

Исследование технологии добычи угля в сложных горно-геологических условиях с использованием математического моделирования

А.Н. Стародубов^{1,2}✉, В.И. Клишин^{1,2}, А.Н. Кадочигова¹, А.В. Каплун¹

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

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация
✉ a.n.starodubov@gmail.com

Резюме: Развитие горных работ в дальнейшем наряду с созданием новых шахт будет обеспечиваться модернизацией и реконструкцией действующих предприятий. Перспективным является создание механизированных очистных комплексов, позволяющих осуществлять полное извлечение запасов угля при обеспечении безопасности труда. Одной из наиболее эффективных технологий разработки мощных пластов является их выемка на всю мощность с выпуском угля из подкровельной толщи в подсечный слой. С использованием разработанной имитационной модели на основе метода дискретных элементов в среде Rocky DEM проведено исследование новой конструкции механизированной крепи. Определена величина потерь угля, оставшегося в выработанном пространстве. Показана возможность применения разработанной модели для исследования потоков угленосного массива при реализации технологии добычи угля из мощных пологих пластов для выявления новых закономерностей и путей повышения эффективности технологии до её внедрения на угольных шахтах.

Ключевые слова: имитационное моделирование, технология отработки мощных пластов, выпуск угля подкровельной толщи, механизированная крепь, траектория движения частиц, метод дискретных элементов, параметры модели

Благодарности: Исследование выполнено в рамках гранта (постановление Правительства Кемеровской области – Кузбасса от 19.09.2022 №632) по прикладному научному исследованию «Разработка программно-методического обеспечения для цифровизации процессов проектирования горнотехнических систем для открытых и подземных горных работ», соглашение от 22.11.2022 г. №1.

Для цитирования: Стародубов А.Н., Клишин В.И., Кадочигова А.Н., Каплун А.В. Исследование технологии добычи угля в сложных горно-геологических условиях с использованием математического моделирования. *Горная промышленность*. 2023;(5S):47–52. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-47-52>

Research of coal mining technology in complex ground conditions using mathematical modeling

A.N. Starodubov^{1,2}✉, V.I. Klishin^{1,2}, A.N. Kadochigova¹, A.V. Kaplun¹

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

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation
✉ a.n.starodubov@gmail.com

Abstract: Future development of mining operations along with creation of new mines, will be supported by modernization and reconstruction of existing enterprises. Creation of mechanized coal face systems that ensure complete extraction of coal reserves with the supply of occupational safety is prospective. One of the most effective technologies for the development of high coals is their mining from wall to wall with drawing coal from the roof layer into the under-cutting layer. Research of a new design of mechanized support was carried out using the developed simulation model based on the discrete elements method in the Rocky DEM environment. The amount of coal losses remaining in the mined-out space is determined. The opportunity of using the developed model is demonstrated for analyzing the flows of the coal-bearing mass in the implementation of the technology of coal mining from high flat-lying coal seams to identify new patterns and ways to improve the efficiency of the technology before its implementation in coal mines.

Keywords: simulation modeling, technology of mining high coal beds, under-roof coal output, mechanized powered roof support, trajectory of particle motion, the method of discrete elements, model parameters

Acknowledgments: The study was carried out under the grant on applied scientific research entitled "Development of software and methodological support for digitalization of design processes of mining engineering systems for surface and underground mining", agreement from 22.11.2022 №1 (Resolution of the Government of the Kemerovo region - Kuzbass as of 19.09.2022 №632).

For citation: Starodubov A.N., Klishin V.I., Kadochigova A.N., Kaplun A.V. Research of coal mining technology in complex ground conditions using mathematical modeling. *Russian Mining Industry*. 2023;(5S):47–52. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-47-52>

Введение

Проблемы рационального использования ресурсов и экологичности ведения работ в угледобывающей промышленности продолжают оставаться актуальными¹ [1], что свидетельствует о необходимости усовершенствования технологий подземной добычи. С точки зрения экономической составляющей модернизация целесообразна, поскольку наиболее ценные и поставляемые на экспорт марки каменного угля находятся в мощных пластах и добываются преимущественно подземным способом. Среди известных технологий ведения подземных горных работ наиболее перспективными для применения являются технологии длинностолбовой отработки с использованием механизированных крепей, обеспечивающих принудительный выпуск угля из подкровельной (межслоевой) толщи [2–7].

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН разрабатывается новая конструкция механизированной крепи с возможностью контролируемого выпуска угля (рис. 1), особенностью которой является использование регулируемых по производительности питателей в секциях крепи, установленных в специальных выпускных окнах перекрытий, с помощью которых предоставляется возможность изменять интенсивность выпуска угля на лавный скребковый конвейер [8–10]. В качестве основной задачи исследования данной технологии следует рассматривать поиск рациональных режимов работы питателей секций крепи для обеспечения равномерной нагрузки в пределах допустимой нормы по массе и объему сгружаемого угля. В связи с динамичностью и стохастичностью процесса выпуска угля наиболее подходящим решением представляется применение имитационного моделирования [11–15], при котором опускается явное аналитическое описание процессов.

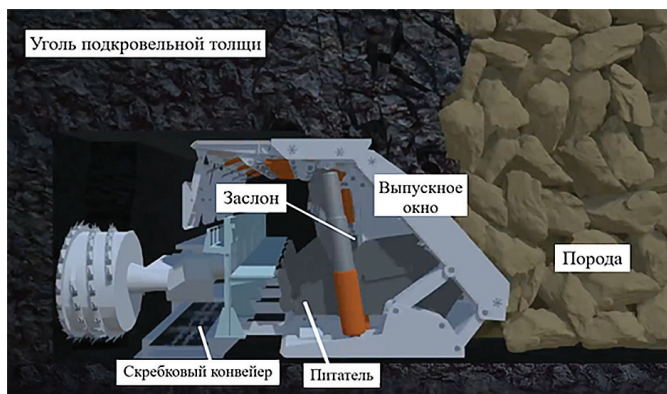


Рис. 1
Трехмерное изображение механизированной крепи с регулируемым выпуском угля

Fig. 1
3D-image of a mechanized powered roof support with controllable coal drawing

Постановка задачи и описание использующихся параметров модели

На данный момент в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН разработан ряд имитационных и анимационных моделей роботизированного очистного комплекса технологии эффективного освоения угольных месторождений с управляемым выпуском подкровельной толщи [16; 17]. Программ-

¹ Улучшение экологии угольной промышленности: текущее состояние и возможные меры. Режим доступа: <https://roscongress.org/sessions/rew-2018-uluchshenie-ekologii-ugolnoy-promyshlennosti-tekushchee-sostoyanie-i-vozmozhnyemye-mery/-discussion/>

ная архитектура данных моделей состоит из отдельных компонентов – расчетного, не учитывающего физические аспекты движения горной массы, такие как взаимодействие частиц, и анимационного. Следующим этапом моделирования рассматриваемой технологии является модель, построенная в среде имитационного моделирования Rocky DEM, где в качестве математического аппарата для расчета движения частиц задействован метод дискретных элементов (DEM – Discrete Element Method). Согласно данному методу частицы в некоторой гранулированной среде, обладая определенным положением относительно друг друга в пространстве и начальной скоростью, взаимодействуют за счет контактных сил трения и тяготения. Кроме того, с помощью DEM представляется возможным описать траекторию движения частиц с учетом физических свойств их материала. Таким образом, метод дискретных элементов применим для моделирования гравитационного движения предварительно разупрочнённой горной массы.

На рис. 2 представлен фрагмент имитационной модели выпуска угля одной секцией крепи. Верхний слой обладает свойствами породного массива, ниже изображен слой угля. Красным цветом выделен слой угля, служащий для наглядности и упрощения отслеживания движения частиц угля. Модель позволяет изменять конструктивные и режимные параметры комплекса и разработана для оценки любых возможных вариантов технологии с выпуском угля для выработки наиболее рациональных для конкретных горно-геологических условий. В табл. 1 представлены основные параметры частиц.

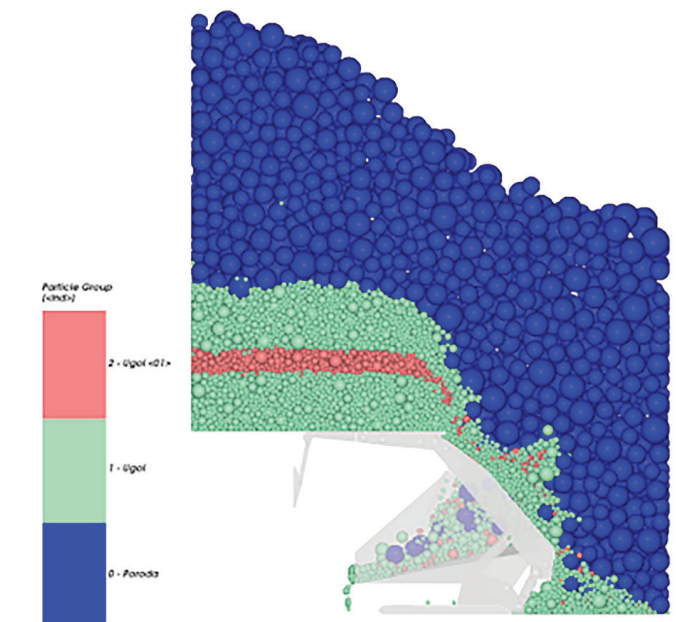


Рис. 2
Фрагмент имитационной модели выпуска угля одной секцией крепи

Fig. 2
A fragment of a simulation model of coal output by one section of the powered roof support

Выпуск угля через секцию крепи осуществляется ступенчатым питателем, параметры которого, определены в работе [18]: длина ступени – 0,7 м; толщина ступени – 0,05 м; угол наклона – 12°; скорость возвратно-поступательного движения – 0,5 Гц. Ширина одной секции – два метра, ши-

Таблица 1
Параметры частиц модели

Table 1
Model particle parameters

| | Уголь | Горный массив |
|--------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Физические параметры частиц | | |
| Модуль Юнга (упругости), ГПа | 2,4 | 13,58 |
| Коэффициент Пуассона | 0,25 | 0,35 |
| Плотность, кг/м ³ | 1300 | 2000 |
| Геометрические параметры частиц | | |
| Диаметр частиц, м | Соотношение, % | |
| 0–0,09 | 13,83 | – |
| 0,09–0,18 | 46,31 | – |
| 0,18–0,27 | 20,34 | – |
| 0,27–0,36 | 19,52 | 13,83 |
| 0,36–0,45 | – | 46,31 |
| 0,45–0,54 | – | 20,34 |
| 0,54–0,63 | – | 19,52 |
| Параметры контактов между частицами | | |
| Угол сопротивления качению, град | 20 | 20 |

рина окна питателя – один метр. Параметры скребкового конвейера аналогичны модели «Анжера-30» (ОАО «Анжеро-ромаш»): производительность 1000 т/ч, скорость движения тягового органа 0,65 м/с. Мощность пласта – 6,8 м. Моделируется выпуск угля подкровельной толщи после трёх передвижек.

Результаты численного моделирования выпуска угля подкровельной толщи

Разработанная модель технологии позволяет оценить перемещение горной массы во время выпуска, а также при передвижках. В экспериментах можно отследить потоки любого массива частиц. Для этого используются встроенные фильтры среды моделирования Rocky DEM, называемые пользовательскими процессами. С их помощью представляется возможным фильтровать частицы по различным признакам, таким как размер, материал, скорость движения и т.д. В разработанной модели использовался пользовательский процесс, анализирующий траекторию движения частиц как во всем объеме горного массива, так и по выделенной области. Также была задействована функция маркировки участков массива частиц. С её помощью массив частиц можно разделять на отдельные секторы, которым присваивается индивидуальная численная метка, с помощью которой в дальнейшем можно отследить поведение частиц, находящихся в выделенных секторах. Данный функционал полезен, например, при анализе смешивания частиц, или, в случае текущего исследования, для определения траекторий движений частиц при различных комбинациях работы секций крепи.

На рис. 3 приведены скриншоты оценки движения частиц по разным фильтрам.

Такой подход даёт возможность более глубокого изучения технологии с выпуском угля подкровельной толщи. Так, в экспериментах был показан «разворот» угля при передвижках непосредственно перед выпуском, что подтверждает вывод, сделанный ранее в работе [19] на экспериментальной установке. На рис. 4 приведены траектории движения частиц, рассчитанные с использованием числен-

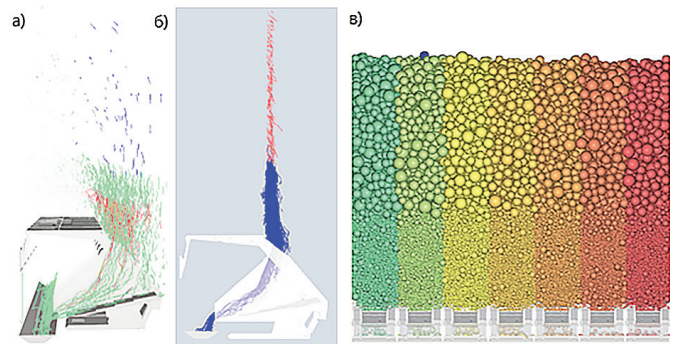


Рис. 3
Различные способы фильтрации массива частиц:
а – по группам;
б – по произвольной области;
в – по определенным секторам от общего объема углепородного массива

Fig. 3
Different ways to filter an array of particles:
а – by groups;
б – by a separate area;
в – by certain sectors of the total volume of the coal-bearing mass.

ной модели технологии после двух передвижек на интервале 290–430 с. Для наглядности представлена плотность траекторий – каждой 50-й частицы. В явном виде наблюдается явление «разворота» массива частиц, моделирующих угольный пласт, после трех передвижек непосредственно перед началом выпуска угля. Эта своеобразная подготовка обеспечивает повышение полноты извлечения полезного ископаемого при сохранении его качества.

Показанная на рис. 3 возможность оценки на разработанной модели перемещения произвольного объема углепородного массива позволит в дальнейшем расширить проведенные ранее исследования по определению рационального режима выпуска. Например, на рис. 5 показаны траектории движения частиц массива при выпуске угля площадным режимом, но с шагом через одну секцию. Видно, что уголь над неработающими секциями поступает

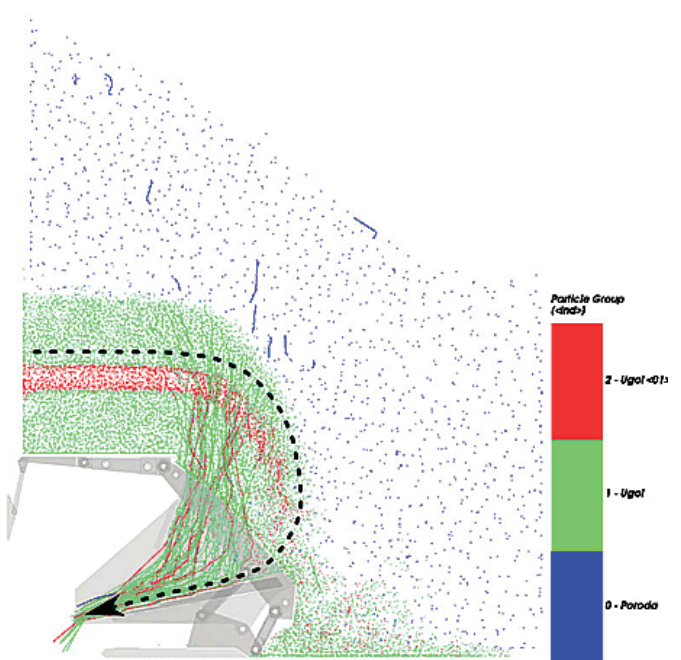


Рис. 4
Визуальное отображение «разворота» угольного массива в технологии с выпуском угля

Fig. 4
Visual representation of the “reversal” of the coal mass in the technology with drawing of coal



Рис. 5
Отображение результатов моделирования площадного режима выпуска угля с интервалом в одну секцию

Fig. 5
Visualization of the results of modeling the areal mode of coal drawing with an interval of one section

в выпускные окна соседних секций, при этом остаются незначительные участки невыпущенного угля. Разработанная модель позволит оценить производительность выпуска, качество сырья и возможные потери для данного и других неявных, но потенциально более эффективных, чем рассчитанные ранее варианты.

Для оценки потерь угля по массе после выпуска задействованы специальные пользовательские процессы, собирающие в реальном времени статистику по входящим и выходящим за рамки определенного диапазона частицам, а также по фактической заполненности данного диапазона (рис. 6).

Исходя из входных данных, расчётная масса добытого угля, находящегося в объеме трех передвижек для одной секции крепи при отсутствии потерь, должна составлять 42,4 т. Получить такой объем добычи угля в реальных условиях технически сложно, т.к. обеспечить полноту выпуска

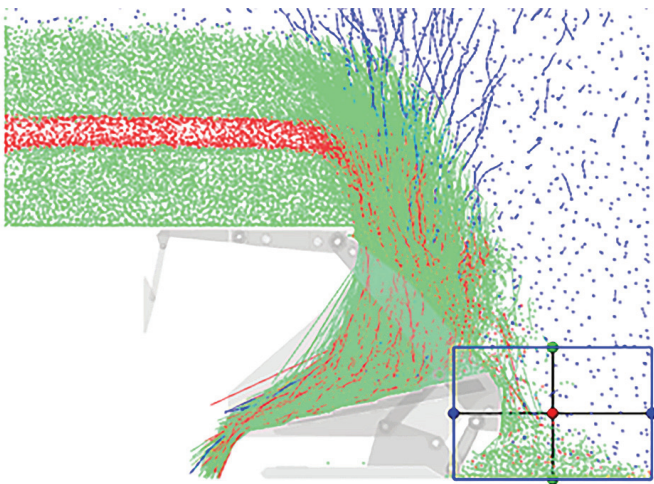


Рис. 6
Пользовательский процесс для определения потерь угля

Fig. 6
User process for determining coal losses

практически невозможно. Проведенные исследования показывают, что в процессе выпуска более тяжелые и объемные частицы породы «проникают» сквозь частицы угля и быстрее достигают выпускного окна, что приводит к разубоживанию (рис. 7). При этом над выпускным окном ещё имеется достаточно большой объем угля. Вопросу определения режимов выпуска, позволяющих минимизировать снижение качества добываемого угля, а также критерию остановки процесса по достижению границы «порода-уголь» посвящен цикл работ, который будет опубликован позднее.

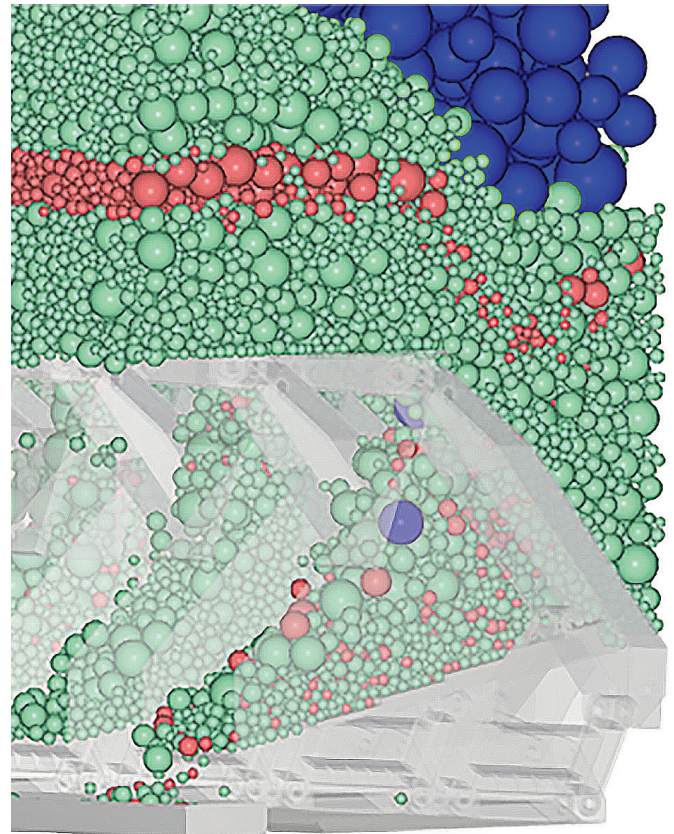


Рис. 7
Раннее достижение крупной частицы породы выпускного окна

Fig. 7
Early reach of the draw hole by a large rock particle

В настоящем исследовании принято, что процесс выпуска будет остановлен по достижению содержания породы в количестве 20% на протяжении 56 с. При этом общая масса частиц в объеме пользовательского процесса составила 9,14 т, из них масса частиц угля – 2,32 т. Исходя из полученных данных при выбранных условиях потери угля составляют 5,48%.

Выводы

В результате проведенного исследования с использованием метода дискретных элементов разработана имитационная модель функционирования механизированной крепи нового типа, позволяющая реализовать технологию с выпуском угля подкровельной толщи. На её основе проведены имитационные эксперименты по исследованию процессов, происходящих во время выпуска. Подтверждено явление «разворота» угольного массива непосредственно перед началом и в процессе выпуска при использова-

нии нового типа крепи, что дает возможность обеспечить большую полноту выпуска при высоком качестве добытого сырья. Показана возможность применения разработанной модели для исследования потоков углеродного массива при реализации технологии добычи угля из мощных пологих пластов, что даст возможность выявления

новых закономерностей и путей повышения эффективности технологии до её внедрения на угольных шахтах. Определен уровень потерь угля, оставшегося в выработанном пространстве при определенных условиях, доказывающий эффективность прогрессивной технологии.

Список литературы

1. Демченко И.И. Новые подходы к ресурсосбережению в угольной промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1997;(5):120–122.
2. Jabinpoura A., Bafghib A.Y., Gholamnejad J. Application of vibration in longwall top coal caving method. *International Academic Journal of Science and Engineering*. 2016;3(2):102–109.
3. Kumar R., Singh A.K., Mishra A.K., Singh R. Underground mining of thick coal seams. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(6):885–896. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.09.003>
4. Hebblewhite B.K. Status and prospects of underground thick coal seam mining methods. In: *19th International mining congress and fair of Turkey, IMCET2005, Izmir, Turkey, June 9–12, 2005*, pp. 169–178. Available at: <https://vsip.info/status-and-prospects-of-underground-thick-coal-seam-mining-methods-pdf-free.html>
5. Guo J., Ma L., Wang Y., Wang F. Hanging wall pressure relief mechanism of horizontal section top-coal caving face and its application. *A Case Study of the Urumqi Coalfield, China. Energies*. 2017;10(9):1371. <https://doi.org/10.3390/en10091371>
6. Unver B., Yasitli N.E. Modelling of strata movement with a special reference to caving mechanism in thick seam coal mining. *International Journal of Coal Geology*. 2006;66(4):227–252. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.05.008>
7. Шундулиди И.А., Марков А.С., Калинин С.И., Егоров П.В. Выбор параметров технологии обработки мощных угольных пластов с выпуском межслоевых и подкровельных пачек угля. Кемерово: Кемер. отд-ние Акад. горн. наук; 1999. 257 с.
8. Клишин В.И., Фокин Ю.С., Кокоулин Д.И., Кубаньчбек Б. Разработка мощных пластов механизированными крепями с регулируемым выпуском угля. Новосибирск: Наука; 2007. 134 с.
9. Клишин В.И., Шундулиди И.А., Ермаков А.Ю., Соловьев А.С. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля. Новосибирск: Наука; 2013. 248 с.
10. Клишин В.И., Клишин С.В. Состояние и направление развития технологии разработки мощных угольных пластов механизированными крепями с выпуском. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2019;(1):162–173.
11. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ; 2004. 846 с.
12. Конюх В.Л., Зиновьев В.В. Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2011. 243 с.
13. Aalst W.M.P., Stahl C., Modeling business processes: A petri net-oriented approach. MA, Cambridge: MIT Press; 2011. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8811.001.0001>
14. Девятков В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития. М.: Вузовский учебник; ИНФРА-М; 2013. 448 с.
15. Павлова Л.Д. Моделирование геомеханических процессов в разрушаемом углеродном массиве. Новокузнецк: СибГИУ; 2005. 239 с.
16. Starodubov A.N., Sinoviev V.V., Klishin V.I. Research of draw mining method modes using simulation model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 377:012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/377/1/012032>
17. Стародубов А.Н., Зиновьев В.В., Клишин В.И., Крамаренко В.А. Применение имитационного моделирования для исследования режимов выпуска угля подкровельной толщи. В кн.: *Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы 9-й Всероссий. науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности (ИММОД-2019), г. Екатеринбург, 16–18 октября 2019 г.* Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т; 2019. С. 540–547.
18. Клишин В.И., Худынцев Е.А. Создание механизированных комплексов с выпуском для подземной разработки мощных угольных пластов. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2022;(6):96–106. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2022-6-96-106>
19. Клишин В.И., Варфоломеев Е.Л., Борисов И.Л. Экспериментальные исследования процесса выпуска угля подкровельной толщи на макетных образцах секций механизированной крепи. *Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов*. 2019;(5):131–134

References

1. Demchenko I.I. New approaches to resource conservation in the coal industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 1997;(5):120–122. (In Russ.)
2. Jabinpoura A., Bafghib A.Y., Gholamnejad J. Application of vibration in longwall top coal caving method. *International Academic Journal of Science and Engineering*. 2016;3(2):102–109.
3. Kumar R., Singh A.K., Mishra A.K., Singh R. Underground mining of thick coal seams. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(6):885–896. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.09.003>
4. Hebblewhite B.K. Status and prospects of underground thick coal seam mining methods. In: *19th International mining congress and fair of Turkey, IMCET2005, Izmir, Turkey, June 9–12, 2005*, pp. 169–178. Available at: <https://vsip.info/status-and-prospects-of-underground-thick-coal-seam-mining-methods-pdf-free.html>
5. Guo J., Ma L., Wang Y., Wang F. Hanging wall pressure relief mechanism of horizontal section top-coal caving face and its application. *A Case Study of the Urumqi Coalfield, China. Energies*. 2017;10(9):1371. <https://doi.org/10.3390/en10091371>

6. Unver B., Yasitli N.E. Modelling of strata movement with a special reference to caving mechanism in thick seam coal mining. *International Journal of Coal Geology*. 2006;66(4):227–252. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.05.008>
7. Shundulidi I.A., Markov A.S., Kalinin S.I., Egorov P.V. *The choice of parameters of the technology of mining of high-power coal seams with the release of interlayer and underlay bundles of coal*. Kemerovo: Kemerovo Branch of the Academy of Mining Sciences; 1999. 258 p. (In Russ.)
8. Klishin V.I., Fokin Yu.S., Kokoulin D.I., Kubanychbek B. *Development of powerful layers with mechanized supports with controlled coal output*. Novosibirsk: Nauka; 2007. 135 p. (In Russ.)
9. Klishin V.I., Shundulidi I.A., Ermakov A.Y., Soloviev A.S. *Technology for the development of reserves of powerful shallow layers with the release of coal*. Novosibirsk: Nauka; 2013. 248 p. (In Russ.)
10. Klishin V.I., Klishin S.V. Current state and direction of development of thick coal seams excavation technology by powered roof supports with controlled coal discharge. *Izvestiya Tulkogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2019;(1):162–173. (In Russ.)
11. Kelton V., Low A. *Simulation modeling. Classic CS*. 3rd ed. St. Petersburg: Piter; Kiev: BHV Publishing Group; 2004. 846 p. (In Russ.)
12. Konyukh V.L., Zinoviev V.V. *Discrete-event simulation of underground mining*. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2011. 243 p. (In Russ.)
13. Aalst W.M.P., Stahl C., *Modeling business processes: A petri net-oriented approach*. MA, Cambridge: MIT Press; 2011. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8811.001.0001>
14. Devyatkov V.V. *Methodology and technology of simulation studies of complex systems: current state and prospects of development*. Moscow: Vuzovskiy uchebnyk; INFRA-M; 2013. 448 p. (In Russ.)
15. Pavlova L.D. *Modeling of geomechanical processes in a destructible carboniferous massif*. Novokuznetsk: SibGIU; 2005. 239 p. (In Russ.)
16. Starodubov A.N., Sinoviev V.V., Klishin V.I. Research of draw mining method modes using simulation model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 377:012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/377/1/012032>
17. Starodubov A.N., Sinoviev V.V., Klishin V.I., Kramarenko V.A. Application of simulating modeling for research of subvel caving modes. In: *Simulation modeling. Theory and practice: Proceedings of the ninth All-Russian scientific and practical conference on simulation modeling and its application in science and industry (IMMOD-2019)*. Ekaterinbur, October 16–18, 2019. Ekaterinburg: Ural State Pedagogical University; 2019, pp. 540–547. (In Russ.)
18. Klishin V.I., Khudyntsev Ye.A. Designing mechanized support complexes with coal release for underground development of thick coal seams. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2022;(6):96–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2022-6-96-106>
19. Klishin, V.I., Varfolomeev E.L., Borisov I.L. Experimental studies of the process of producing coal of the under-roof layer on mock-up samples of sections of mechanized support. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov*. 2019;(5):131–134. (In Russ.)

Информация об авторах

Стародубов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7577-9210>; e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

Клишин Владимир Иванович – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор, директор Института угля, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8346-8068>; e-mail: klishinvi@ic.sbras.ru

Кадочигова Арина Николаевна – ведущий инженер, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: arina.kadochigova@mail.ru

Каплун Анастасия Вячеславовна – ведущий инженер, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: nastiakaplun@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 01.10.2023

Поступила после рецензирования: 09.11.2023

Принята к публикации: 22.11.2023

Information about the authors

Aleksey N. Starodubov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of Laboratory of the Institute of Coal, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7577-9210>; e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

Vladimir I. Klishin – Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Director of the Institute of Coal, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8346-8068>; e-mail: klishinvi@ic.sbras.ru

Arina N. Kadochigova – Senior Engineer of the Institute of Coal, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: arina.kadochigova@mail.ru

Anastasia V. Kaplun – Senior Engineer of the Institute of Coal, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: nastiakaplun@yandex.ru

Article info

Received: 01.10.2023

Revised: 09.11.2023

Accepted: 22.11.2023