

Научная статья

УДК 004.942; 622.3

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-88-96

Стародубов Алексей Николаевич^{1, 2, *}¹ Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: a.n.starodubov@gmail.com

КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ МОЩНЫХ ПЛАСТОВ**Информация о статье**

Поступила:

29 августа 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 августа 2025 г.

Принята к печати:

01 сентября 2025 г.

Опубликована:

09 октября 2025 г.

Ключевые слова:

подземные горные работы, выпуск угля подкровельной толщи, механизированная крепь, численное моделирование, метод дискретных элементов, износостойкость, пылеподавление

Аннотация.

В соответствии с Энергетической стратегией РФ уголь продолжает оставаться вторым по значимости энергетическим ресурсом в мире, уступая только нефти. Около 40% мировой электроэнергии вырабатывается из угля, запасы которого превосходят запасы нефти и природного газа. На внутреннем рынке России основными потребителями угля являются электростанции и коксохимические заводы. Подземный способ разработки сохраняет устойчивые позиции, обеспечивая добычу наиболее ценных и экспортоориентированных марок каменного угля, залегающих в мощных пластах. При реализации технологии выемки мощных пластов с выпуском угля основными определяющими ее критериями являются требования к объему выпуска и автоматизации работ, а также обеспечение безопасности и повышение эффективности работы очистного забоя. Успешное развитие этого перспективного направления геотехнологии напрямую зависит от правильного обоснования специальных типов механизированных крепей. Обоснование и создание такой крепи основано на изучении механизма движения выпускаемого угля через крепь. Работа направлена на обоснование и разработку технических и технологических решений механизированных крепей, реализующих технологию с выпуском, что является актуальной научно-практической задачей. Конструктивно секция крепи может иметь разное исполнение и применяться в различающихся горно-геологических условиях. На основе разработанных численных моделей выполнены эксперименты для исследования и обоснования оптимальных параметров секции механизированной крепи для возможных горно-геологических (мощность подкровельной толщи, влияние основной кровли) и горнотехнических (ширина выпускного окна, угол наклона питателя, количество передвижек для одного выпуска, износостойкость элементов конструкции, система пылеподавления) условий.

Для цитирования: Стародубов А.Н. Конструктивные параметры оборудования технологии выемки мощных пластов // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 5 (181). С. 88-96. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-88-96, EDN: CYNXKI

Введение

На разработанных моделях в среде моделирования Rocky DEM, основанной на методе дискретных элементов [1, 2], проведена серия экспериментов по исследованию и обоснованию области горно-геологических (мощность подкровельной толщи, влияние основной кровли) и горнотехнических условий (ширина выпускного окна, угол наклона питателя, количество передвижек для одного выпуска, износостойкость элементов конструкции), при которых целесообразно и наиболее эффективно

с точки зрения производительности и полноты выемки применение технологии выемки мощных толстых пластов с управляемым выпуском угля на забойный конвейер с использованием специальной механизированной крепи.

Влияние ширины выпускного окна на массовый расход при выпуске угля

Ранее в исследованиях по выпуску угля рассматривалась механизированная крепь шириной 2 метра [3, 4]. Для определения влияния ширины выпускного окна на значение массового расхода угля



Рис. 2. Варианты крепей с шириной выпускного окна 0.75 м, 1 м, 1.4 м и 1.75 м

Fig. 1. Variants of mechanized powered roof supports with the width of the output window 0.75 m, 1 m, 1.4 m and 1.75 m

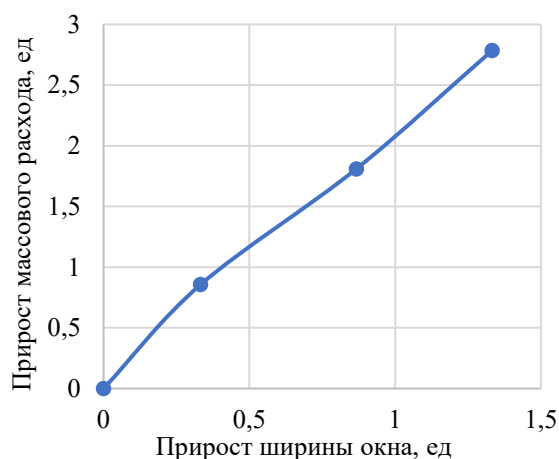


Рис. 1. График зависимости роста массового расхода угля от роста ширины выпускного окна

Fig. 2. Graph of the dependence of the increase in mass flow rate of coal on the increase in the width of the output window

модель механизированной крепи была изменена так, чтобы ее ширина составляла 1.75 м, 2.4 м и 2.75 м (Рис. 1).

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что влияние рассматриваемого фактора составляет 0.715. Увеличение выпускного окна на 40% и 75% привело к росту массового расхода угля на 51.3% и 104% соответственно, а его уменьшение на 25% снизило массовый расход угля на 46.2%. Таким образом установлено, что однократный прирост значения ширины выпускного окна приводит к увеличению значения массового расхода при выпуске в 2.1 раза (Рис. 2).

Влияние параметров питателя и заслона на выпуск угля

Также изучались параметры системы «питатель-заслон», влияющих на массовый расход угля при разных сочетаниях угла наклона заслона, частоты возвратно-поступательного движения питателя и угла его наклона. Конструктивно увеличение угла

наклона питателя приводит к существенному снижению площади выпускного окна. В исследовании изучено 32 варианта взаимного сочетания угла наклона питателя (7 и 12 градусов), частоты его движения (0.25, 0.33, 0.5 и 1 Гц) и угла наклона заслона (10, 22, 35, 45 градусов). Установлено, что при минимальных значениях частоты возвратно-поступательного движения питателя при прочих равных условиях большую эффективность дает больший угол наклона, вплоть до 26%. Разница нивелируется в интервале 0.5÷0.75 Гц. При работе питателя на более высоких скоростях большую эффективность, вплоть до 17%, показывает питатель, расположенный под меньшим углом. На Рис. 3 приведена сводная диаграмма результатов моделирования.

Исследование износостойкости питателя

Крепление горных выработок является трудоемким и ресурсозатратным процессом, а процессы трения и износа оборудования и его комплектующих, происходящие во время совершения горнодобывающих работ, приводят к дополнительным расходам на восстановление и замену изношенных деталей [5]. Поэтому необходимо подобрать такой материал элементов крепи, непосредственно контактирующих с движущимся потоком горной массы, который был бы достаточно устойчив к износу и трению для обеспечения наиболее продолжительной эксплуатации механизированной крепи. В Rocky DEM для отображения и оценки износа используется модель Арчарда.

Британским инженером Джоном Ф. Арчардом в 50-х годах прошлого века была разработана эмпирическая модель расчета скорости абразивного износа поверхностей трения, основанная на шероховатости поверхностей и утверждающая, что объем материала, удаленного вследствие абразивного износа, пропорционален силам трения [6, 7]. Уравнение скорости износа можно описать следующим образом [8]:

$$Q = \frac{KWL}{H}, \quad (1)$$

где Q – скорость износа (мм^3), K – постоянный коэффициент износа ($\text{мм}^3/\text{м}$), W – общая нормальная нагрузка, (Н), L – путь трения поверхностей (м), H – твердость более мягкой из двух поверхностей (HRC или Па).

Rocky DEM [9] предлагает изменять постоянный коэффициент износа (K) для подбора оптимальной скорости износа [10]. Для более точного и полного определения коэффициента износа необходимо произвести серию опытов на реальном оборудовании. Из-за отсутствия прототипа крепи, позволяющего произвести необходимые замеры, в данном случае будет использоваться значение коэффициента K , полученное опытным путем в работе [10]. Данный коэффициент позволит показать в модели более достоверную картину износа, используя меньшие временные затраты.

Питатель секции, совершающий возвратно-поступательные движения с высокой частотой в мелкодисперсной среде, ограниченной боковыми стенками, подвержен наибольшему и при этом интенсивному износу по сравнению с остальными элементами секции крепи (Рис. 4).

Материал, подходящий для изготовления питателя крепи, должен удовлетворять требованиям износостойкости, а также иметь небольшую массу для снижения нагрузки на приводную систему и уплотнители гидроцилиндров.

При анализе материалов, подходящих для изготовления механизированной крепи и ее составляющих, и выявлении из них часто используемого в подобных технологиях материала Сталь 50Г2 стоимостью на 9% выше среднего значения (Рис. 6-7). Поэтому было принято решение использовать марку стали 14ХГ2СДФ.

Способы пылеподавления при выпуске угля

Отличительными особенностями технологии эффективного освоения угольных месторождений роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толщи является наличие двух специфических источников пылеобразования: основная масса пыли будет поступать из зоны погружки при падении угля ввиду большой мощности пласта, а также дополнительными источниками пыли являются процессы разрушения и выпуска угля подкровельной толщи (красный контур на

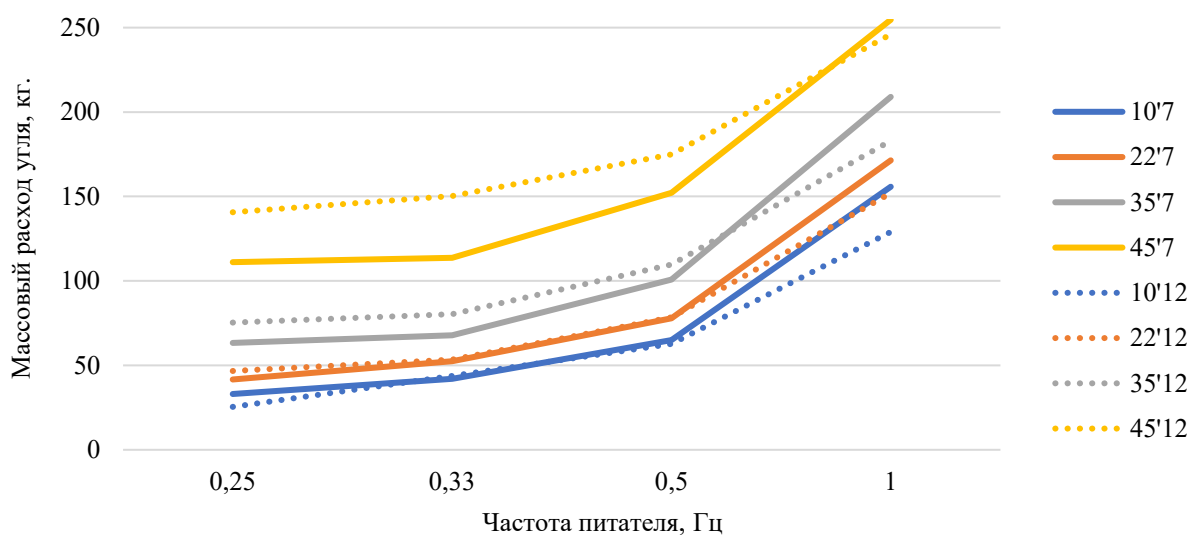


Рис. 3. Массовый расход угля при разных сочетаниях угла наклона заслона, частоты возвратно-поступательного движения питателя и угла его наклона

Fig. 3. Mass flow rate of coal at different combinations of the angle of inclination of the damper, the frequency of reciprocating motion of the feeder and its angle of inclination

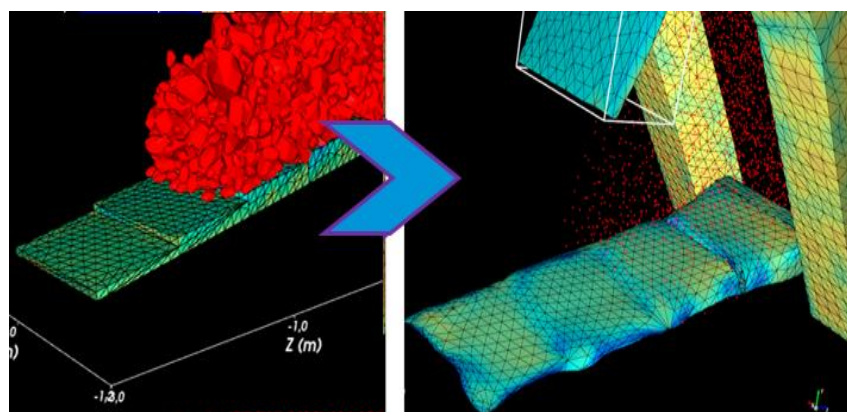


Рис. 4. Визуализация износа питателя

Fig. 4. Visualization of wear of feeder

Таблица 1. Характеристики марок стали
Table 1. Characteristics of rank of steel

Марки стали	Параметры					
	Плотность, кг/м ³	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Стоимость, тыс. руб./т	Масса питателя, кг	Макс. смещение стороны треугольника сетки износа, м
14ХГ2САФД	7920	195	0,3	115	312	0,0137
50Г2	7500	204	0,3	103	295	0,0149
70	7810	206	0,3	85	308	0,0159
40ХС	7740	219	0,3	91	305	0,0163
75	7810	191	0,3	78	308	0,0165

Рис. 8) [11, 12]. Указанные процессы будут сопровождаться раскалыванием и раздавливанием кусков угля, трением кусков угля друг о друга, по металлической поверхности крепи и транспортирующей арматуре. Разработан способ пылеподавления [13], заключающийся в установке на очистное оборудование дополнительных новых элементов: на комбайн – коллектор тумана [14] для образования туманообразующих завес, осаждающих мелкую пыль фракцией менее 50 мкм; на заслон питателя секции крепи – дополнительные элементы в виде жесткого веерообразного распылителя высокого давления для орошения потока угля (по примеру [15]). Применение дополнительных элементов орошения позволит обеспечить рациональную схему пылеподавления с учетом условий ее применения, обеспечив возможность управлять пылевым потоком, снизить запыленность воздуха в шахте и исключить вероятность возникновения взрывов с участием угольной пыли.

Выводы

1. Однократный прирост значения ширины выпускного окна приводит к увеличению значения массового расхода при выпуске в 2.1 раза.

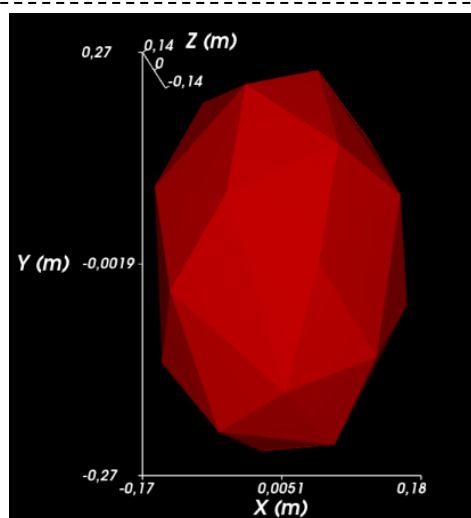


Рис. 5. Вид частицы-многогранника, используемый в модели с износом

Fig. 5. 3D view of polyhedron particle used in the wear model

2. Массовый расход угля обеспечивается сочетанием угла наклона питателя, увеличение которого приводит к снижению площади выпуска, и частотой его возвратно-поступательного движения, минимальное значение которой приводит к увеличению расхода при максимальном наклоне угла питателя и наоборот – при максимальном значении частоты к снижению расхода, при этом разница нивелируется в интервале 0.5÷0.75 Гц.

3. Сталь 14ХГ2САФД, обладающая наибольшей износостойкостью (на 11% выше среднего), дороже среднего на 21.7%, а масса питателя на 6.4 кг выше среднего. Самый дешевый вариант – Сталь 75 (на 17.5% дешевле среднего) обладает наихудшей износостойкостью (на 6.7% ниже среднего) при сравнительно большом весе. Наименьшей массой (на 10.6 кг легче среднего) при повышенном показателе износостойкости (на 3.6% выше среднего) обладает Сталь 50Г2 стоимостью на 9% выше среднего значения.

4. Разработан способ пылеподавления [13], заключающийся в установке на очистное оборудование дополнительных новых элементов: на комбайн – коллектор тумана для образования туманообразующих завес, осаждающих мелкую пыль фракцией менее 50 мкм; на заслон питателя секции крепи – дополнительные элементы в виде жесткого веерообразного распылителя высокого давления для орошения потока угля.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0024 «Разработка эффективных технологий добычи угля роботизированными горнодобывающими комплексами без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, систем управления и методов оценки технического состояния и диагностики их ресурса и обоснование обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы. 2024-2025 гг.» (рег. № 124041100071-9).

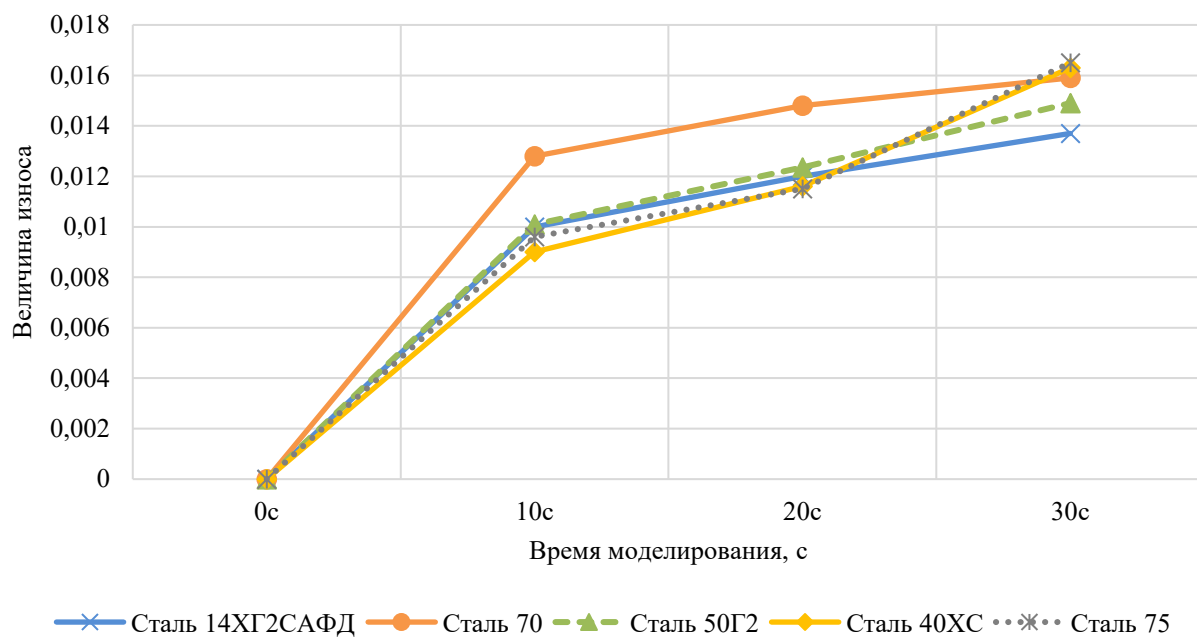


Рис. 6. График сравнения марок стали по величине износа
Fig. 6. Graph of comparison of rank of steel by wear value

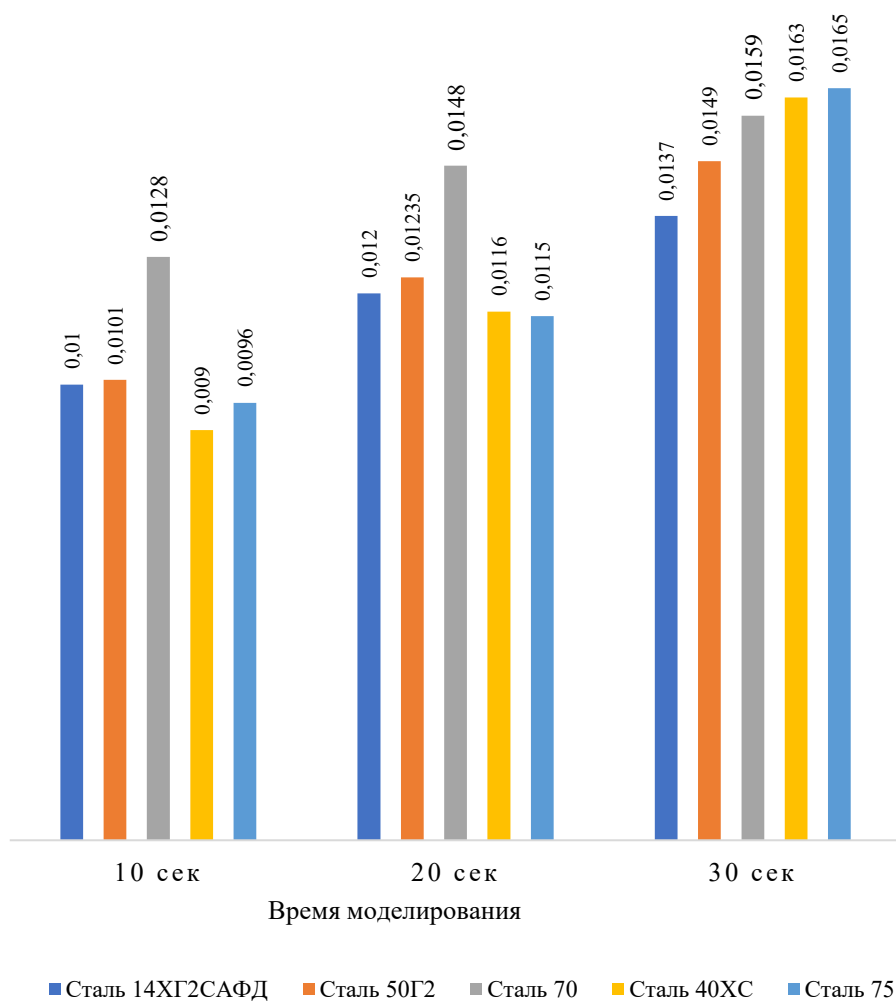


Рис. 7. Сравнение вариантов материалов по величине износа
Fig. 7. Comparison of material options by wear value

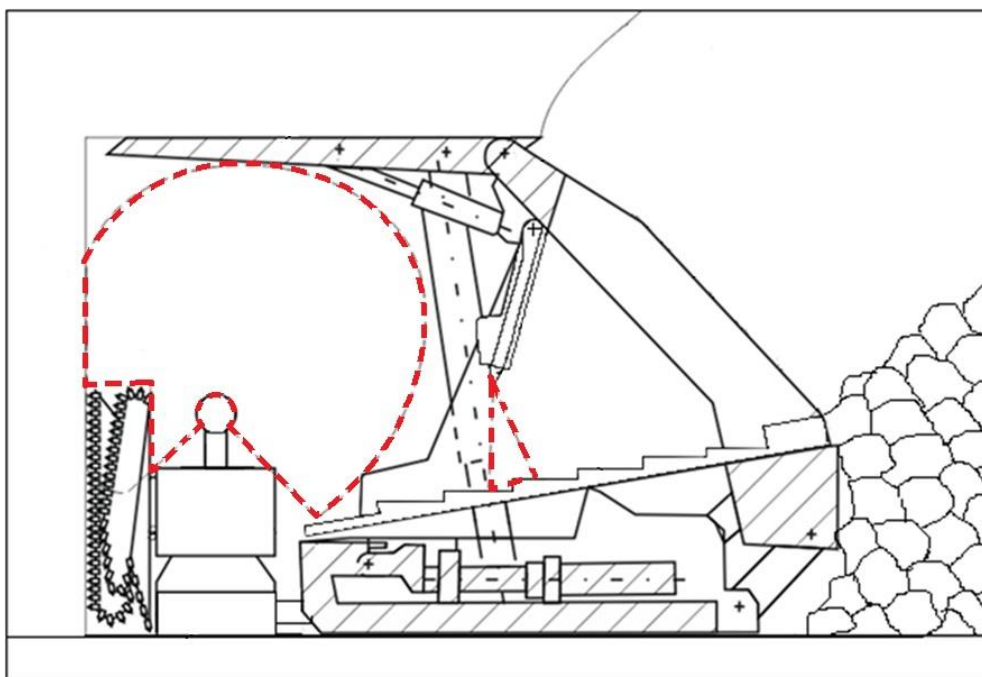


Рис. 8. Способ пылеподавления в технологии с выпуском угля подкровельной толщи

Fig. 8. The method of dust control in technology with the under-roof coal output

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cundall P. A., Strack D. L. A discrete numerical model for granular assemblies // *Geotechnique*. 1979. № 29(1). Pp. 47–65. DOI: 10.1680/geot.1979.29.1.47.
2. Лаптев В. В., Лукичев С. В. Использование метода дискретных элементов для исследования механизма формирования потерь руды применительно к условиям торцевого выпуска // *Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых*. 2023. № 4. С. 52–29.
3. Клишин В. И., Стародубов А. Н., Краменко В. А. [и др.]. Исследование параметров выпуска угля из подкровельной толщи средствами имитационного моделирования // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2023. № 4. С. 44–51. DOI: 10.15372/FTPRPI20230405.
4. Стародубов А. Н., Клишин В. И., Кадочникова А. Н., Каплун А. В. Исследование потока горной массы на питателе секции крепи при выпуске угля из подкровельной толщи мощных пологих пластов средствами имитационного моделирования // *Уголь*. 2024. № 9. С. 53–60. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-9-53-60.
5. Holmberg K., Kivikytö-Reponen P., Härkisaari P., Valtonen K., Erdemir A. Global energy consumption due to friction and wear in the mining industry // *Tribology International*. 2017. Vol. 115. Pp. 116–139. DOI: 10.1016/j.triboint.2017.01.028.
6. Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces // *Journal of Applied Physics*. 1953. Vol. 24. Iss. 8. Pp. 981–988. DOI: 10.1063/1.1721448.
7. Archard J. F. Wear theory and mechanisms. *Wear control handbook*. American Society of Mechanical Engineers. 1980.
8. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбатов В. С. Основы расчетов на трение и износ. Москва : Машиностроение, 1977. 526 с.
9. Katinas E., Chotěborský R., Linda M., Kuře J. Sensitivity analysis of the influence of particle dynamic friction, rolling resistance and volume/shear work ratio on wear loss and friction force using DEM model of dry sand rubber wheel test // *Tribology International*. 2021. Vol. 156. Pp. 1–14. DOI: 10.1016/j.triboint.2021.106853.
10. ESSS Rocky, Release 4.5.2, DEM Technical Manual, ESSS Rocky DEM, S.R.L. (2021).
11. Клишин В. И., Курленя М. В. Инновационный путь развития наукоемкой технологии сплошной разработки мощных угольных пластов механизированными комплексами // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2008. № 7. С. 210–222.
12. Клишин В. И. Обеспечение безопасной подземной угледобычи // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. № S5–2. С. 68–79.
13. Патент РФ № 2745908 С2, МПК E21C 41/18, E21C 35/22, E21D 23/00. Способ разработки мощного пологого пласта с выпуском угля подкровельной толщи / А. Н. Стародубов, В. П. Кравцов, В. И. Клишин; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук". № 2018145312; заявл. 18.12.2018; опубл. 02.04.2021.
14. Система пылеподавления механизированной крепи: пат. SU 900029 СССР: Заявитель Восточный научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности Министерства угольной промышленности СССР, авторы: А. В. Трубицын, А. Т. Ермолаев, В. Н. Во-

ронов. Заявл. 06.06.80 (21) 2935782/22-03; опубл. 23.01.82, Бюл. № 3. 3 с.

15. Форсунка для распыления жидкостей : пат. RU 2445172 РФ: Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образователь-

ное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ), авторы: Клепцов А. А., Клепцова Л. Н. Заявл. 25.05.2010; опубл. 20.03.2012, Бюл. № 8. 5 с.

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Стародубов Алексей Николаевич, канд. тех. наук, доцент, зам. директора, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН (650065, Россия, г. Кемерово, пр-т Ленинградский, 10), Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7577-9210>, e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Стародубов Алексей Николаевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-88-96

Alexey N. Starodubov^{1, 2, *}

¹ Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: a.n.starodubov@gmail.com

DESIGN PARAMETERS OF EQUIPMENT FOR THE TECHNOLOGY OF EXTRACTING THICK SEAMS



Article info

Received:

29 August 2025

Accepted for publication:

30 August 2025

Accepted:

01 September 2025

Published:

09 October 2025

Keywords: subsurface mining, under-roof coal output, mechanized powered roof support, numerical simulation, discrete element method, wear resistance, dust control

Abstract.

In accordance with the Energy Strategy of the Russian Federation, coal continues to be the second most important energy resource in the world, second only to oil. About 40% of global electricity is generated from coal, which reserves exceed those of oil and natural gas. In the domestic market of Russia the main consumers of coal are electric power plants and coke-chemical plants. The underground mining method maintains a stable position, ensuring the extraction of the most valuable and export-oriented rank of hardcoal deposited in thick seams. When implementing the technology of dredging thick seams with coal output, the main criteria determining it are the requirements for the volume of output and automation of work, as well as ensuring safety and increasing the efficiency of the mining face operation. The successful development of this promising area of geotechnology directly depends on the correct substantiation of special types of mechanized powered roof supports. The substantiation and creation of such support is based on studying the mechanism of movement of the released coal through the mechanized support. The work is aimed at substantiating and developing technical and technological solutions for mechanized supports implementing the coal output technology, which is an actual scientific and practical task. Structurally the mechanized powered roof support section can have different designs and be used in different mining and geological conditions. Based on the developed numerical models experiments were performed to study and substantiate the optimal parameters of the mechanized support section for possible mining and geological (thickness of the

roof strata, influence of the main roof) and mining engineering conditions (width of the output window, angle of the feeder inclination, number of movements for one output, wear resistance of structural elements, system of dust control).

For citation: Starodubov A.N. Design parameters of equipment for the technology of extracting thick seams. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 5(181):88-96 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-88-96, EDN: CYNXKI

Acknowledgments

The work was performed as part of the state assignment of the Federal State Budget Scientific Center "The Federal Research Center for Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" project FWEZ-2024-0024 "Development of effective coal mining technologies by robotic mining complexes without the constant presence of people in mining areas, control systems and methods for assessing the technical condition and diagnostics of their resource and substantiation for ensuring reproduction mineral resource base. 2024-2025" (reg. no. 124041100071-9).

REFERENCES

1. Cundall P.A., Strack D.L. A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique*. 1979; 29(1):47–65. DOI: 10.1680/geot.1979.29.1.47.
2. Laptev V. V., Lukichev S. V. Ispol'zovanie metoda diskretnykh elementov dlya issledovaniya mekhanizma formirovaniya poter' rudy primenitel'no k usloviyam torcevoy vypuska. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh*. 2023; 4:52–29.
3. Klishin V.I., Starodubov A.N., Kramarenko V.A. [i dr.]. Issledovanie parametrov vypuska uglya iz podkrovel'noj tolshchi sredstvami imitacionnogo modelirovaniya. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2023; 4:44–51. DOI: 10.15372/FTPRPI20230405.
4. Starodubov A.N., Klishin V.I., Kadochigova A.N., Kaplun A.V. Issledovanie potoka gornoj massy na pitatele sekcii krepri pri vypuske uglya iz podkrovel'noj tolshchi moshchnykh pologih plastov sredstvami imitacionnogo modelirovaniya. *Ugol'*. 2024; 9:53–60. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-9-53-60.
5. Holmberg K., Kivikytö-Reponen P., Härkisaari P., Valtonen K., Erdemir A. Global energy consumption due to friction and wear in the mining industry. *Tribology International*. 2017; 115:116–139. DOI: 10.1016/j.triboint.2017.01.028.
6. Archard J.F. Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*. 1953; 24(8):981–988. DOI: 10.1063/1.1721448.
7. Archard J.F. Wear theory and mechanisms. Wear control handbook. American Society of Mechanical Engineers. 1980.
8. Kragel'skij I.V., Dobychin M. N., Kombalov V.S. Osnovy raschetov na trenie i iznos. Moskva: Mashinostroenie; 1977. 526 s.
9. Katinas E., Chotěborský R., Linda M., Kuře J. Sensitivity analysis of the influence of particle dynamic friction, rolling resistance and volume/shear work ratio on wear loss and friction force using DEM model of dry sand rubber wheel test. *Tribology International*. 2021; 156:1–14. DOI: 10.1016/j.triboint.2021.106853.
10. ESSS Rocky, Release 4.5.2, DEM Technical Manual, ESSS Rocky DEM, S.R.L. (2021).
11. Klishin V.I., Kurlenya M.V. Innovacionnyj put' razvitiya naukoemkoj tekhnologii sploshnoj razrabotki moshchnykh ugol'nykh plastov mekhanizirovannymi kompleksami. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. 2008; 7:210–222.
12. Klishin V.I. Obespechenie bezopasnoj podzemnoj ugledobychi. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*. 2017; S5–2:68–79.
13. Patent RF № 2745908 C2, MPK E21C 41/18, E21C 35/22, E21D 23/00. Sposob razrabotki moshchnogo pologogo plasta s vypuskom uglya podkrovel'noj tolshchi / A.N. Starodubov, V.P. Kravcov, V.I. Klishin; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie "Federal'nyj issledovatel'skij centr uglya i uglekhimii Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk". № 2018145312; zayavl. 18.12.2018; opubl. 02.04.2021.
14. Sistema pylepodavleniya mekhanizirovannoj krepri: pat. SU 900029 SSSR: Zayavitel' Vostochnyj nauchno-issledovatel'skij institut po bezopasnosti rabot v gornoj promyshlennosti Ministerstva ugol'noj promyshlennosti SSSR, avtory: A.V. Trubicyn, A.T. Ermolaev, V.N. Voronov. Zayavl. 06.06.80 (21) 2935782/22-03; opubl. 23.01.82, Byul. № 3. 3 s.
15. Forsunka dlya raspyleniya zhidkostej : pat. RU 2445172 RF: Patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Kuzbasskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni T.F. Gorbacheva» (KuzGTU), avtory: Klepcov A.A., Klepcova L.N. Zayavl. 25.05.2010; opubl. 20.03.2012, Byul. № 8. 5 s.

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Alexey N. Starodubov, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor, Deputy Director of the Institute of Coal, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (650065, Russian Federation, Kemerovo, Leningradsky Prospect, 10), T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russian Federation, Kemerovo, Vesennaya str., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7577-9210>, e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

Contribution of the authors:

Alexey N. Starodubov – research problem statement, scientific management, reviewing the relevant literature, conceptualization of research, data analysis, drawing the conclusions, writing the text.

Authors have read and approved the final manuscript.

