

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 004.942; 622.3

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ СКОРОСТНОЙ ПРОХОДКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В. И. Клишин^{1,2}, А. Н. Стародубов^{1,2}, В. В. Зиновьев^{1,2}, А. Д. Тургенев²

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,

E-mail: a.n.starodubov@gmail.com, Ленинградский проспект, 10, 650065, г. Кемерово, Россия

²Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева,
ул. Весенняя, 28, 650000, г. Кемерово, Россия

Рассмотрена проблема несоответствия темпов проходческих работ возможностям современных механизированных комплексов, обладающих высокими скоростями отработки. Технология скоростной проходки на основе роботизированного шагающего модуля обеспечивает значительное ускорение ведения горных работ и не имеет аналогов. Задача определения режимов работы модуля, их проверка и наглядное отображение решена на основе связки имитационного моделирования и результатов компьютерной анимации. С использованием специализированного программного обеспечения GPSS Studio и Proof Animation разработаны модели, позволяющие в интерактивном режиме проводить исследования взаимной работы проходческого оборудования и шагающей крепи. В экспериментах определено время проходческого цикла.

Имитационное моделирование, компьютерная анимация, технология скоростной проходки, горные выработки

DOI: 10.15372/FTPRPI20220306

Российская Федерация занимает шестую позицию в мире по добыче угля, причем наблюдается стабильный рост объемов добытого угля. По имеющимся прогнозам, такая динамика продолжится в ближайшем будущем [1]. При проведении подземных горных работ во времени и ограниченном пространстве взаимодействует большое количество элементов технологии. Для проведения добычи угля подземным способом для получения максимальной производительности нужно решить ряд задач по согласованию параметров оборудования, времени выполнения операций и др. Методы имитационного моделирования позволяют создавать компьютерные модели реальных систем и на их основе с достаточной точностью и высокой скоростью решать указанные задачи. В качестве эффективного программного средства, реализующего такие возможности, широко используется язык моделирования GPSS. Этот язык имитационного моделирования для исследования горнопроходческих работ применен в [2 – 5].

Разработка цифровых моделей и проведение исследований зачастую невозможны для проектировщиков и в большей степени для технологов горных предприятий. Это обусловлено отсутствием соответствующих навыков и знания алгоритмических языков, без которых нереально отобразить технологические параметры объекта моделирования в код специализированного программного продукта, равно как и интерпретировать результаты моделирования в терминах технологии. Существует и обратная проблема: специалист по имитационному моделированию не погружен в предметную область в достаточной степени, чтобы создать адекватное решение. В результате возникают множественные итерации и корректировки созданной модели. Таким образом, имеется проблема в использовании преимуществ цифровых технологий для горных инженеров-технологов при проектировании новых и модернизации существующих производств.

Актуальной является разработка программного обеспечения, позволяющего отображать процесс имитации в виде управляемой анимации. При использовании таких систем пользователю не нужно самостоятельно разрабатывать математические модели, достаточно ввести требуемые показатели технологии, запустить процесс моделирования и проанализировать результат внесенных в технологический процесс корректировок на его визуализации (рис. 1).



Рис. 1. Моделирование с использованием анимации

Применение компьютерной анимации позволяет воспроизводить динамику горных работ на экране компьютера и оценить адекватность компьютерной модели по визуальному отображению. Кроме этого, анимация дает возможность относительно просто определять и исправлять ошибки на этапе отладки, изменять масштаб времени и изображения, что значительно облегчает анализ ситуаций и выработку рекомендаций по изменениям [6–8].

Основные преимущества компьютерной анимации, в том числе для отображения горных работ:

- с помощью анимации можно проводить верификацию модели, т. е. определять трудноуловимые ошибки, которые сложно выявить на чертежах, но они становятся явными при визуализации модели в динамике;
- анимация наглядно показывает корректность отображения моделью технологического процесса, что упрощает передачу модели в эксплуатацию;
- процесс имитации и анализа горных работ с использованием анимации более понятен и доступен для непрограммирующего проектировщика.
- вывод результатов.

Использование анимации в процессе исследования на моделях хорошо подходит для представления статистических данных моделируемой системы в графическом и числовом формате с возможностью динамической корректировки. Появляется возможность оценить время выполнения каждой операции в отдельности, производительность и массу добытого угля в нужный период.

Для решения актуальных задач по анимационному отображению горных работ использован программный продукт Proof Animation, с помощью которого построена анимационная модель, связанная с имитационной моделью, разработанной в GPSS Studio.

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Существует отставание темпов проведения подготовительных и вспомогательных подземных выработок. Решением проблемы несоответствия скоростей является разработка и внедрение технологических схем скоростного проведения подземных горных выработок с комплексной механизацией процессов проходческого цикла [9]. Предложены различные технические решения, направленные на увеличение темпов проходки подготовительных выработок, включая технологические схемы проходки с применением поэтапного анкерного крепления выработки [10 – 12]. Одним из путей повышения эффективности функционирования проходческого комплекса, увеличения скорости проведения подготовительных и вспомогательных горных выработок при обеспечении безопасности горных работ стала предложенная ФИЦ УУХ СО РАН шагающая механизированная крепь и способ проведения подготовительных выработок [13, 14].

Объект моделирования — технология скоростной проходки горных выработок на основе разрабатываемой в Институте угля шагающей крепи (рис. 2).

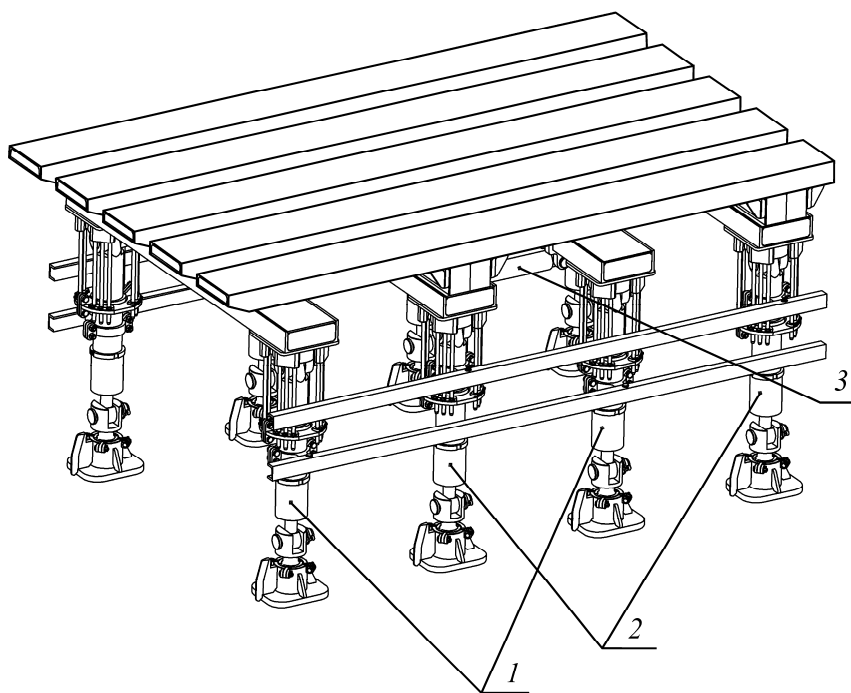


Рис. 2. Структурная схема шагающей крепи: 1 — передовая секция; 2 — отставная секция; 3 — домкрат передвигающий

Способ проведения подготовительной горной выработки включает следующие процессы: разрушение горной породы; оформление контура выработки и погрузку отбитой горной массы комбайном; анкерное крепление кровли с использованием металлической решетчатой затяжки; транспорт горной массы и надежное крепление кровли и бортов выработки роботизированным

шагающим модулем. Особенность способа состоит в том, что в каждом цикле работы комбайна сначала отбивают горную породу в зоне опережающего временного крепления, туда же секцией механизированной крепи доставляют временную крепь, этой же секцией временную крепь поднимают к кровле выработки и поддерживают, затем продолжают отбойку, ее погрузку в транспортное средство, оформление контура, зачистку выработки и возведение постоянной крепи.

Механизированная крепь для осуществления данного способа имеет две секции (передовую и отстающую), соединенные между собой гидродомкратами передвижки, каждая из которых содержит траверсы с опорными балками и распорные гидростойки с направляющими. Поршневые полости распорных гидростоек снабжены гидрозамками, а каждая опорная балка связана с траверсой через проставку. Секции опираются через гидростойки и опоры на почву выработки. Движение крепи производится методом шагания в следующей последовательности: передвижка передовой секции на шаг передвижки, затем передвижка отстающей секции на шаг передвижки, далее цикл передвижки повторяется [15]. Схема последовательности операций представлена на рис. 3.

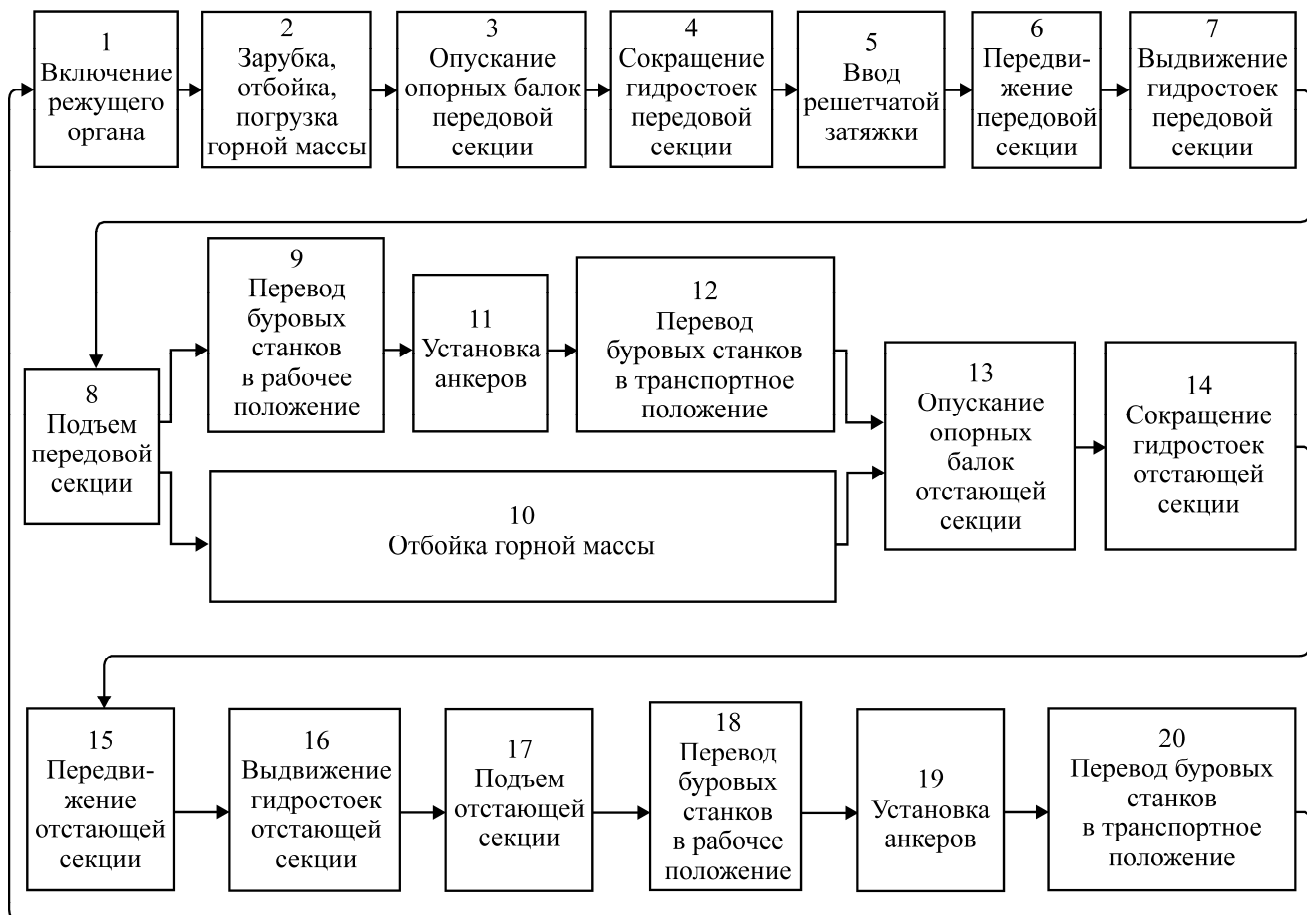


Рис. 3. Схема последовательности операций

Состав технологического оборудования комплекса показан на рис. 4: проходческий комбайн с режущим органом избирательного действия, механизированная шагающая крепь, буровой станок с анкероустановщиком, транспортное средство (телескопический ленточный конвейер, перегружатель, самоходный вагон).

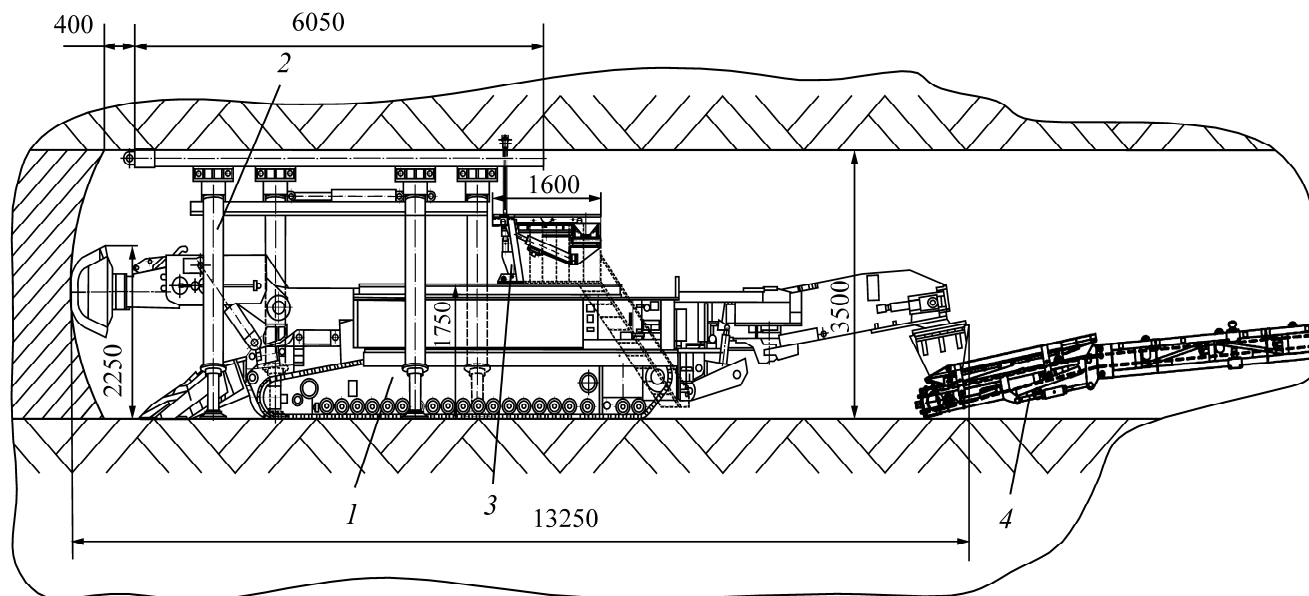


Рис. 4. Проходческий комплекс для скоростной проходки: 1 — проходческий комбайн; 2 — механизированная шагающая крепь; 3 — буровой станок с анкероустановщиком; 4 — перегружатель

Исходная расстановка механизированного оборудования проходческого комплекса в забое следующая:

- проходческий комбайн располагается под защитой перекрытия механизированной шагающей крепи, придвинут к забою выработки;
- механизированная шагающая крепь расперта между почвой и кровлей выработки, при этом отстающая секция установлена со смещением от передовой не менее чем на шаг передвижки, отставание от забоя не более 400 мм;
- буровой станок с анкероустановщиком установлен на последней от забоя траверсе отстающей секции крепи и находится в транспортном положении (ориентирован параллельно траверсе);
- транспортное средство готово к приему отбитой горной массы для транспортирования.

ПОСТРОЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В PROOF ANIMATION

Для создания статических объектов в Proof Animation изображены: горная выработка, угольный массив, установленные анкеры и металлическая решетчатая затяжка, надписи и сообщения о времени каждой операции и массе добытого угля, а также элементы графика (рис. 5).

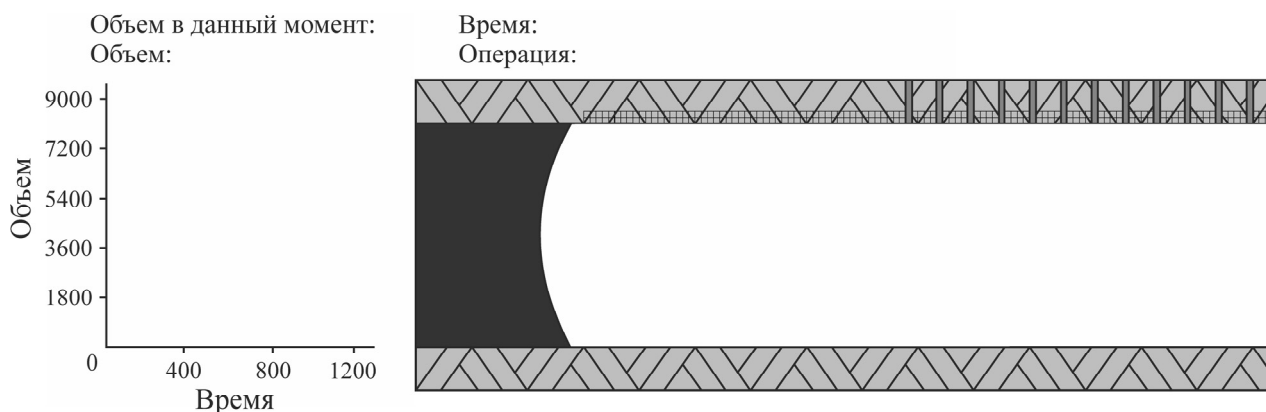


Рис. 5. Статические элементы анимационной модели технологии

Для формирования динамических объектов в режиме Class Mode созданы следующие классы модели:

- проходческий комбайн и транспортное средство для отбитой горной массы (рис. 6);
- режущий исполнительный орган комбайна;
- передовая и отстающая секции крепи, а также элементы соединения и гидростойки;
- буровой станок с анкероустановщиком и отдельным классом “анкер”;
- металлическая решетчатая затяжка;
- угольный массив, разделенный на слои;
- отбитая горная масса;
- комплект сообщений, показывающих название текущей операции.

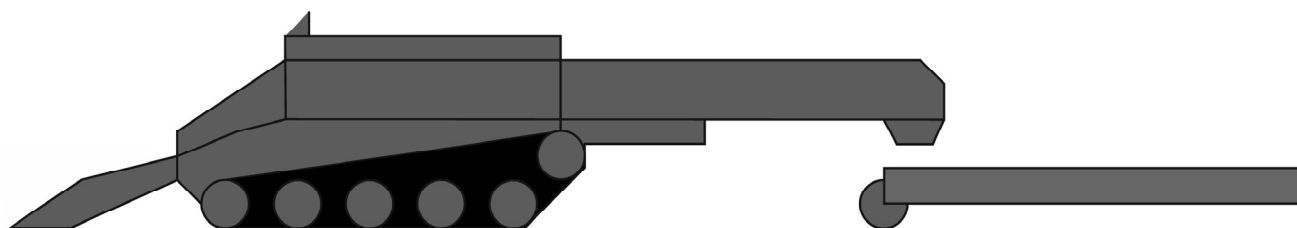


Рис. 6. Класс анимационной модели, моделирующий проходческий комбайн и конвейер

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ СРЕДСТВАМИ GPSS STUDIO И PROOF ANIMATION

Для управления компьютерной анимацией и возможности проведения экспериментов при различных входных данных разработана имитационная модель технологии в специализированной среде GPSS Studio. Входные параметры заданы в виде переменных, например время включения режущего органа; время зарубки, отбойки горной массы; время опускания опорных балок передовой секции; время сокращения гидростоек передовой секции; время ввода решетчатой затяжки и т. д. Для определения массы добытого угля рассчитывается его объем и затем умножается на насыпную плотность, равную 800 кг/м³.

Так как в проходческом цикле добыча угля разделена на две части: первая — зарубка, отбойка верхнего слоя угольного массива, вторая — отбойка оставшейся части массива, то использованы две формулы:

для определения массы добытого угля после зарубки —

$$d_1 = l_1 h_{o1} g_1 \cdot 800,$$

для определения массы оставшейся части добытого угля —

$$d_2 = (hz_1 - h_{o1}) l_1 g_1 \cdot 800,$$

где l_1 , hz_1 — ширина и высота выработки; h_{o1} , g_1 — высота и глубина зарубки.

В модель введены все указанные ранее операции проходческого цикла, а также блоки вывода на экран данных о времени и наименовании выполняемых операций и для построения графика, отображающего динамику объема добытого угля.

После введения данных в модель и запуска процесса моделирования происходит расчет и генерация файла управления анимацией *.atf, при запуске которого пользователь получает управляемую анимацию. При изменении входных данных происходит перерасчет и перестройка анимационной модели. На основе данных расчета цикла передвижки шагающей крепи [16] показано, что для рассматриваемой технологии время проходческого цикла составляет 920 с. Объем отбитой горной массы 9464 кг. На рис. 7 приведены результаты моделирования.



Рис. 7. Фрагмент анимации технологии скоростной проходки горных выработок

ВЫВОДЫ

Разработана анимационная модель, отображающая технологию скоростной проходки горных выработок, соединенная с созданной имитационной моделью, которая позволяет:

- воспроизвести динамику горных работ на экране компьютера;
- оценить адекватность модели технологии и слабые места в ней по ее визуализации;
- определить и исправить ошибки на этапе отладки;
- изменяя масштаб времени и изображения, проанализировать и спрогнозировать внештатные ситуации;
- оценить альтернативные технико-организационные варианты технологии.

Исследования на моделях показало, что для технологии скоростной проходки на основе роботизированного шагающего модуля время проходческого цикла составит 920 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петренко И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. — 2022. — № 3. — С. 9–23.
2. Томашевский В. Н., Жданова Е. Г. Имитационное моделирование в среде GPSS. — М.: Бестселлер, 2003. — 412 с.
3. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. — СПб.: Питер, 2004. — 848 с.
4. Стародубов А. Н., Зиновьев В. В., Береснев М. В. Система имитационного моделирования горно-проходческих работ // Уголь. — 2016. — № 2. — С. 20–24.
5. Девятков В. В., Габалин А. В. Имитационное исследование бизнес-процессов с очередями с помощью среды моделирования GPSS Studio // Открытое образование. — 2020. — Т. 24. — № 3. — С. 67–77.
6. Капутин Ю. Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). — СПб.: Недра, 2004. — 424 с.
7. John R. Sturgul. Mine design: examples using simulation, SME, 2000. — 380 p.
8. Кузнецов И. С., Крамаренко В. А. Анимационное представление работы экскаваторно-автомобильного комплекса // Россия молодая: сб. материалов XI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — 2019. — С. 30109–30109.

9. Егоров А. П., Кондаков И. А. Оценка возможности и эффективности внедрения технологических схем скоростной проходки подземных горных выработок на угольных шахтах // Уголь. — 2019. — № 11. — С. 22–28.
10. Казанин О. И., Долоткин Ю. Н., Задавин Г. Д. Возможности и перспективы скоростного проведения выработок при многоштрековой подготовке выемочных участков на шахтах ОАО “Воркутауголь” // Уголь. — 2007. — № 12. — С. 4–8.
11. Баскаков В. П., Добровольский М. С. Опыт скоростного проведения подготовительных выработок с применением технологии поэтапного крепления // Уголь. — 2011. — № 10. — С. 5–8.
12. Кузьминич В. А., Горшков М. Д., Грауле Д. В. Прогрессивные технологические схемы проведения горных выработок. — Новокузнецк: ОАО УК “Кузнецкуголь”, 2000. — 27 с.
13. Пат. 2724816 РФ, 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. А. Кузнецова, С. М. Никитенко, Ю. В. Малахов, С. И. Мефодьев // Опубл. в БИ. — 2020. — № 18.
14. Клишин В. И., Фрянов В. Н., Павлова Л. Д., Никитенко С. М., Малахов Ю. В. Исследование взаимодействия многофункциональной шагающей крепи с массивом горных пород при проведении подземных выработок // ФТПРПИ. — 2021. — № 3. — С. 3–12.
15. Клишин В. И., Малахов Ю. В., Никитенко С. М., Анферов Б. А. Разработка технических требований к механизированной шагающей крепи в составе горнопроходческого комплекса // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. — 2020. — № 6. — С. 125–131.
16. Клишин В. И., Малахов Ю. В. Организационные аспекты скоростной проходки подземных горных выработок с использованием механизированной шагающей крепи // Горное оборудование и электромеханика. — 2021. — № 4. — С. 9–15.

Поступила в редакцию 30/IV 2022

После доработки 05/V 2022

Принята к публикации 06/V 2022