

Научная статья

УДК 004.942; 622.3

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-171-181

ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ С УПРАВЛЯЕМЫМ ВЫПУСКОМ УГЛЯ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Стародубов Алексей Николаевич^{1,2}

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

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

Аннотация.

Методы подземной разработки мощных пологих угольных пластов, обеспечивающих значительную долю мировой добычи (12%), совершенствуются во многих странах. Как правило, мощные пласти содержат значительные запасы высококачественных марок угля, востребованных на рынке. Широкое применение получили технологии, разработанные в СССР и Франции, в которых уголь разрушается под действием горного давления и затем выпускается на забойный или завальный конвейер. Необходимость эффективной разработки мощных пластов стимулирует развитие новых технологий и оборудования, что способствует прогрессу в горной промышленности. Использование разрабатываемой в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН технологии отработки мощных угольных пластов с управляемым выпуском угля подкровельной и межслоевой толщи на забойный конвейер посредством механизированной крепи с выпускным окном в поддерживающей части, регулируемым питателем и подвижным заслоном, обеспечивает высокую производительность и полноту выемки. Это достигается за счет формирования разворота потока угля при передвижке крепи, аналогично традиционной технологии с циклической остановкой очистного комбайна для выпуска подкровельной толщи. Численное моделирование на разработанных моделях с использованием метода дискретных элементов выявило, что технология эффективна в большинстве горно-геологических условий за исключением ситуаций с неустойчивой ложной или непосредственной кровлей малой мощности и устойчивой основной кровлей. Проблема заключается в отсутствии постоянного площадного подпора на угольный пласт, что приводит к вклиниванию пустой породы в угольный массив и потере угля. Для повышения эффективности и безопасности требуется предварительная дезинтеграция пород основной кровли с целью обеспечения постоянного подпора угольного пласта, минимизации потерь угля в завальном пространстве и, как следствие, снижения вероятности динамических явлений и самовозгорания угля.



Информация о статье

Поступила:

25 сентября 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2025 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2025 г.

Опубликована:

22 декабря 2025 г.

Ключевые слова:

подземные горные работы, выпуск угля подкровельной толщи, механизированная крепь, численное моделирование, метод дискретных элементов, мощный пологий пласт

Для цитирования: Стародубов А.Н. Обоснование области применения технологии выемки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля средствами компьютерного моделирования // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 6 (172). С. 171-181. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-171-181, EDN: YAPFAM

Введение

Проведено обоснование области горно-геологических и горнотехнических условий, при

которых целесообразно и наиболее эффективно с точки зрения производительности и полноты выемки применение технологии выемки мощных

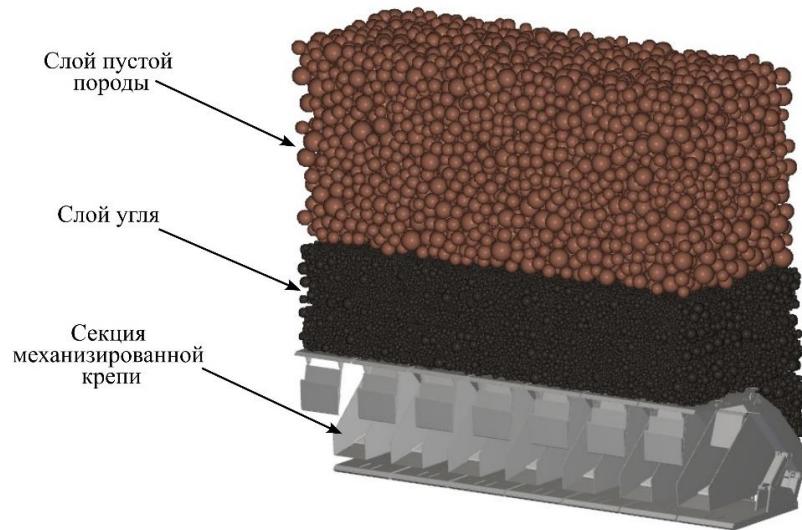


Рис. 1. 3D-вид численной модели роботизированного комплекса с управляемым выпуском
Fig. 1. 3D view of a numerical model of a robotic complex with controlled coal output

пологих пластов с управляемым выпуском угля на забойный конвейер с использованием специальной механизированной крепи. Разработанные ранее имитационные дискретно-стохастические модели не учитывают физических характеристик горной массы, а также не содержат в себе математической базы расчета соударений частиц [1]. Для преодоления изложенных недостатков предложена новая модель, построенная в среде численного 3D-моделирования Rocky DEM [2-3]. Программное обеспечение позволяет анализировать движения частиц с помощью метода дискретных элементов (DEM). В основе данного метода лежит идея о том, что частицы в некоторой гранулированной среде, обладая определенным положением относительно друг друга в пространстве и начальной скоростью, взаимодействуют за счет контактных сил трения и тяготения [4]. С помощью DEM представляется возможным описывать траекторию движения частиц, учитывая при этом физические свойства их материала. Метод подходит для моделирования гравитационного движения предварительно разупрочненной горной массы.

Разработка численной модели

При разработке численной модели использовались встроенные в применяемое программное обеспечение математические модели: для нормальной составляющей контактной силы выбрана модель вязкоупругого взаимодействия на основе закона Герца [5] и Hysteretic Linear Spring [6]; для тангенциальных сил – модель Миндлина и Дересевича [7-8]; Модель сил сопротивления качения – Ture C: Linear Spring Rolling Limit, для нормальной составляющей силы – модель пружины Герца (Hertzian Spring-Dashpot) [7].

На Рис. 1 представлена трехмерная имитационная модель крепи с семью секциями.

Она позволяет изменять конструктивные и режимные параметры комплекса и, как следствие, добиваться максимально возможной производительности выпуска при равномерном и полном заполнении конвейера.

В Таблице 1 представлены основные параметры частиц, изображенных на Рис. 1, где верхний слой (обозначенный коричневым цветом) обладает свойствами породного массива,

Таблица 1. Физические параметры материалов в модели

Table 1. Physical parameters of materials in the model

Параметры	Уголь	Горный массив	Сталь
<i>Физические параметры частиц</i>			
Модуль Юнга (упругости), ГПа	2.40	13.58	190
Коэффициент Пуассона	0.16	0.21	0.3
Плотность, кг/м ³	1300	2000	7800
<i>Геометрические параметры частиц</i>			
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	
<i>Параметры контактов между частицами</i>			
Коэффициент сопротивления качению	0.2	0.2	–

ниже (черный цвет) изображен слой, обладающий свойствами угольного пласта. Геометрические и физические параметры частиц должны подбираться из условий разрабатываемых месторождений и не влияют на сущность предлагаемого подхода, однако для повышения адекватности были сформулированы на основе работ китайских, индийских и американских авторов [9-10].

Выпуск угля через секцию крепи осуществляется питателем, установленным в перекрытии механизированной крепи. Питатель, выполняя возвратно-поступательные движения, должен равномерно регулировать движение угля через выпускное отверстие. В работах В.И. Клишина и Е.А. Худынцева [11-12] было установлено, что наибольшей производительностью обладает ступенчатый питатель, у которого рабочая поверхность направлена вдоль плоскости движения, ориентированной под углом к горизонту (Рис. 2). Параметры питателя, используемые в модели: $ls = 0.7 \text{ м}$; $hs = 0.05 \text{ м}$; $\alpha = 12^\circ$; $v = 0.5 \text{ Hz}$; $A = 0.15 \text{ м}$, где v – частота возвратно-поступательного движения, A – амплитуда движения. Ширина одной секции – два метра, ширина окна питателя – один метр. Параметры скребкового конвейера аналогичны модели «Анжера-30» (ОАО «Анжеромаш»): производительность 1000 т/ч, скорость движения тягового органа 1.0 м/с.

В модели для ускорения времени расчетов используется представление кусков угля частицами сферической формы, но с

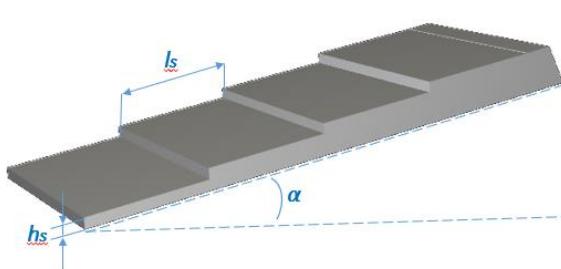


Рис. 2. Ступенчатый питатель с параметрами: $ls = 0.7 \text{ м}$; $hs = 0.05 \text{ м}$; $\alpha = 12^\circ$; $v = 0.5 \text{ Hz}$; $A = 0.15 \text{ м}$

Fig. 2. Step feeder with parameters: $ls = 0.7 \text{ m}$; $hs = 0.05 \text{ m}$; $\alpha = 12^\circ$; $v = 0.5 \text{ Hz}$; $A = 0.15 \text{ m}$

параметрами, обеспечивающими подобие многогранным частицам. Созданы модели (Рис. 3) с заполнением моделируемого объема частицами разной формы. Многогранные частицы имеют схожее сферам распределение по размерам, представленным в Таблице 1, но с характерными дополнительными параметрами (Таблица 2).

Проведенные эксперименты по сравнению моделей позволили установить значения параметров и применяемые модели взаимодействия частиц (коэффициенты статического и динамического трения, коэффициент восстановления) (Таблица 3), требуемые для сохранения подобия поведения частиц (Рис. 4).

По характеру траекторий движения частиц модели соответствуют представлениям, описанным в работах А.А. Крамаджяна, С.Б.

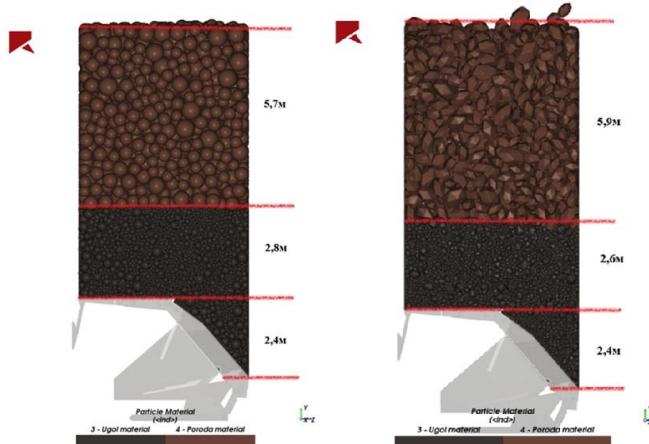


Рис. 3. Заполнение моделируемого объема частицами разной формы
Fig. 3. Filling the simulated volume with particles of different shapes

Таблица 2. Параметры формы многогранных частиц
Table 2. Shape parameters of polyhedral particles

Параметры	Уголь	Порода
Соотношение сторон по вертикали	1.25	1.5
Соотношение сторон по горизонтали	0.7	0.75
Сглаживание	1	0.25
Количество углов	11	15
Суперквадратичная степень	6.2	2

Стажевского и Г.Н. Хана [13-14] и продемонстрированным в работе Лаптева В.В. [15].

Исследования показали, что расчет модели с многогранными частицами требует до 26 раз больше физического времени по сравнению с моделью со сферическими частицами (Таблица 4), поэтому в дальнейших расчетах будут использоваться модели со сферическими частицами.

Проверка адекватности разработанных моделей осуществлена сравнением модельных данных с результатами аналогичных исследований других авторов [12], лабораторными исследованиями на физической установке (Рис. 5а), а также по соответствуанию угла естественного откоса модельных частиц реальным значениям (Рис. 5б). Результаты оценки показали высокий уровень сходимости результатов.

Результаты экспериментов

На разработанных моделях 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 извлечения угля применение технологии выемки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля на забойный конвейер с использованием специальной механизированной крепи.

Установлено влияние ширины выпускного окна на значение массового расхода угля для механизированных крепей шириной 1.75 м, 2 м, 2.4 м и 2.75 м (Рис. 6). 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.

Установлено, что применение технологии отработки мощных угольных пластов с выпуском угля подкровельной и межслоевой толщи на забойный конвейер с применением механизированной крепи позволяет обеспечить высокую производительность и полноту выемки за счет формирования

разворота потока угля. Формирование разворота впервые описано в работах чл.-корр. РАН В.И. Клишина [16] и подтверждено проведением физических исследований на лабораторной установке [11]. Использование разработанных моделей позволило установить диапазон параметров геотехнологии, при которых

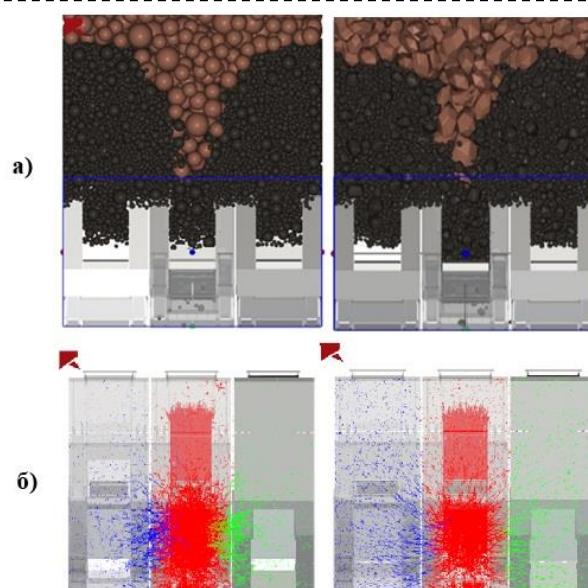


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования при найденных параметрах частиц разной формы: а) частицы вид сзади; б) траектории частиц по сектору над каждой крепью, вид сверху
Fig. 4. Comparison of simulation results with the found parameters of particles of different shapes: a) particles rear view; b) particle trajectories along the sector above each support, top view

Таблица 3. Параметры моделей, обеспечивающие подобие поведения частиц сферической формы многогранным частицам
Table 3. Model parameters that ensure the similarity of the behavior of spherical particles to polyhedral particles

Параметры модели	Со сферическими частицами	С многогранными частицами
Модель нормальной силы	Hertzian Spring Dashpot	Hysteretic linear Spring
Модель касательной силы	Mindlin-Deresiewicz	Linear Spring Coulomb Limit
Коэффициент сопротивления качению	0.2	0.1
Тип заполнения	Volume Fill	Continuous Injection
Заполнение породой	196 558кг	194 624кг
Заполнение углем	81 851кг	80 862кг

Таблица 4. Время моделирования при использовании разных форм частиц
Table 4. Simulation time when using different particle shapes

Ключевые моменты моделирования и их длительность в модели	Сферические частицы, мин	Многогранные частицы, мин
Генерация частиц (2 с / 6 с)	5	121
Выпуск (113 с / 179 с)	307 (~5 ч)	13 086 (~9 дней)
Равное модельное время (100 с / 100 с)	272 (~4.5 ч)	7 422 (~5 дней)
Достижение одинакового результата (272 с /309 с)	312 (~5 ч)	13 347 (~9 дней)

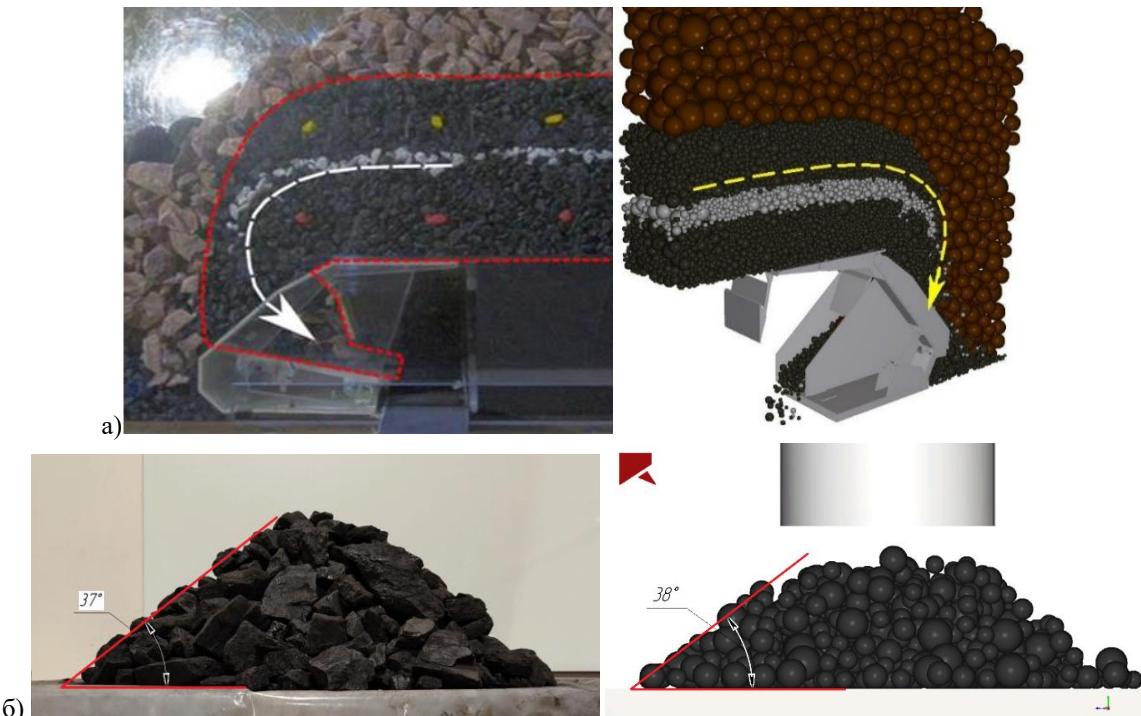


Рис. 5. Оценка адекватности моделей а) сравнением с результатами физического моделирования авторов В.И. Клишина и др. и б) через определение угла естественного откоса
Fig. 5. Assessment of the validity of models a) by comparison with the results of physical modeling by V.I. Klishin et al. and b) by determining the angle of repose

Fig. 5. Assessment of the validity of models a) by comparison with the results of physical modeling by V.I. Klishin et al. and b) by determining the angle of repose

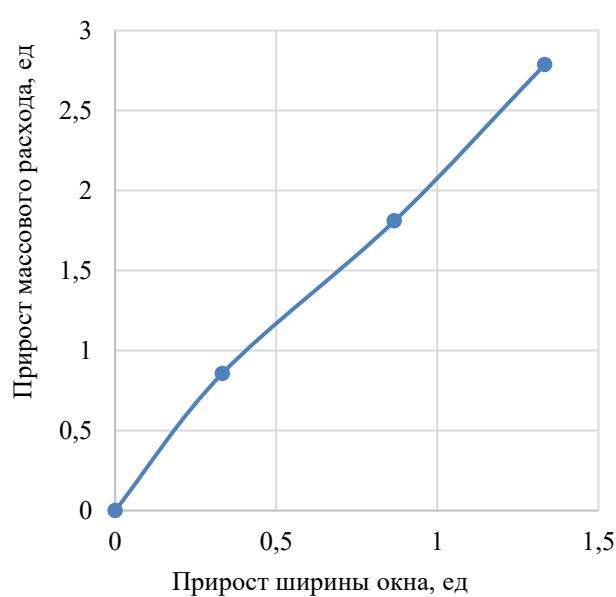
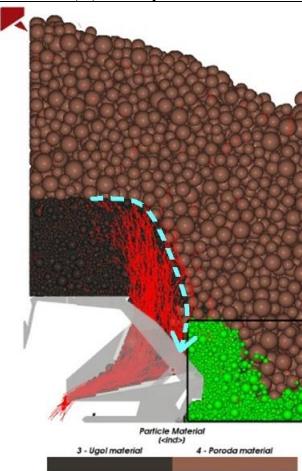
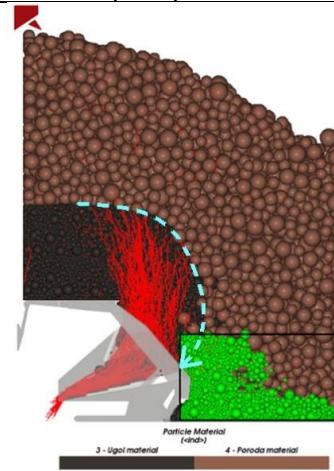
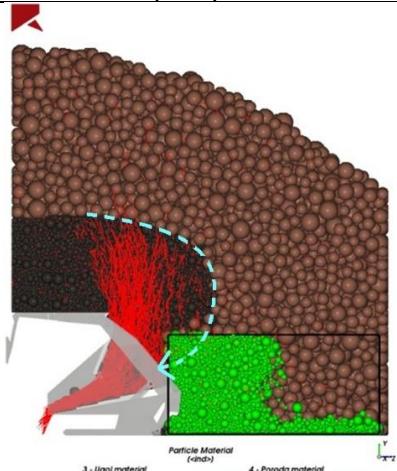


Рис. 6. График зависимости роста массового расхода угля от роста ширины выпускного окна
Fig. 6. Graph of the dependence of the increase in mass flow rate of coal on the increase in the width of the output window

Таблица 5. Результаты исследования влияния количества передвижек секций между последовательными актами выпуска

Table 5. The results of the study of the effect of the number of movements of sections between successive acts of coal output

Две передвижки	Три передвижки	Четыре передвижки
		
Скорость подвигания забоя без учета выемки комбайном, м/с		
0.016	0.02	0.024
Приведенные к 1 метру подвигания забоя потери, т		
1.47	1.36	1.97

происходит это явление, а также уточнить их значения, оказывающие наилучшее влияние на показатели эффективности.

В Таблице 5 показана форма разворота угля после передвижки секции перед выпуском, уровень потерь угля в завальном пространстве и скорость подвигания забоя без учета времени

выемки комбайном при двух-, трех- и четырехкратной передвижке крепи между последовательными актами выпуска.

При двух передвижках величины подвигания недостаточно для полноценного разворота угольного массива, а при четырех наблюдается явление вклинивания потока пустой породы и выдавливания угля в завальное пространство (Рис. 7) во время выпуска.

Таким образом установлено, что высокую производительность и полноту выемки за счет формирования разворота потока угля можно обеспечить при трехкратной передвижке крепи.

Экспериментами установлено влияние свойств кровли на показатели эффективности геотехнологии. Определено влияние толщины предварительно разупрочненного массива породы на процесс выпуска угля подкровельной толщи. На Рис. 8а представлен пример пяти вариантов выпуска угольной пачки мощностью 2.8 м: с толщиной разупрочненного породного массива, при которой масса породы значительно превышает массу выпускаемого угля – 12 м и 6 м; вариант, когда масса породы соответствует массе угля – 2.3 м; и варианты с ложной кровлей 1 м и 0.5 м. Серий экспериментов в широком диапазоне взаимных сочетаний мощности выпускаемой угольной пачки и предварительно разупрочненной кровли показано, что применение технологии эффективно при наличии постоянного площадного подпора пустой породой не менее 3 т/м² при выпускаемой мощности угля более 2.5 м и в отношении по массе не менее 1:1 при меньшей

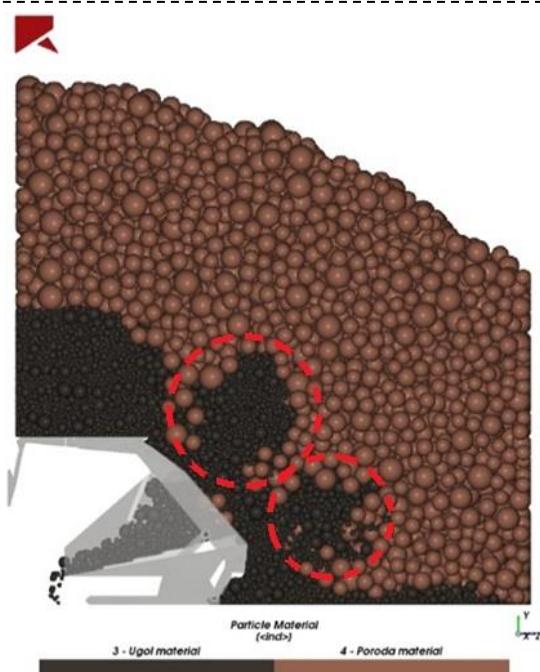


Рис. 7. Явление вклинивания пустой породы и выдавливания угля при четырех передвижках
Fig. 7. The phenomenon of wedging of draw rock and coal extrusion during four movements

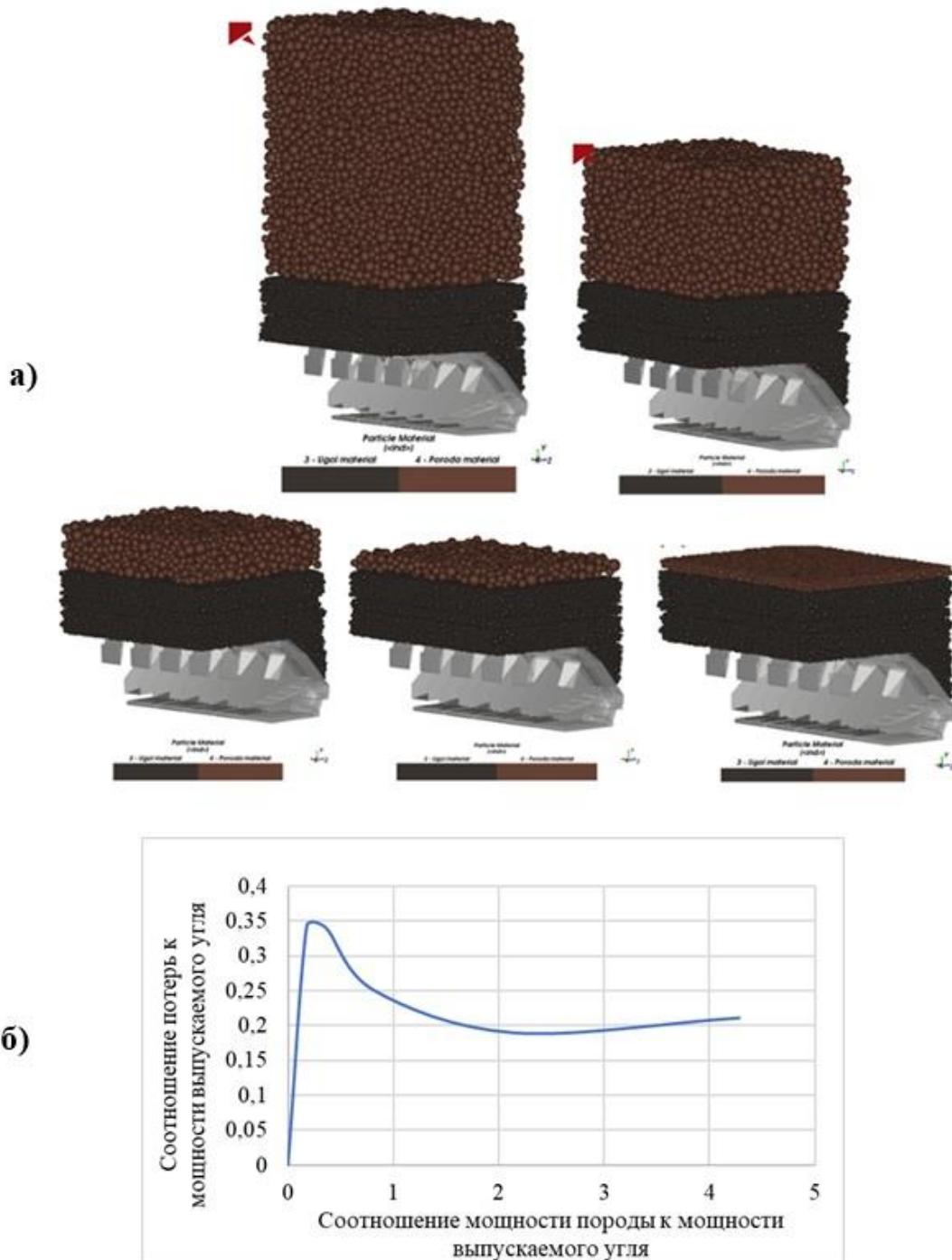


Рис. 8. а) модели выпуска с толщиной породного массива 12 м, 6 м, 2.3 м, 1 м и 0.5 м и б) величина потерь угля на 1 м подвигания забоя в зависимости от мощности породы, участвующей в выпуске

Fig. 8. a) models of coal output with rock mass thickness of 12 m, 6 m, 2.3m, 1m and 0.5 m and b) the amount of coal loss per 1 m of face movement depending on the thickness of the rock involved in the release

его мощности (Рис. 8б).

При меньшей величине соотношения породного массива к угльному наблюдается эффект, схожий в варианте с четырьмя передвижками, выталкивания пустой породой угольного массива в забойное пространство (Рис. 9а). При значительном превышении мощности угольной пачки происходит неконтролируемая диффузия пустой породы в массив угля – разубоживание (Рис. 9б).

Вывод

Применение технологии отработки мощных угольных пластов с выпуском угля подкровельной и межслоевой толщи на забойный конвейер с применением механизированной крепи, оборудованной выпускным окном в поддерживающей части, регулируемым по производительности питателем и подвижным заслоном, позволяет обеспечить высокую производительность и полноту выемки

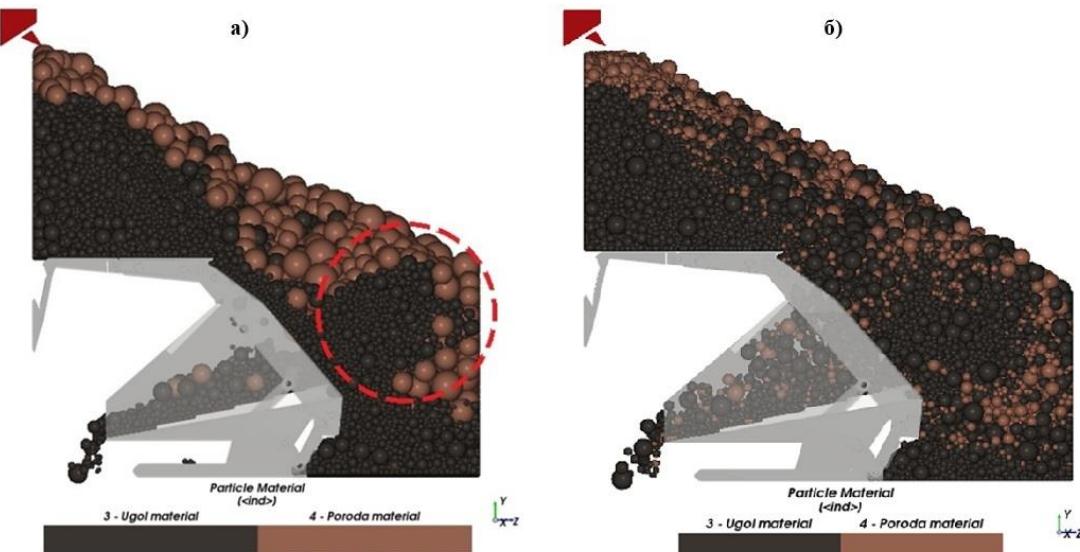


Рис. 9. Снижение показателей эффективности геотехнологии при малом соотношении мощностей разупрочненной кровли и угольной пачки а) при толщине породного слоя 1 м и б) при толщине породного слоя 0.5 м

Fig. 9. A reduce in the efficiency of geotechnology with a small ratio of the capacities of the softened roof and the coal pack a) with a rock layer thickness of 1m and b) with a rock layer thickness of 0.5 m

за счет формирования разворота потока угля при передвижке крепи аналогично традиционной технологии с последующей остановкой очистного комбайна и выпуском подкровельной пачки угля в определенных режимах.

Численным моделированием установлено, что технология показывает высокую эффективность в большинстве горно-геологических условий, кроме наличия неустойчивой ложной или непосредственной кровли незначительной мощности (менее 3 т/м² при выпускаемой мощности угля более 2.5 м и в отношении по массе менее 1:1 при меньшей мощности) и устойчивой основной ввиду отсутствия постоянного площадного подпора на угольный пласт сверху, в результате чего поток пустой породы вклинивается в угольный пласт в направлении выпускного окна, замещая собой угольный массив, выталкиваемый в завальную часть и не подлежащий дальнейшему выпуску.

Для повышения эффективности и безопасности технологии требуется проведение мероприятий по предварительной дезинтеграции пород основной кровли для обеспечения постоянного подпора сверху угольного пласта с целью минимизации потерь угля в призабойной полосе, снижения объема пустого пространства (которое становится гораздо большим по сравнению с традиционной выемкой) и, как следствие, снижение вероятности динамических явлений и самовозгорания 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). Автор благодарит Кадочигову А.Н. за помощь в проведении экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Стародубов А. Н., Зиновьев В. В., Крамаренко В. А. Применение имитационного моделирования для исследования режимов выпуска угля подкровельной толщи // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности : Труды конференции, Екатеринбург, 16–18 октября 2019 года. Екатеринбург : Издательство Уральского государственного педагогического университета, 2019. С. 540-547.
- ESSS Rocky, Release 4.3, Workshop 10. Bucket Conveyor Part A: Project Setup and Processing, ESSS Rocky DEM, S.R.L. 2021.
- ESSS Rocky, Release 4.4, Workshop 03. Vibrating Screen Part A: Project Setup and Processing, ESSS Rocky DEM, S.R.L. 2021.
- Cundall P. A, Strack, D. L. A discrete numerical model for granular assemblies // Geotechnique. 1979. Vol. 29. Issue 1. Pp. 47-65. DOI: 10.1680/geot.1979.29.1.47.
- ESSS Rocky, Release 4.5.2, User Manual, ESSS

- Rocky DEM, S.R.L. 2021.
6. Walton O. R., Braun R. L. (1986). Viscosity, granular-temperature, and stress calculations for shearing assemblies of inelastic, frictional disks // Journal of Rheology. 1986. № 30. Pp. 948–980.
7. Hertz H. Über die berührung fester elastischer Körper // Journal für die reine und angewandte Mathematik. 1882. Vol. 92. Pp. 156-171.
8. Mindlin R. D., Deresiewicz H. Elastic Spheres in Contact under Varying Oblique Force // ASME, Journal of Applied Mechanics. 1953. Vol. 20. Pp. 327-344. DOI: 10.1115/1.4010702.
9. Huo Y., Zhu D., Wang Z., Song X. Numerical investigation of top coal drawing evolution in longwall top coal caving by the coupled-finite difference method-discrete element method // Energies. 2021. Vol. 14. Issue 1. P. 219. DOI: 10.3390/en14010219. EDN: WOJBTK
10. Wang J., Wei W., Zhang J., Mishra B., Li A. Numerical investigation on the caving mechanism with different standard deviations of top coal block size in LTCC // International Journal of Mining Science and Technology. 2020. Vol. 30. Issue 5. Pp. 583-591. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.06.001. EDN: VXGLWW
11. Худынцев Е. А. Влияние конструкции питателя на массовый расход угля и сил, действующих на питатель в процессе выпуска угля подкровельной толщи // Развитие-2021 : Научное электронное издание, Кемерово, 11-13 мая 2021 года. Кемерово : Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2021. С. 78-90. DOI: 10.53650/9785902305620_78. EDN: DRYFAS
12. Худынцев Е. А., Клишин С. В., Клишин В. И. Исследование питателя механизированной крепи для выемки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2(160). С. 31-38. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-31-38. EDN: HTJFGE
13. Крамаджян А. А., Русин Е. П., Стажевский С. Б., Хан Г. Н. О механизме формирования пиковской нагрузки на подбункерные питатели обогатительных фабрик // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 6. С. 19-27.
14. Стажевский С. Б., Хан Г. Н. Об изменениях напряженно-деформированного состояния месторождений полезных ископаемых // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017. № 2(4). С. 157-162.
15. Лаптев В. В. Исследование механизма формирования потерь и разубоживания руды на основе численного моделирования процесса торцевого выпуска: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лаптев Владимир Викторович. 2023. 128 с.
16. Клишин В. И., Фокин Ю. С., Кокоулин Д. И., Кубанычбек У. Б. Технология принудительно управляемого выпуска межслоевой толщи угля и механизированная крепь для ее осуществления // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 8. С. 11-22.

© 2025 Авторы. 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**JUSTIFICATION OF THE APPLICATION AREA OF THE TECHNOLOGY OF EXTRACTING THICK FLAT-LYING SEAMS WITH CONTROLLED COAL RELEASE BY MEANS OF COMPUTER MODELING**Alexey N. Starodubov^{1,2}¹ Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

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

Abstract.

Methods of underground mining of thick and gently dipping coal seams, which provide a significant share of global production (12%), are being improved in many countries. As a rule, thick seams contain substantial reserves of high-quality coal ranks that are in demand on the market. Technologies developed in the USSR and France, where coal is crushed under the influence of rock pressure and then released onto the face or waste conveyor, have been widely used. The need for efficient development of thick seams stimulates the advancement of new technologies and equipment, contributing to progress in the mining industry. The use of technology developed at the Institute of Coal of the FRC CCC SB RAS for mining thick coal seams with controlled release of coal of roof and interlayer strata onto the face conveyor, using mechanized support with a output window in the supporting part, an adjustable feeder, and a movable damper ensures high productivity and recovery dredging. This is achieved by forming a reversal of the coal flow during the movement of the mechanized support similar to the traditional technology with a cyclic stopping of the longwall combine for under-roof coal output. Numerical modeling on the developed models using the discrete element method has revealed that the technology is effective in most mining and geological conditions, except for situations with unstable false or immediate low-power roofs and stable main roof. The problem lies in the absence of constant area support on the coal seam, which leads to the wedging of draw rock into the coal mass and loss of coal. To increase efficiency and safety preliminary disintegration of main roof rocks is required in order to ensure constant support of the coal seam, minimize coal losses in the blockage space and consequently reduce the probability of dynamic phenomena and coal spontaneous combustion of coal.

**Article info**

Received:
25 September 2025

Accepted for publication:
15 November 2025

Accepted:
02 December 2025

Published:
22 December 2025

Keywords: subsurface mining, under-roof coal output, mechanized powered roof support, numerical simulation, discrete element method, thick and gently dipping coal seam

For citation: Starodubov A.N. Justification of the application area of the technology of extracting thick flat-lying seams with controlled coal release by means of computer modeling. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 6(172):171-181. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-171-181, EDN: YAPFAM

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). The author thanks Kadochigova A.N. for help in conducting experiments.

REFERENCES

1. Starodubov A.N., Sinoviev V.V., Klishin V.I., Kramarenko V.A. Application of simulating modeling for research of subvel caving modes. *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)*. Ekaterinburg: Ural State Pedagogical University. 2019:540-547. (In Russ)
2. ESSS Rocky, Release 4.3, Workshop 10. Bucket Conveyor Part A: Project Setup and Processing, ESSS Rocky DEM, S.R.L., 2021.

3. ESSS Rocky, Release 4.4, Workshop 03. Vibrating Screen Part A: Project Setup and Processing, ESSS Rocky DEM, S.R.L., 2021.
4. 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.
5. ESSS Rocky, Release 4.5.2, User Manual, ESSS Rocky DEM, S.R.L., 2021.
6. Walton O. R. Braun R. L. (1986). Viscosity, granular-temperature, and stress calculations for shearing assemblies of inelastic, frictional disks. *Journal of Rheology*. 1986; 30:948-980.
7. Hertz, H. Über die berührung fester elastischer Körper. *Journal für die reine und angewandte Mathematik*. 1882; 92:156-171.
8. Mindlin R.D., Deresiewicz H. Elastic Spheres in Contact under Varying Oblique Force. *ASME, Journal of Applied Mechanics*. 1953; 20:327-344. DOI: 10.1115/1.4010702.
9. Huo Y., Zhu D., Wang Z., Song X. Numerical investigation of top coal drawing evolution in longwall top coal caving by the coupled-finite difference method-discrete element method. *Energies*. 2021; 14(1):219. DOI: 10.3390/en14010219. EDN: WOJBTK
10. Wang J., Wei W., Zhang J., Mishra B., Li A. Numerical investigation on the caving mechanism with different standard deviations of top coal block size in LTCC. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020; 30(5):583-591. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.06.001. EDN: VXGLWW
11. Khudyntsev E.A. Influence of feeder construction on mass consumption of coal and forces acting on feeder in the process of you-starting coal of under-roof thickness. *Razvitiye-2021: Scientific Electronic Edition*. Kemerovo: FRC CCC SB RAS; 2021. Pp. 78-90. DOI: 10.53650/9785902305620_78. (In Russ)
12. Khudyntsev E.A., Klishin S.V., Klishin V.I. Researching powered support feeder for extracting thick flat-lying seams with controlled coal release. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;2(160):31-38. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-31-38. (In Russ)
13. Kramadzhyan A.A., Rusin E.P., Stazhevsky S.B., Khan G.N. Mechanism for generation of peak load on under-bin feeders at processing plants. *Journal of Mining Science*. 2015; 6:1077-1084.
14. Stazhevsky S.B., Khan G.N. On changes in stress-strain state of mineral deposits. *Fundamental and Applied Mining Science*. 2017;2(4):157-162. (In Russ)
15. Laptev V.V. Study of the mechanism of formation of losses and dilution of ore based on the numerical modeling of the process of face start-up: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Laptev Vladimir Viktorovich. 2023. 128 s. (In Russ)
16. Klishin V.I., Fokin Yu.S., Kokoulin D.I., Kubanychbek U.B. Model of coal fracturing for intensified methane recovery under vibrational impact. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;8:11-22. (In Russ)

© 2025 The Authors. 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 authors:

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, conceptualisation of research, data analysis, drawing the conclusions, writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

