Оригинальная статья

УДК 004.942; 622.3 © А.Н. Стародубов✉[1,2], В.В. Зиновьев[1,2], 2025

[1] ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН», 650065, г. Кемерово, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

Original Paper

UDC 004.942; 622.3 © A.N. Starodubov✉[1,2], V.V. Zinoviev[1,2], 2025

[1] Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation
[2] T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation
✉ e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

Методика повышения скорости и достоверности принятия решения при проектировании очистных работ в сложных горно-геологических условиях*

Methodology for increasing the speed and reliability of decision-making in the design of longwall mining operations in complex mining and geological conditions

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-10-99-106

Реализация перспективного направления – конструирования механизированных крепей с контролируемым выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер позволит обеспечить добычу полезного ископаемого, сосредоточенного в сложных горно-геологических условиях – мощных пластах. Проблема учета высокой динамичности, нестабильности и стохастичности процесса выпуска угля при исследовании различных режимов выпуска угля и определении рациональных режимов обусловливает использование имитационного и численного моделирования с применением современных программных средств. Вместе с тем применение только одного вида моделирования может не дать адекватного результата ввиду невоз-

СТАРОДУБОВ А.Н.
Канд. тех. наук, доцент, заместитель директора Института угля, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН», 650065, г. Кемерово, Россия,
доцент, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

ЗИНОВЬЕВ В.В.
Канд. тех. наук, доцент, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН», 650065, г. Кемерово, Россия,
доцент ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: zv150671@gmail.com

** Авторы выражают благодарность чл.-корр. РАН, доктору техн. наук, профессору Клишину В.И. и Кадочиговой А.Н. за оказанную помощь при проведении исследований и написании настоящей статьи. 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).*

можности учета, например, физико-химических свойств слагаемых горного массива либо потребует чрезмерно высоких вычислительных и временных ресурсов. В работе предложен подход итеративного применения разных видов компьютерного моделирования и программирования. Для первоначального единичного расчета максимального значения массового расхода при выпуске для определенных горно-геологических условий рекомендуется использование метода дискретных элементов с последующей передачей найденных значений для предварительного выбора режима технологии выемки мощных пологих пластов на основе теории массового обслуживания и дискретно-событийного моделирования. Затем с использованием метода дискретных элементов применительно к установленному режиму проводятся оценка найденного решения и вычисление массива крайних и ряда промежуточных значений параметров с учетом взаимовлияющих горно-геологических и горнотехнических условий. Для заполнения нерассчитанных значений массива возможных параметров предлагается использование методов интерполяции с последующим выбором наилучшего варианта методами перебора и окончательным уточнением методом дискретных элементов времени единичного выпуска с точки зрения комплексного сочетания показателей: выпущенной горной массы, процента разубоживания, потерь угля за крепью и частоты образования зависаний.

Ключевые слова: *метод дискретных элементов, компьютерное моделирование, подземные горные работы, выпуск угля подкровельной толщи, механизированная крепь, скорость выбора наилучшего варианта, мощный угольный пласт, очистные работы.*

Для цитирования: Стародубов А.Н., Зиновьев В.В. Методика повышения скорости и достоверности принятия решения при проектировании очистных работ в сложных горно-геологических условиях // Уголь. 2025;(10):99-106. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-10-99-106.

Abstract

The realization of a promising direction – designing of powered roof supports with controlled under-roof coal outlet onto a face conveyor – will enable mining of mineral resources concentrated in complex mining and geological conditions, specifically in thick seams. The problem of accounting for the high dynamism, instability and stochastic nature of the coal outlet process during the study of various outlet modes and determination of rational modes necessitates the use of simulation and numerical modeling with modern software tools. At the same time the use of only one type of modeling may not provide an adequate result due to the impossibility to take into account, for example, the physicochemical properties of the rock mass components, or it may require excessively high computational and time resources. The paper presents an approach involving the iterative application of programming and various types of computer modeling. For the initial single calculation of the maximum value of mass flow rate during outlet coal for specific mining and geological conditions, it is recommended to use the discrete element method (DEM), followed by transferring the found values for the preliminary selection of the technology mode for mining of thick and gently dipping coal seams based on queueing theory and discrete-event simulation. Then using the DEM as applied to the established mode, an assessment of the found solution is carried out and an array of extreme and a number of intermediate values of the parameters is calculated, taking into account the interrelated mining-geological and mining-technical conditions. To fill in the uncalculated values of the array of possible parameters, the use of interpolation methods is proposed, followed by the selection of the best option by enumeration methods and final refinement by the DEM of the time of a single outlet coal from the point of view of a complex combination of indicators: the outlet rock mass, percentage of dilution, coal losses behind the powered roof support and the frequency of formation of mined rock blocking.

Keywords

Discrete element method, computer simulation, underground mining, under-roof coal outlet, powered roof support, the speed of choosing the best option, powerful coal seam, longwall mining operations.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor V.I. Klishin and A.N. Kadochigova for their assistance in conducting research and writing this article. The work was carried out as part of the state assignment of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, project FWEZ-2024-0024 "Development of effective technologies for coal mining using robotic mining complexes without the constant presence of people in the mining areas, management systems, and methods for assessing the technical condition and diagnostics of their resource, as well as justification for ensuring the reproduction of the mineral resource base. 2024-2025" (registration number 124041100071-9).

For citation

Starodubov A.N. & Zinoviev V.V. Methodology for increasing the speed and reliability of decision-making in the design of longwall mining operations in complex mining and geological conditions. *Ugol'*. 2025;(10):99-106. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-10-99-106.

ВВЕДЕНИЕ

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН ведется разработка перспективного направления – конструирования механизированных крепей с контролируемым выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер, объединяющих достоинства известных вариантов и исключающих их недостатки [1, 2, 3]. Основным преимуществом их внедрения является использование регулируемых по скорости питателей в секциях крепи, а также специальных выпускных окон, позволяющих регулировать интенсивность выпуска угля на лавный скребковый конвейер. Оценка эффективности данной технологии требует определения рациональных режимов работы питателей секций крепи, обеспечивающих равномерную и максимально допустимую нагрузку очистного конвейера с учетом массы и объема сгружаемого угля.

Развитие перспективного направления создания технологии и оборудования выемки мощных пологих пластов

с управляемым выпуском угля зависит от обоснования и разработки технических и технологических решений и является актуальной научно-практической задачей. Проблема учета высокой динамичности, нестабильности и стохастичности процесса выпуска угля при исследовании различных режимов выпуска угля и определении рациональных режимов затрудняет использование аналитических моделей, поэтому наиболее подходящим инструментом для исследований является использование имитационного и численного моделирования с применением современных программных средств [4, 5, 6, 7]. Благодаря цифровым моделям представляется возможным изучение различных вариантов технологий разработки мощного угольного пласта и конструктивных решений оборудования для их реализации с учетом специфических горно-геологических условий.

ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МЕТОДИКИ

Определение рациональных вариантов реализации технологии для определенных горно-геологических (ГГУ) и горнотехнических (ГТУ) условий является сложной n-мерной многовариантной задачей ввиду большого числа взаимовлияющих факторов (*рис. 1, а*).

На *рис. 1, а* используются следующие определения и сокращения:

– режимы выпуска: волновой режим – питатели включаются последовательно на каждой секции с некоторой временной задержкой; групповой режим – питатели начинают работу поочередно в группах из нескольких секций; площадной режим – предполагает одновременную работу всех питателей с одинаковой скоростью выпуска на всех секциях; индивидуальный режим – питатели включаются поочередно на каждой крепи после того, как на предыдущей секции будет достигнута граница порода-уголь; возможен любой другой произвольный режим. Алгоритм расчета идентичен вышеуказанным.

– ГТУ: N – количество секций крепи; b – угол наклона питателя крепи; B – ширина выпускного окна крепи; Q – производительность конвейера.

– режимные параметры: V – частота работы питателя крепи; α – угол наклона заслона крепи.

ПАРАМЕТРЫ ЧИСЛЕННОЙ 3D-МОДЕЛИ

Предложена новая модель, построенная в среде имитационного моделирования Rocky DEM. Программное обеспечение позволяет анализировать движения частиц с помощью метода дискретных элементов (МДЭ). 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. С помощью МДЭ представляется возможным описывать траекторию движения частиц, учитывая при этом физические свойства их материала. Метод подходит для моделирования гравитационного движения предварительно разупрочненной горной массы

При разработке численной модели использовались встроенные в применяемое программное обеспечение

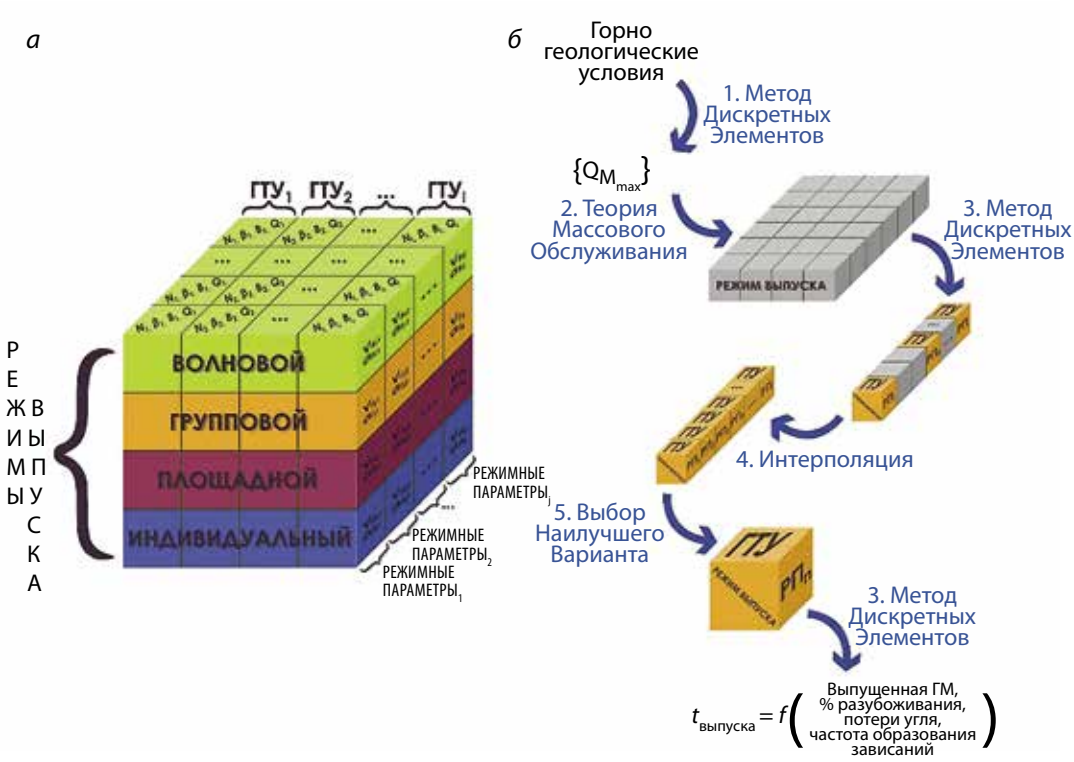

Рис. 1. Графическое представление: а – вариантов реализации технологии и б – последовательности применения методов математического моделирования для определения рационального варианта геотехнологии

Fig. 1. Graphical representation of a) the options for the technology implementation and б) the sequence of applying mathematical modeling methods to determine the rational option for the geotechnology

Таблица 1

Физические параметры материалов в модели

Physical parameters of materials in the model

Параметры	Уголь	Горный массив	Сталь
Физические параметры частиц			
Модуль Юнга (упругости), ГПа	2,40	13,58	190
Коэффициент Пуассона	0,16	0,21	0,3
Плотность, кг/м^3	1300	2000	7800
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			
Коэффициент сопротивления качению	0,2	0,2	–

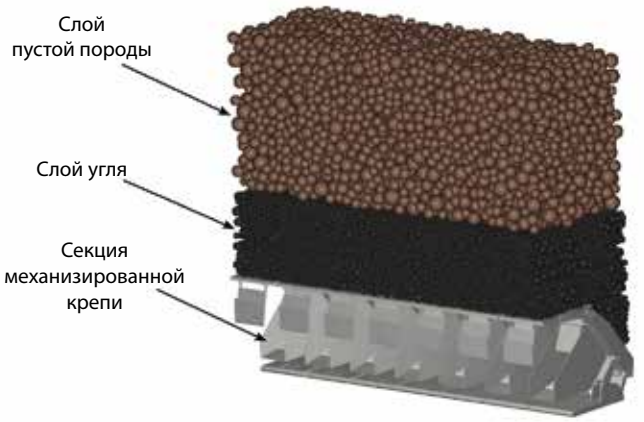

Рис. 2. 3D-вид численной модели роботизированного комплекса с управляемым выпуском угля.

Fig. 2. A 3D view of the numerical model of the robotic complex with a controlled coal production

математические модели: для нормальной составляющей контактной силы выбрана модель вязкоупругого взаимодействия на основе закона Герца; для тангенциальных сил – модель Миндлина и Дересевича; модель сил сопротивления качения – Type C: Linear Spring Rolling Limit.

На *рис. 2* представлена трехмерная имитационная модель крепи с семью секциями. Она позволяет изменять конструктивные и режимные параметры комплекса и, как следствие, добиться максимально возможной производительности выпуска при равномерном и полном заполнении конвейера.

В *табл. 1* представлены основные параметры частиц, изображенных на *рис. 2* – верхний слой (обозначенный синим цветом) обладает свойствами породного массива, ниже (зеленый и красный) изображен слой, обладающий свойствами угольного пласта. Красным цветом выделен произвольный объем угля, служащий контрольной линией для повышения визуализации движения массива частиц. Геометрические 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 (Wang Jiachen, Wei Weijie, Zhang Jinwang, Mishra, Brijes) [8, 9].

Выпуск угля через секцию крепи осуществляется питателем, установленным в перекрытии механизированной крепи и расположенным под углом 12° к основанию секции. Питатель, выполняя возвратно-поступательные движения, должен равномерно регулировать движение угля через выпускное отверстие. В работе [10] было установлено, что наибольшей производительностью обладает ступенчатый питатель, у которого рабочая поверхность направлена вдоль плоскости движения, ориентированной под углом к горизонту. 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.

ОПИСАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Простым перебором вариантов на основе метода дискретных элементов решить поставленную проблему невозможно: каждый моделируемый вариант требует от нескольких часов до недель машинного времени либо существенного сокращения точности за счет введения допущений. Существенно сократить временные и машинные ресурсы возможно путем комплексного использования разных методов математического моделирования в следующем сочетании (*см. рис. 1, б*):

– метод дискретных элементов для первоначального предварительного расчета при определенных ГГУ предельных значений массового расхода при выпуске угля;

– теория массового обслуживания для разработки моделей оценки эффективности возможных режимов функционирования технологии с последующей программной реализацией специализированными программными средствами дискретно-событийного моделирования для определения рационального режима реализации технологии;

– метод дискретных элементов для оценки найденного на предыдущем этапе режима и получения массива крайних и ряда промежуточных значений параметров с учетом взаимовлияющих ГГУ и ГТУ для конкретного месторождения;

– методы интерполяции для заполнения нерассчитанных значений массива возможных параметров;

– методы выбора наилучшего варианта;

– метод дискретных элементов для уточнения времени единичного выпуска с точки зрения комплексного сочетания показателей: выпущенной горной массы, процента разубоживания, потерь угля за крепью и частоты образования зависаний.

Перед оценкой эффективности возможных режимов выпуска на первом этапе необходимо определить предельные значения массового расхода крепи при определенных ГГУ, таких как мощность угольного пласта и физические параметры материалов. Для этого в среде численного мо-

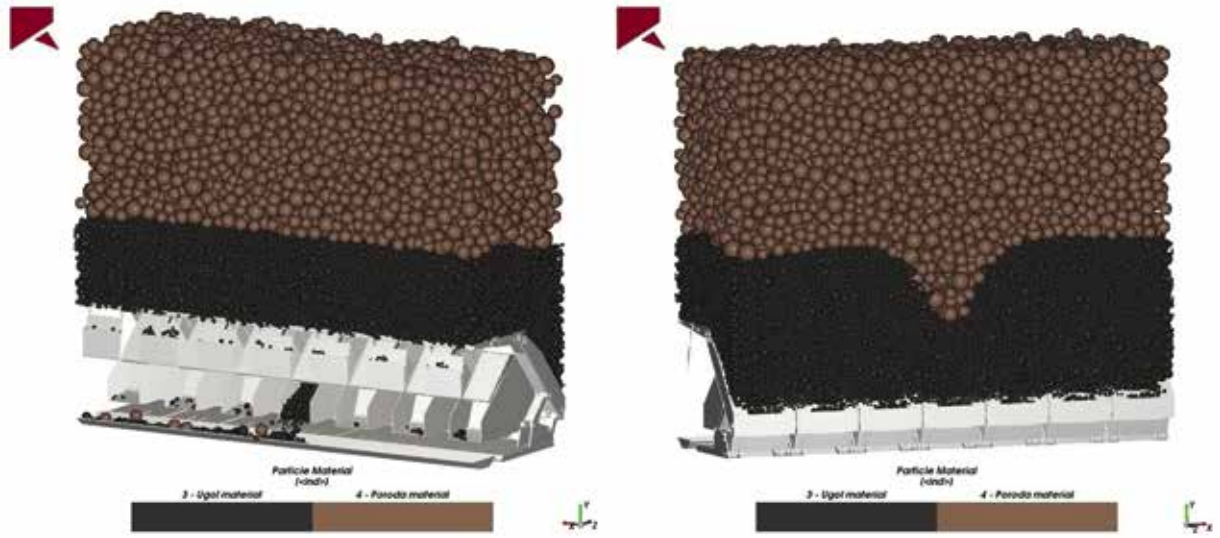

Рис. 3. Пример тестовой 3D-модели выпуска угля из одной крепи с частотой работы питателя 1Гц и углом наклона заслона 45°
Fig. 3. Example of a test 3D model of coal production from a single support with the feeder frequency of 1 Hz and the flap angle of 45 degrees

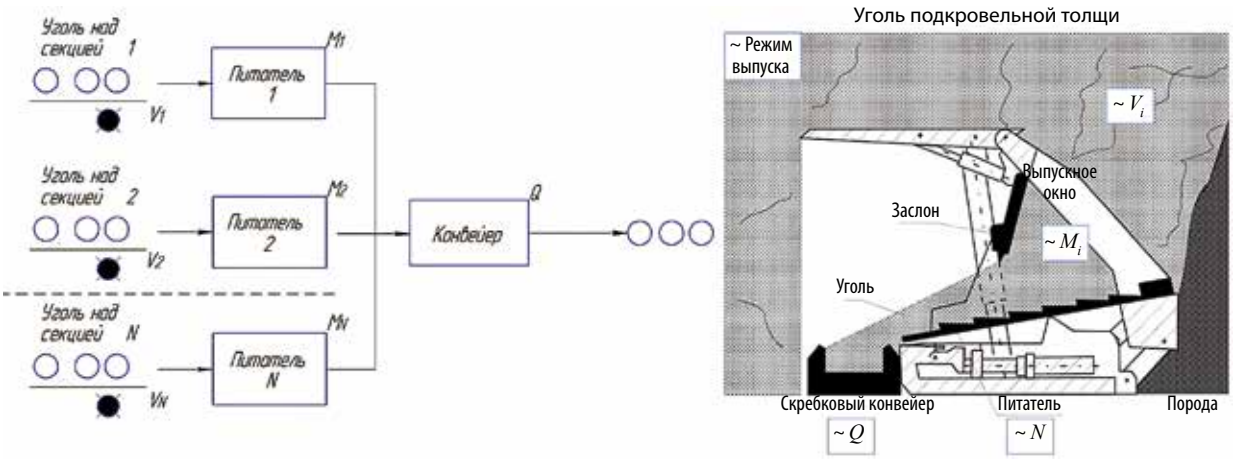

Рис. 4. Концептуальная модель работы очистного комплекса с управляемым выпуском угля в виде СеМО
Fig. 4. A conceptual model of operating a mining complex with controlled coal production as a queueing system

делирования Rocky DEM создается тестовая 3D-модель процесса выпуска, учитывающая ГГУ, с максимально допустимыми параметрами работы крепи для определения значения массового расхода угля, необходимого на следующем этапе моделирования (*рис. 3*).

На втором этапе с использованием теории массового обслуживания по полученным на первом этапе данным разрабатывается концептуальная модель работы очистного комплекса с управляемым выпуском угля в виде сети однофазных одно- и многоканальных систем массового обслуживания без отказов с ограниченным входным потоком заявок (*рис. 4*).

Для имитационного моделирования в качестве средства программной реализации модели роботизированного механизированного комплекса используется среда имитационного моделирования GPSS World [11, 12], основанная на теории очередей и позволяющая моделировать процессы, случайно изменяющиеся во времени и пространстве. Язык GPSS и его версии являются одним из самых эффективных и распространенных программных средств моделирования сложных дискретных систем на ЭВМ, которые успешно применены для моделирования горных работ [13, 14, 15, 16]. Основными объектами в GPSS-модели являются транзакты и блоки. Транзактами в модели представлены дискретные объемы угля. Перемещаясь от блока к блоку, транзакты имитируют выпуск угля и его движение по конвейеру. Блоки, отображающие питатели и участки конвейера, задают логику функционирования модели системы и определяют пути движения транзактов по ней. Фрагмент программной реализации в среде GPSS-World модели и принцип проведения имитационных экспериментов по определению рационального режима выпуска представлены на *рис. 5*.

Проведением цикла имитационных экспериментов устанавливается наиболее рациональный для конкретных ГГУ и ГТУ режим выпуска (*см. рис. 1, а* – из куба выделяется для рассмотрения одна из плоскостей).

На третьем этапе методом дискретных элементов на численных моделях происходит уточнение режимных параметров выпуска (выделяется ряд из плоскости режимов).

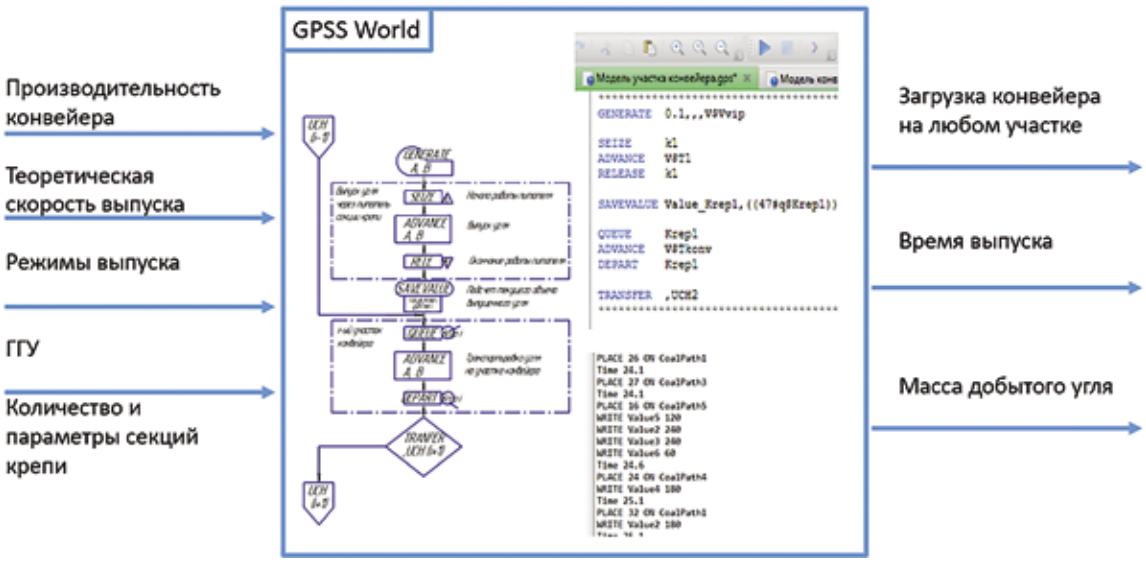

Рис. 5. Принцип проведения имитационных экспериментов с использованием имитационных моделей

Fig. 5. A principle of performing simulation experiments using simulation models

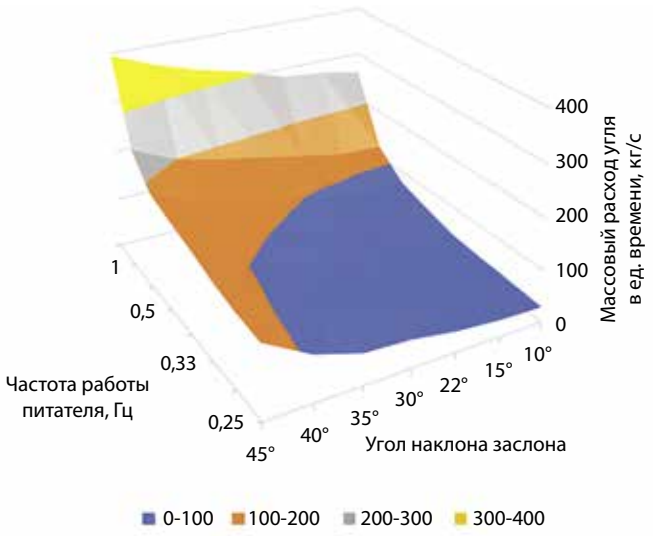

Рис. 6. График средней скорости выпуска угля при возможных сочетаниях угла наклона заслона и частоты работы питателя при обеспечении постоянного расстояния от заслона до питателя

Fig. 6. A graph of the average coal production rate for possible combinations of the flap angle and feeder frequency while maintaining a constant distance between the flap and the feeder

С учетом высоких требований к вычислительным ресурсам на четвертом этапе выбора наилучшего варианта сочетания параметров системы «питатель-заслон» нецелесообразно производить расчет всего массива данных ряда, полученного на предыдущем этапе. В работе предложен и реализован подход, при котором производится расчет крайних и промежуточных значений с использованием МДЭ (*табл. 2*, выделены серым) с последующей интерполяцией недостающих данных.

Опытным путем установлено, что расчет недостающих значений с помощью уравнения линии тренда по углу наклона заслона более предпочтителен ввиду его точности: максимальное значение процентного отклонения составило 8%, в то время как расчет по частоте питателя приведет к 31% погрешности.

Таким образом, будет получен весь массив параметров системы «питатель-заслон». Пример массива данных взаимного сочетания угла наклона заслона и частоты работы питателя для волнового режима для достижения оптимальной скорости выпуска угля в графическом виде представлен на *рис. 6*.

Затем на пятом этапе с использованием разработанной программной системы «Расчет массового расхода при выпуске угля подкровельной толщи» (*рис. 7*) методами

Таблица 2

Дополненный массовый расход угля с помощью уравнений линии тренда

Updated coal consumption by weight obtained using trend line equations

Угол наклона заслона, градус	Частота работы питателя, Гц							
	0,25	0,29	0,33	0,4	0,5	0,67	1	2
10	40	47	52	64	84	112	185	343
15	47	50	57	72	88	123	202	424
22	57	67	72	82	102	132	189	365
30	82	101	100	110	132	176	253	474
35	123	129	139	144	170	203	263	451
40	196	202	208	224	232	245	309	447
45	251	278	257	263	289	292	396	612

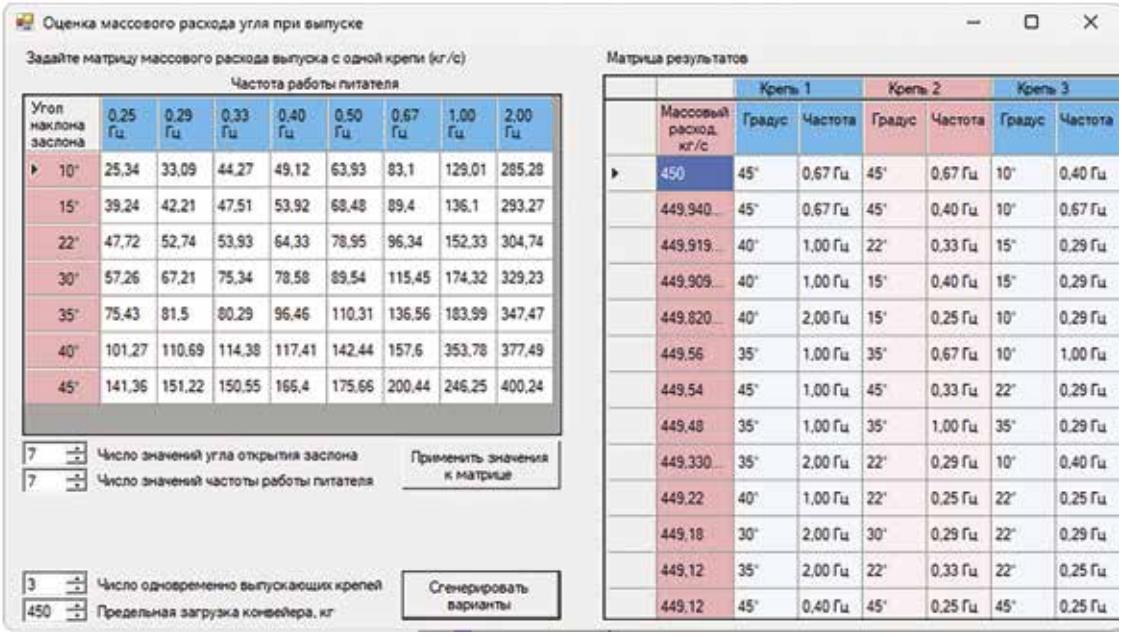

Рис. 7. Интерфейс программной системы «Расчет массового расхода при выпуске угля подкровельной толщи»

Fig. 7. Graphical user interface of the software suite 'Calculation of the coal consumption by weight during coal production from the roof seam'

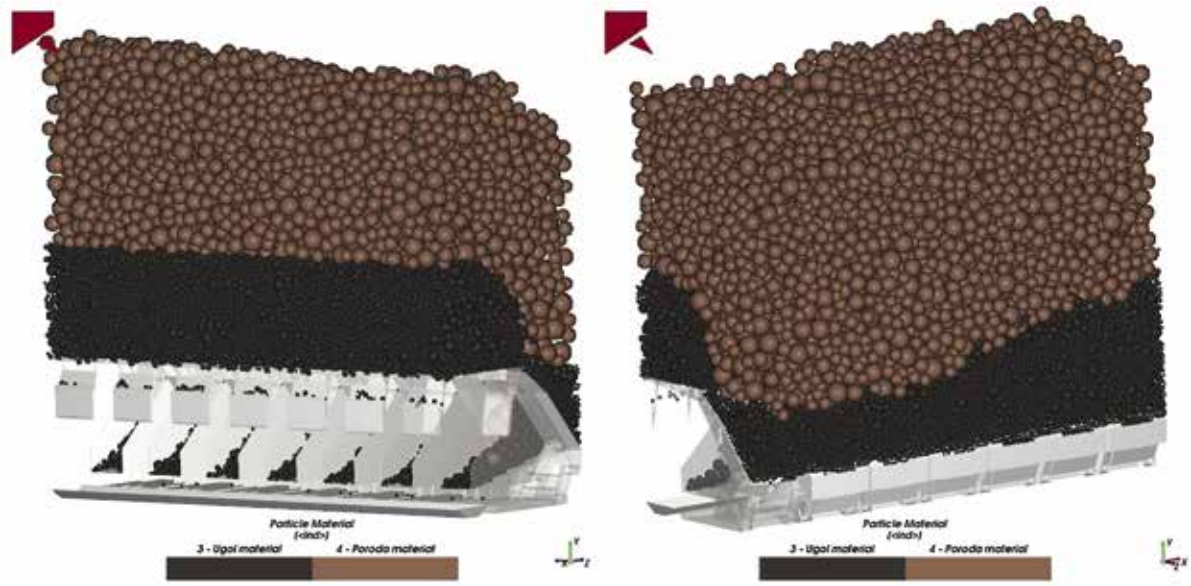

Рис. 8. Пример 3D-модели волнового режима выпуска с рациональными параметрами выпуска

Fig. 8. Example of a 3D model of the wave production mode with rational production parameters

математического программирования вычисляются оптимальные и субоптимальные параметры выпуска угля подкровельной толщи во время ведения очистных работ при добыче угля подземным способом. При этом учитываются ограничения, наложенные на параметры работы выпускной системы выпускающих крепей – частоту работы питателя υ (Гц) и угол наклона заслона α (°). Учет данных ограничений позволяет не перегружать забойный конвейер и осуществлять плавный выпуск с учетом физико-технических параметров выпуска.

Запущенная программа представляет пользователю матрицу размером 7 x 7 ячеек, в которой необходимо задать массовый расход угля при выпуске с одной крепи при различных значениях частоты работы питателя υ и угла наклона заслона α. При необходимости размерность матрицы можно поменять, установив желаемые количества строк и столбцов матрицы в элементах интерфейса ниже нее. Далее пользователю необходимо указать число крепей, на которых одновременно будет осуществляться выпуск, а также предельную загрузку конвейера (кг), исключающую

его перегруз. При нажатии пользователем кнопки «Сгенерировать варианты» система запускает программный код, который отсекает расчет априори неэффективных вариантов при выставленных ограничениях. Из полученной матрицы результатов генерируется Excel-файл с параметрами, на основе которых создается и настраивается модель выпуска (*рис. 8*) в среде численного 3D-моделирования Rocky DEM, позволяющая оценить время выпуска угля в зависимости от выпущенной ГМ, процента разубоживания, потерь угля и частоты образования зависаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последовательное использование метода дискретных элементов для первоначального единичного расчета максимального значения массового расхода при выпуске, дискретно-событийного моделирования на основе теории массового обслуживания для предварительного выбора режима технологии выемки мощных пологих пластов, метода дискретных элементов для моделирования процесса управляемого выпуска раздробленной горной массы с использованием специальной механизированной крепи и алгоритмов выбора рациональных вариантов сочетания параметров позволяет повысить скорость и достоверность принятия решения при проектировании геотехнологии для различных горно-геологических и горнотехнических условий.

Список литературы • References

1. Клишин В.И., Фокин Ю.С., Кокоулин Д.И., Кубанычбек Б. Разработка мощных пластов механизированными крепями с регулируемым выпуском угля. Новосибирск: Наука, 2007. 135 с.
2. 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.
3. Клишин В.И., Клишин С.В. Состояние и направление развития технологии разработки мощных угольных пластов механизированными крепями с выпуском // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2019. Вып. 1. С. 162-173.
   Klishin V.I., Klishin S.V. The state and direction of development of technology for the development of powerful coal seams with mechanized fasteners with release. *Izvestiya TulSU. Earth Sciences*. 2019;(1): 162-173. (In Russ.)
4. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. 847 с.
5. Конюх В.Л., Зиновьев В.В. Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. 243 с.
6. Aalst W., Stahl C. Modeling business processes: a petrinet-oriented approach, MIT Press, 2011, 400 p.
7. Девятков В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития. М.: Вузовский учебник, ИНФРА-М, 2013. 448 с.
8. 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):219.
9. Jiachen Wang, Weijie Wei, Jinwang Zhang, Brijes Mishra, Ang Li. 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.
10. Клишин В.И., Худынцев Е.А. Создание механизированных комплексов с выпуском для подземной разработки мощных угольных пластов // Вестник КузГТУ. 2022 № 6. С. 96-106.
    Klishin V.I., Khudyntsev E.A. Creation of Mechanized Complexes for Underground Mining of Thick Coal Seams. *Vestnik KuzGTU*. 2022;(6):96-106. (In Russ.).
11. Девятков В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография. М.: Вузовский учебник, ИНФРА М, 2013. 448 с.
12. Элина-Компьюте : офиц. сайт. URL: http://elina-computer.ru (дата обращения: 15.09.2025).
13. Система имитационного моделирования горнопроходческих работ / А.Н. Стародубов, В.В. Зиновьев, М.В. Береснев и др. // Уголь. 2016. № 2. С. 20-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-2-20-24.
    Starodubov A.N., Sinoviev V.V., Beresnev M.V., Mayorov A.E. The system of mining operations simulation. *Ugol'*. 2016;(2):20-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2016-2-20-24.
14. Конюх В.Л., Зиновьев В.В. Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. 243 с.
15. Sinoviev V.V., Starodubov A.N., Dorofeev M.U., Okolnishnikov V.V. Simulation Application for Evaluating of Efficiency of Mining Systems Automatization. *WSEAS Transactions on Systems*. 2015;(14):261 267.
16. Стародубов А.Н., Зиновьев В.В., Клишин В.И., 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 «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). Труды конференции, 16-18 октября 2019 г., Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2019. С. 540-547.

Authors Information

Starodubov A.N. – PhD (Engineering), 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, Kemerovo, 650065, Russian Federation, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

Zinoviev V.V. – PhD (Engineering), 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, Kemerovo, 650065, Russian Federation, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: zv150671@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.04.2025
Поступила после рецензирования: 18.09.2025
Принята к публикации: 29.09.2025

Paper info

Received April 23, 2025
Reviewed September 18, 2025
Accepted September 29, 2025