5)$  и почву  $(Q_1, Q_2)$  выработки, для проведения и поддержания выработки по наклонному пласту средней мощности.

Из анализа результатов численного моделирования (рис. 11) следует, что при полном распоре секций крепи ММШК по сравнению с распором при её передвижке вертикальные смещения пород кровли уменьшаются в 1,3 раза, а горизонтальные в 1,2 раза. Влияние нагруженных опорных балок приводит к уплотнению пород кровли на высоту до 0,5 м. Давление гидростоек на почву по бокам выработки приводит к формированию локальных концентраторов напряжений (зона разрушения до 0,5 м). По итогам моделирования для исключения отжима угля с боков выработки рекомендовано конструкцию крепи ММШК дополнить противоотжимными устройствами.



а) изолинии распределения вертикальных напряжений (МПа) в окрестности выработки с полным распором всех опорных балок; б) изолинии распределения вертикальных напряжений (МПа) в окрестности выработки при передвижке секций крепи ММШК с поддержанием кровли с помощью 3 опорных балок; в) изолинии распределения горизонтальных напряжений (МПа) в окрестности выработки при передвижке секций крепи ММШК с поддержанием кровли с помощью двух центральных опорных балок

Рисунок 11 – Схема поперечного сечения горной выработки

В качестве объединённой характеристики, отражающей податливость и нагрузку на секцию крепи, был использован модуль деформации крепи ( $E_k$ , к $H/M^2$ ) по следующей формуле:

$$E_k = \frac{hP_k}{S\Delta h} \,, \tag{5}$$

где h — высота выработки, м;  $P_k$  — нагрузка на секцию крепи, кH; S — площадь перекрытия механизированной крепи, м<sup>2</sup>;  $\Delta h$  — податливость крепи, м.

Установлено, что в период передвижки секции крепи ее модуль деформации  $(E_k, \kappa H/m^2)$  снижается (табл. 3), максимальная величина конвергенции кровли и почвы 0,168 м достигается для варианта передвижки с распором двух балок.

Таблица 3 – Результаты моделирования и расчёта модуля деформации крепи ММШК

			1 1	
Вариант	Нагрузка	Площадь	Конвергенция	Модуль
<u> </u>	на крепь	несущего	кровли и почвы,	деформации
распора крепи	$P_k$ , кН	перекрытия, м <sup>2</sup>	M	крепи, к $H/M^2$
Полный распор	3000	27,8	0,140	2312
Передвижка секций	1500	14.0	0.150	2012
с распором трёх балок	1500	14,9	0,150	2013
Передвижка секций	1000	0.2	0,168	1920
с распором двух балок	1000	9,3	0,108	1920
Без крепи	0	0	0,220	0

На основании анализа результатов моделирования (табл. 3) 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

Согласно разработанной планограмме, применение ММШК в проходке позволяет переместить из призабойной зоны операции основного проходческого цикла связанные с установкой анкерного крепления и частично совместить их по времени с выемкой горной массы операции, что дает прирост скорости проходки не менее чем 1,8 раза по сравнению с традиционным способом с установкой временной предохранительной крепи.

#### **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 трудно-извлекаемых 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 неснижаемым (постоянным) распором, применение которых позволит обеспечить эффективность и безопасность подземной добычи.
- 2. Обоснована конструкция ММШК, состоящая из двух секций с циклическишагающим способом передвижки, предназначенная для практического применения в различных технологических задачах подземкой 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/м² горного давления со стороны кровли на ММШК возникает на неустойчивых кровлях с ІІІ типом кровли по обрушаемости, а минимальная 120 кН/м² при устойчивых кровлях, при этом с увеличением коэффициента крепости пород для І и ІІІ 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/м² при нагрузки на крепь 1500 кН, и минимального 1920 кН/м² при нагрузке на крепь 1000 кН, при этом максимальная величина конвергенции кровли и почвы выработки не превышает допустимых значений и составит 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.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

## Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

- 1. 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. С. 46-51. ISSN 2072-6554.
- 2. 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.
- 3. 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.
- 4. 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.

## Публикации в изданиях, индексируемых в базах Web Of Science и Scopus:

- 5. 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.
- 6. 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.
- 7. 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). 012031. IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/377/1/012031.
- 8. 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/.

## Результаты интеллектуальной деятельности:

- 9. 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; правообладатель: ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН. № 2019618562 заявл. 11.07.2019; зарегистр. 27.08.2019. Бюл. № 9. 1 с.
- 10. 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; зарегистр. 28.10.2019, Бюл. № 31. 2 с. : ил.
- 11. Патент на ПМ № 196496 Российская Федерация, МПК E21D 23/04 . Секция крепи для отработки мощных крутых угольных пластов / В. И. Клишин, **Ю. В. Мала-хов**, М. С. Никитенко, С. М. Никитенко С. А. Кизилов; ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН. № 2019121420, заявл. 05.07.2019; зарегистр. 03.03.2020. Бюл. № 7. 2 с. : ил.
- 12. 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; зарегистр. 25.06.2020. Бюл. № 18. 2 с. : ил.
- 13. 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; зарегистр. 21.12.2020. Бюл. № 36. 2 с. : ил
- 14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615981. Программа управления роботизированной шагающей крепью / **Ю.В. Малахов**, С.А. Кизилов, М.С. Никитенко; правообладатель: ФГБНУ ФИЦ УУХ

СО РАН. – № 2021614206 заявл. 29.03.2021; зарегистр. 15.04.2021. – Бюл. № 4. –2021. – 1 с.

#### Статьи в прочих изданиях:

- 15. Роботизированный комплекс по отработке мощных крутонаклонных пластов угля и рудных месторождений / М. С. Никитенко, **Ю. В. Малахов**, С. М. Никитенко // Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. СибГИУ. 2017. №3. С. 249-251. ISSN 2311-8342.
- 16. Моделирование комплекса «Технологическое оборудование и система управления» шагающей крепи для решения задачи отладки и тестирования алгоритмов управления / С.С. Журавлев, М.С. Никитенко, **Ю.В. Малахов**, С.Р. Шакиров // Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал. СибГИУ. 2019. № 5. С. 250-252. ISSN 2311-8342.
- 17. 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: сб. тр. конференции, 2019. С. 415-420.
- 18. Разработка и обоснование параметров многофункциональной шагающей крепи / В.И. Клишин, **Ю. В. Малахов** // Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. СибГИУ. 2019. № 5. С. 125-131. ISSN 2311-8342.
- 19. Разработка технических требований к механизированной шагающей крепи в составе горно-проходческого комплекса / В.И. Клишин, **Ю.В. Малахов**, С.М. Никитенко, Б.А. Анферов // Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : СибГИУ. 2020. №5. С.125-131. ISSN 2311-8342.
- 20. Кизилов, С. А. Геотехнологические особенности подземной отработки трудноизвлекаемых запасов полезных ископаемых роботизированными комплексами / С. А. Кизилов, **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.
- 21. Роботизированные модули для проходки горных выработок и отработки трудноизвлекаемых запасов угля / **Ю.В. Малахов**, С.А. Кизилов // V научнопрактическая конференция ПМХ : сб. тр. конф., 2020. С. 129-134.

**Личный вклад** автора в работах, выполненных в соавторстве, заключается в следующем:

- [5, 6, 7, 11, 12, 19, 20, 21] выполнение основного объема исследований, обработка полученных результатов, формулировка выводов;
  - [1, 2, 3, 9, 13, 14] постановка задач, формулировка выводов;
  - [4, 15, 18] обработка статистической информации, формулировка выводов;
  - [8, 10, 16, 17] проведение экспериментов, обработка результатов.

\_\_\_\_\_

Подписано к печати \_\_.\_\_2022г. Усл. печ. л. 1,00. Бумага офсетная. Печать офсетная. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_. КузГТУ. 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Отпечатано в издательском центре УИП КузГТУ. 650000, г. Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А