

Крепи сопряжений: состояние и тенденции развития

М.К. Королев¹, Ю.В. Малахов¹, С.М. Никитенко¹✉, И. Вайс²

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Кемерово, Российская Федерация

²EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Гельзенкирхен, Германия
✉ nsm.nis@mail.ru

Резюме: Вопросы безопасной и эффективной отработки угольных месторождений обретают дополнительную актуальность по мере усложнения горно-геологических условий на более глубоких лицензионных участках и горных отводах действующих шахт. При этом проходится большая сеть подготовительных горных выработок, а также их сопряжений, которые отличаются сложной конфигурацией, а в месте их сооружения горное давление проявляется в наибольшей степени. Отмечается, что механизация работ на сопряжениях очистного забоя и примыкающих горных выработок является определяющим фактором эффективного применения механизированных комплексов по добыче угля.

В статье приводится сформированная авторами патентная коллекция, состоящая из патентных семейств, относящихся к сопряжению горных выработок, из которой были отобраны патентные семейства, содержащие конструкции механизированных крепей сопряжения. Обоснованы тенденции развития крепей сопряжения: повышение надежности всех элементов и узлов; повышение устойчивости; интеграция в автоматизированные горнодобывающие комплексы; оптимизация затрат на изготовление.

Авторы отмечают тенденцию к разработке конструкции крепей сопряжения шагающего типа, что связано с главной их особенностью – возможностью постоянной поддержки кровли в процессе передвижки и исключения эффекта «топтанья» кровли. Это позволило в полной мере обосновать принципиальную схему перспективной конструкции крепи сопряжения. В итоге обоснована возможная область применения механизированной шагающей крепи для поддержания сопряжений подготовительных выработок и очистных забоев.

Ключевые слова: горно-геологические условия, сопряжения горных выработок, устойчивость, крепь сопряжения, патентный анализ, шагающая крепь

Благодарности: Статья подготовлена в рамках гранта Минобрнауки России (Соглашение №075–15–2022–1190).

Для цитирования: Королев М.К., Малахов Ю.В., Никитенко С.М., Вайс И. Крепи сопряжений: состояние и тенденции развития. *Горная промышленность*. 2023;(S2):95–100. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-95-100>

Face-end supports: current status and development trends

M.K. Korolev¹, Yu.V. Malakhov¹, S.M. Nikitenko¹✉, I. Weiss²

¹Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo,
Russian Federation

²EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Gelsenkirchen, Germany
✉ nsm.nis@mail.ru

Abstract: The issues of safe and efficient mining of coal deposits are gaining additional significance as mining and geological conditions become more complicated at deeper license blocks and mining takes of operating mines. In this case, a large-scale network of development workings is created, as well as their interfaces, which are characterized by a complex configuration, and in the areas of their construction, the formation pressure is manifested to the greatest degree. It is noted that mechanization of operations at the interfaces of the faces and adjacent mine workings is a defining factor in the efficient use of the powered mining complexes for coal mining.

The article presents a patent collection formed by the authors, consisting of patent families related to the interfaces of the mine workings, from which the patent families were selected that contain the designs of powered face-end roof supports. The paper justifies the trends in development of the face-end supports that include increasing reliability of all the elements and units; increasing stability; integration into automated mining complexes; optimization of manufacturing costs.

The authors note the tendency to develop the design of face-end supports of the walking type, which is associated with their main feature, i.e. the possibility of permanent roof support during the face advance to elimination of the effect of the roof "hanging about". This made it possible to fully justify the principle layout of a perspective design of the face-end support. As the result, a possible scope of application is justified for the mechanized walking roof support to maintain the interfaces of the development workings and the working faces.

Keywords: mining and geological conditions, interfaces of mine workings, stability, face-end support, patent analysis, walking support

Acknowledgments: The publication was prepared as part of a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2022-1190).

For citation: Korolev M.K., Malakhov Yu.V., Nikitenko S.M., Weiss I. Face-end supports: current status and development trends. Russian Mining Industry. 2023;(S2):95–100. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-95-100>

Введение

Современная горнодобывающая промышленность характеризуется тенденциями к увеличению глубины добычи полезных ископаемых и автоматизацией все большего числа рабочих процессов горнодобывающего оборудования. Глубина добычи угля подземным способом превысила 1,5 км, а глубина добычи полезных ископаемых в целом превысила 4 км. При большем углублении под землю усугубляются следующие факторы внешней среды, предопределяющие направления развития технологий и устройств, применяемых в горнодобывающей отрасли: повышение концентрации газов и их движение; усложнение процесса откачки подземных и грунтовых вод; перераспределение горного давления (с кровли, с бортов, со стороны почвы) и движение горных пород; геотермический градиент – повышение температуры окружающей среды при углублении под землю, в среднем составляющее 3 °С на 100 м глубины; неоднородность и пористость горных пород, порождаемые вышеперечисленными факторами и вызывающие непредсказуемость процесса их разрушения [1].

Таким образом, тенденция к интенсификации производственных процессов, увеличение глубины разработки и связанные с этим изменение напряженного состояния массива и ухудшение горно-геологических условий приводят к необходимости пересмотра и дополнения существующих подходов к оценке развития геомеханических процессов в приконтурном массиве на участках сопряжений горных выработок, разработки новых типов крепи сопряжений. Одним из важных направлений является обеспечение поддержания сопряжения очистного забоя и примыкающих горных выработок – наиболее ответственной технологической операции в цепочке добычи угля, так как кровля на сопряжениях подвержена повышенному динамическому опорному горному давлению, в том числе в связи с выносом привода забойного конвейера в подготовительные выработки. В этих условиях возникают дополнительные требования и к определению наиболее эффективной конструкции крепи сопряжения применительно к горно-геологическим условиям [2–5].

В России требования к креплению сопряжений горных выработок регулируются Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. №507) (п. 87): крепление сопряжений лавы с примыкающими к ним горными выработками (откаточными и вентиляционными) проводят механизированной передвижной крепью или другими видами крепи, предусмотренными документацией по ведению горных работ.

Механизация работ на сопряжениях очистного забоя и примыкающих горных выработок является определяющим фактором эффективного применения механизированных комплексов, так как трудоёмкость этих работ, по некоторым данным, составляет около половины всех тру-

дозатрат при эксплуатации механизированных комплексов. Крепь сопряжения (КС) позволяет увеличить производительность труда и нагрузку на очистной забой за счет полной механизации операций на штреках и сокращения затрат времени на перемонтажи комплексов при одновременном уменьшении численности обслуживающего персонала.

Как правило, для крепления сопряжений лавы с примыкающими к ним горными выработками применяются концевые секции призабойной механизированной крепи либо инвентарные (индивидуальные) механизированные крепи различного конструктивного изготовления. В мировой практике горного производства накоплен успешный опыт механизации работ на сопряжениях очистного забоя и примыкающих горных выработок. Но есть еще немало нерешённых вопросов, поэтому в добывающих странах работы в этом направлении проводятся по сей день.

Целью данного исследования является выявление конструктивных особенностей современных механизированных крепей сопряжения.

В рамках данного исследования была сформирована патентная коллекция, состоящая из патентных семейств, относящихся к сопряжению горных выработок, обладающих датами приоритета (первой подачи заявки на получение патента) не ранее 2003 г. Из сформированной патентной коллекции в дальнейшем были отобраны патентные семейства, содержащие конструкции механизированных крепей сопряжения. Отобранные патентные семейства были проранжированы по показателю «силы патента» (patent strength), высчитываемому информационно-аналитической патентной системой Orbit Intelligence, и был проведен анализ полных текстов их патентных документов ¹.

В табл. 1 представлена информация об отобранных патентных семействах на механизированные крепи сопряжения, в том числе их правовой статус. Среди 20 патентных семейств на июль 2023 г. действует всего 9, что, учитывая и без того низкое число патентных семейств, свидетельствует о недостаточной развитости или низкой изобретательской активности в данном технологическом направлении. Все российские патентные семейства обладают низким показателем силы патента ввиду низкой продолжительности поддержания патентов (только 2 из 7 действуют более 10 лет), а также отсутствием их правовой охраны за рубежом.

Патентное семейство EP2452046 «Кровельные опоры для сплошной выемки» американского происхождения, обладающее наивысшим показателем «силы патента», включает в себя патенты США, Китая, Европейского патентного ведомства, Австралии, Колумбии и России (патент прекратил действие в 2018 г.). Технологический спектр данного патентного семейства включает в себя врубную установку сплошной выемки, содержащую по меньшей мере одну кровельную опору сопряжения, имеющую продольную длину, и по меньшей мере одну концевую кровельную опору

¹ Orbit Intelligence. Questel. Available at: <https://www.orbit.com>

Таблица 1
Патентные семейства на механизированные крепи сопряжения

Table 1
Patent families for mechanized face-end supports

№	Патентное семейство	Сила патента	Дата приоритета	Правовой статус
1	EP2452046	4.33	2010-07-09	Действует
2	CN105971648	3.49	2016-06-16	Действует
3	CN100371559	2.81	2004-12-10	Действует
4	CN111396104	2.66	2020-03-24	Действует
5	CN102094664	2.52	2011-01-27	Действует
6	CN203362199	2.01	2013-07-05	Не действует
7	CN202673314	1.9	2012-06-07	Не действует
8	CN201568067	1.86	2009-12-17	Не действует
9	CN108087010	1.8	2017-12-18	Действует
10	CN206386143	1.69	2016-12-13	Не действует
11	RU2287060	1.56	2005-06-24	Действует
12	CN202031620	1.42	2011-05-14	Не действует
13	CN104790995	1.14	2010-07-09	Не действует
14	RU167323	1	2013-07-30	Действует
15	CN217206522	0.9	2022-05-18	Действует
16	RU143967	0.1	2013-11-19	Не действует
17	RU2490468	0.1	2012-01-10	Не действует
18	RU59728	0.1	2006-07-10	Не действует
19	RU59727	0.1	2006-07-10	Не действует
20	RU162329	0.1	2015-10-06	Не действует

ру, смежную с указанной опорой сопряжения. Продольная длина концевой кровельной опоры существенно меньше, чем продольная длина опоры сопряжения. Имеется также по меньшей мере одна кровельная забойная опора, смежная с указанной концевой опорой и имеющая продольную длину, которая существенно меньше продольной длины концевой опоры [6].

Данное патентное семейство включает в себя различные варианты поддержания кровли, в том числе в местах сопряжения, а также включает в себя конструкции предлагаемых к применению механизированных крепей. В рамках данной технологии предполагается применение как минимум одной кровельной опоры сопряжения. На рис. 1 представлена схема кровельной опоры сопряжения, предлагаемой в рамках данного патентного семейства. Данная крепь относится к механизированным крепям сопряжения, выполненным на основе концевой лавной секции.

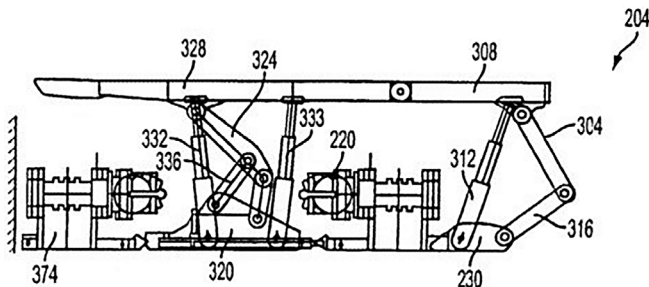


Рис. 1
Схема кровельной опоры сопряжения

Fig. 1
Schematic diagram of a roof face-end support

Обзор существующих средств механизации для поддержки кровли в условиях проведения подземных выработок позволил разделить крепи сопряжения на три группы: механизированные (типа КСШ-5К, крепь сопряжения ДонУГИ, а также крепи, указанные в табл. 1), шагающие (типа ОКС-1), прочие (типа унифицированной крепи сопряжения УКС, разработка института «Донгипроуглемаш»).

В процессе исследования авторы статьи отметили тенденцию к разработке конструкции крепей сопряжения шагающего типа, что связано с главной особенностью – возможностью постоянной поддержки кровли в процессе передвижки и исключения эффекта «топтанья» кровли. Конструкцию крепи (патентное семейство CN102094664, поз. 5 в табл. 1), разработанную для временной поддержки кровли в конце комплексного механизированного забоя с целью закладки выработанного пространства породой, можно также отнести к варианту шагающей крепи.

Исследователями в работе [7] представлен анализ мировой практики и подходов развития мобильных механизированных технических средств шагающего типа и 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 шагающая крепь, выполненная из нескольких независимых элементов в виде рамных опор, снабженных средствами индивидуального выдвижения и втягивания, обеспечивающими подъём, опускание и передвижение опор [8].

Другим техническим решением является двухрамная шагающая крепь с подвиганием посредством последовательного шагания рам, состоящая из двух блоков, содержащих разнесенные друг от друга рамы-арки, каждая из которых содержит пару гидравлически-раздвижных стоек, расположенных по одной с каждой стороны. Блоки с рамами-арками перемещаются относительно друг друга для продвижения конструкции крепи и поддержки кровли. Данная крепь может использоваться как для создания безопасного рабочего пространства при подготовке забоя угольных шахт, так и в качестве временной поддержки кровли выработки над выемочной машиной по мере ее продвижения в забое. Достоинством конструкции этой шагающей крепи является постоянная поддержка свода горной выработки одной парой рам, пока другая пара рам находится в передвижке [9].

Имеется вариант шагающей шахтной крепи, которая состоит из четырёх гидравлических телескопических опор, попарно соединённых направляющими у основания и образующих параллельные рамы. Такая крепь предназначена для временного крепления горных выработок арочного типа при проходке и может посредством попарного шагания опор подвигаться к зоне забоя [10].

Применяются также различные конструкции передвижной балочной крепи на гусеничном ходу, которые предназначены 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 и производится монтаж основной кровли ан-

керным 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 [11].

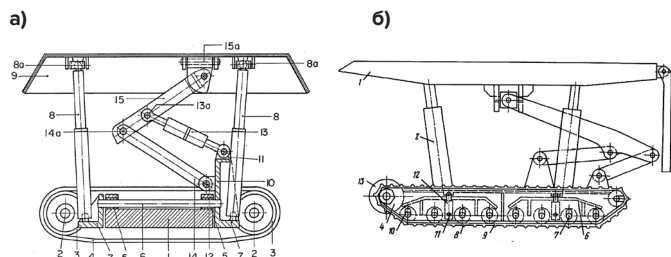


Рис. 2
Варианты крепей на гусеничном ходу:
а – передвижная шахтная крепь;
б – самоходная механизированная крепь

Fig. 2
Options of crawler-mounted supports:
а – mobile mine support;
б – self-propelled mechanized support

Мобильная конструкция передвижной шахтной крепи (рис. 2, а) предложена 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 частью [12]. Схожая конструкция мобильной самоходной механизированной крепи на гусеничном ходу (рис. 2, б) предложена для крепления горных пород в системах КСО [13].

Из проведенного анализа следует, что все разнообразие конструкций средств механизации для поддержки кровли в подземной выработке, созданных для различных условий применения и задач, по принципиальной схеме и способу перемещения можно разделить на две группы: шагающие и гусеничные.

Шагающие механизированные крепи

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

В компании «Объединённые машиностроительные технологии» (г. Киселевск, Россия) были разработали механизированные крепи шагающего типа М130 и М145 (рис. 3, а), которые предназначены для крепления и управления кровлей способом полного обрушения. Крепь состоит из двух-стоечных 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 гидродомкратами². Широкого применения крепи ОМТ 130 (ОМТ 145) в угольных шахтах не нашли из-за сложности стыковки с лавным конвейером и управления крепью во взаимодействии с современными очистными комплексами.

Юргинским машиностроительным заводом (г. Юрга, Рос-

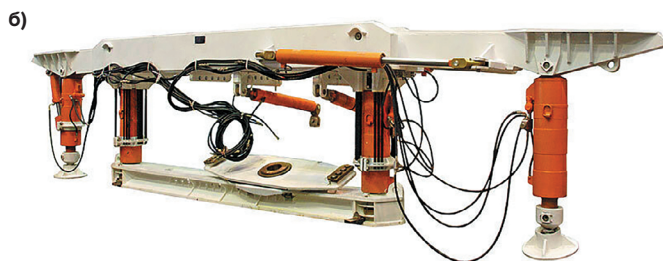


Рис. 3
Крепи шагающего типа:
а – ОМТ 130 (ОМТ 145);
б – КСПЮ

Fig. 3
Walking type supports:
а – ОМТ 130 (ОМТ 145);
б – КСПЮ

сия) была предложена самодвижущаяся методом шагания крепь сопряжения штрековая КСПЮ (рис. 3, б). Конструкция крепи пенального типа, 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.

На основе разработанных требований и структурных схем в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН была разработана конструкция гидравлической шагающей крепи (ГШК) для скоростной проходки подготовительных горных выработок [14].

Крепь ГШК (рис. 4) построена на единой платформе и состоит из двух секций, передовой секции 1 и отстающей секции 2, соединенных между собой гидродомкратами

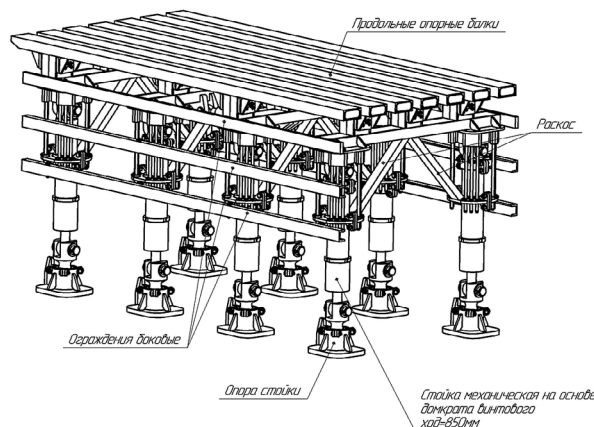


Рис. 4
ГШК для проходки подземных горных выработок
1 – передовая секция крепи;
2 – отстающая секция крепи;
3 – гидростойка

Fig. 4
Hydraulic walking supports for underground mine workings
1 – advanced support unit;
2 – lagging support unit;
3 – hydraulic prop

² Объединённые машиностроительные технологии. Режим доступа: <http://www.omt-oh.ru/production/krepi>

передвижки 3. 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 почвы³, т.е. поочередным шаганием разгруженного комплекта рам, образующих секцию. По конструктивной завязке ГШК является рамной крепью, кинематически не связанной с наличием в конструкции автономных средств передвижения. К основным преимуществам крепи ГШК можно отнести 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.

Выводы

Особенности развития конструкций механизированных крепей сопряжения прежде всего обоснованы факторами внешней среды и спецификой места их применения. По результатам проведенного исследования можно выделить следующие тенденции развития крепей сопряжения: повышение надежности всех элементов и узлов КС; повышение устойчивости КС; интеграция в автоматизированные горнодобывающие комплексы; оптимизация затрат на изготовление (снижение металлоёмкости и стоимости производства КС).

Адаптация механизированных крепей сопряжения под факторы внешней среды ориентирована прежде всего на

горное давление, повышающееся и становящееся более непредсказуемым при увеличении глубины добычи полезных ископаемых. Неоднородность и пористость горных пород повлияли на увеличение ширины крепей сопряжения в месте их соприкосновения с кровлей.

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

Таким образом, машины с шагающим двигателем являются перспективным направлением для применения в условиях угольных шахт, в том числе для проходки по подготовительным выработкам. Одним из перспективных направлений повышения эффективности и безопасности проходческих работ в зоне забоя может быть применение механизированной шагающей крепи, создающей при передвижении шагающим способом постоянную поддержку кровли и безопасное рабочее пространство.

³ 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.

Список литературы

1. Королев М.К. Геотехнологические вызовы как фактор формирования закономерностей создания новых горных машин. В кн.: Майоров А.Е. (ред.) *Развитие – 2022: материалы Ежегодной конференции молодых ученых, г. Кемерово, 11–13 мая 2022 г.* Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН; 2022. С. 9–16. https://doi.org/10.53650/9785902305668_9
2. Кириенко Ю.А. Обоснование конструкции крепи сопряжения шахтного ствола, пройденного в солях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6):20–34. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_6_0_20
3. Данилкин М.С. Подходы к расчету геометрических параметров сопряжений горных выработок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2002;(9):234–236.
4. Вильнер М.А. *Геомеханический прогноз нагрузок на крепь сопряжений выработок в структурно-нарушенных массивах горных пород: автореф. ... дис. канд. техн. наук.* СПб.; 2022. 24 с.
5. Chen K.-H., Peng F.-L. An improved method to calculate the vertical earth pressure for deep shield tunnel in Shanghai soil layers. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018;75:43–66. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.01.027>
6. Холм Д. *Кровельные опоры для сплошной выемки*. Патент 2544345. Российская Федерация, МПК E21D23/04, № 2012101713/03, заявл. 09.07.2010, опубл. 20.08.2013. Режим доступа: https://patents.s3.yandex.net/RU2544345C2_20150320.pdf
7. Nikitenko M.S., Malakhov Yu.V., Kizilov S.A., Zhuravlev S.S. Multifunction walking roof support for underground mining of stratified deposits and placers. *Eurasian Mining*. 2020;(2):58–62. <https://doi.org/10.17580/em.2020.02.14>
8. 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).
9. 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.
10. US patent 3,435,620 Weirich et al., Apr. 01, 1969 Walking mine roof support Walter Gewerk schaft Eisenhuetten Westfalia, Altlunen, Germany CL. E21d 11/00 U.S. Cl. 61-45 7 Claims.
11. United States 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.
12. United States Patent 4,737,051 Mobile mine-roof support Hans Bill. Hermann Hemscheidt Maschinenfabrik GmbH & Co., Appl. No.: 1,495 22 Filed: Dec. 5, 1986.
13. Наместников Ю.И., Потапенко В.А., Никишичев Б.Г., Сидорчук В.К., Рыжов А.М. Самоходная механизированная крепь. Патент №2134793 С1 Российская Федерация, МПК E21D 23/04, E21D 23/08. № 98102104/03, заявл. 10.02.1998, опубл. 20.08.1999. Режим доступа: https://patents.s3.yandex.net/RU2134793C1_19990820.pdf

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. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2021;(3):3–12. <https://doi.org/10.15372/FTPPI20210301>

References

1. Korolev M.K. Geotechnological challenges as a factor in the formation of new mining machines creation patterns. In: Mayorov A.E. (ed.) *Development - 2022: Proceedings of the Annual Conference of Young Scientists, Kemerovo, May 11–13, 2022*. Kemerovo: Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2022, pp. 9–16. (In Russ.) https://doi.org/10.53650/9785902305668_9
2. Kirienko Yu.A. Justification of support design for tunnel and shaft intersections in salt. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6):20–34. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_6_0_20
3. Danilkin M.S. Approaches to calculation of geometrical parameters of interfaces of mine workings. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2002;(9):234–236. (In Russ.)
4. Vilner M.A. Geomechanical forecasting of the face-end support loads in structurally disturbed rock massifs. [Abstract of Ph.D. thesis] St. Petersburg; 2022. 24 p. (In Russ.)
5. Chen K.-H., Peng F.-L. An improved method to calculate the vertical earth pressure for deep shield tunnel in Shanghai soil layers. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018;75:43–66. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.01.027>
6. Holme J. *Roof supports for longwall mining*. Patent 2544345, Russian Federation. Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU2544345C2_20150320.pdf
7. Nikitenko M.S., Malakhov Yu.V., Kizilov S.A., Zhuravlev S.S. Multifunction walking roof support for underground mining of stratified deposits and placers. *Eurasian Mining*. 2020;(2):58–62. <https://doi.org/10.17580/em.2020.02.14>
8. 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).
9. 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.
10. US patent 3,435,620 Weirich et al., Apr. 01, 1969 Walking mine roof support Walter Gewerk schaft Eisenhuetten Westfalia, Altlunen, Germany CL. E21d 11/00 U.S. Cl. 61-45 7 Claims.
11. United States 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.
12. United States Patent 4,737,051 Mobile mine-roof support Hans Bill. Hermann Hemscheidt Maschinenfabrik GmbH & Co., Appl. No.:1,495 22 Filed: Dec. 5, 1986.
13. Namestnikov Ju.I., Potapenko V.A., Nikishichev B.G., Sidorchuk V.K., Ryzhov A.M. Self-propelled powered support. Patent 2134793 C1 Russian Federation. Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU2134793C1_19990820.pdf
14. Klishin V.I., Nikitenko S.M., Malakhov Y.V., Fryanov V.N., Pavlova L.D. Rock mass-multifunction mobile roof support interaction in mining. *Journal of Mining Science*. 2021;57(3):361–369. <https://doi.org/10.1134/S1062739121030017>

Информация об авторах

Королев Михаил Константинович – ведущий инженер лаборатории угольного машиноведения, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: m.korolev.gm@gmail.com

Малахов Юрий Валентинович – кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории угольного машиноведения, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: yv.malakhov@mail.ru

Никитенко Сергей Михайлович – доктор экономических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории угольного машиноведения, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: nsm.nis@mail.ru

Инна Вайс – кандидат технических наук (PhD in engineering), руководитель отдела продаж, EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Гельзенкирхен, Германия

Information about the authors

Mikhail K. Korolev – Lead Engineer, Coal Engineering Laboratory, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: m.korolev.gm@gmail.com

Yury V. Malakhov – Cand. Sci. (Eng.), Lead Engineer, Coal Engineering Laboratory, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: yv.malakhov@mail.ru

Sergey M. Nikitenko – Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Chief Research Associate, Coal Engineering Laboratory, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: nsm.nis@mail.ru

Inna Weiss – Cand. Sci. (Eng.) (PhD in engineering), Head of sales department, EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Gelsenkirchen, Germany.

Article info

Received: 29.07.2023

Revised: 14.08.2023

Accepted: 18.08.2023

Информация о статье

Поступила в редакцию: 29.07.2023

Поступила после рецензирования: 14.08.2023

Принята к публикации: 18.08.2023