

УДК 004.942; 622.3

К ВОПРОСУ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫПУСКА УГЛЯ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ

Кадочигова А.Н., ¹ведущий инженер, ²студент гр. ИТм-211, II курс,

Каплун А.В., ¹ведущий инженер, ²студент гр. ИТм-211, II курс,

Стародубов А.Н., ¹зав. лабораторией, ²к.т.н., доцент,

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук (ФИЦ УУХ СО РАН)

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва
г. Кемерово

Вопросы безопасности и экологичности ведения подземных горных работ, а также тема рационального использования ресурсов, включающая минимизацию количества неотработанных участков пластов угля, не перестают быть актуальными задачами при модернизации механизированных очистных комплексов [1, 2]. Усовершенствование технологий подземной добычи обусловлено особенностями геологических условий, а также продиктовано экономической составляющей – наиболее дорогостоящие и экспортируемые марки каменного угля находятся в глубокозалегающих пластах и добываются в основном подземным способом. На данный момент наиболее безопасной и эффективной является технология длинностолбовой отработки с использованием механизированных крепей [3 - 6].

В данной работе рассматривается новый подход к конструкции механизированной горной крепи, разрабатываемый в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН. Модернизация конструкции заключается в использовании специальных выпускных окон и регулируемых питателей в секциях крепи, которые позволят контролировать подкровельный выпуск угля. Это даст возможность управлять интенсивностью выпуска угля на лавный скребковый конвейер (рис. 1) и избежать его перегрузки, обеспечивая максимальное допустимое заполнение [7].

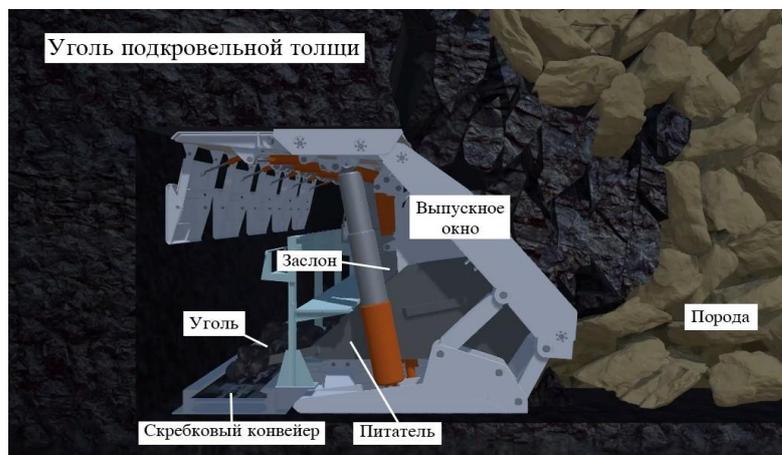


Рисунок 1 – Графическая модель модернизированной конструкции крепи

Охарактеризуем основные режимы выпуска предварительно разупроченной горной массы из покровельной толщи. Индивидуальный режим предполагает последовательное включение питателей в секциях крепи после того, как на предыдущей секции начинает выходить порода. В волновом режиме питатели начинают свою работу с последовательной временной задержкой от секции к секции по направлению очистного забоя, имитируя волнообразный выпуск горной массы. При групповом режиме питатели начинают свою работу одновременно в нескольких рядом стоящих секциях, образуя группы или комплекты механизированной крепи, которые запускаются последовательно после наступления на питателях предыдущей группы границы порода/уголь. При площадном режиме все питатели работают синхронно на всех секциях крепи с одинаковой частотой колебаний.

Исходя из этого, основная цель исследования данной технологии заключается в определении оптимальных режимов работы питателей секций крепи, обеспечивающих равномерную нагрузку очистного конвейера по массе и объему угля, который будет загружаться. Однако, динамичность и стохастичность процесса выпуска угля создают сложности при использовании аналитических моделей или натурных экспериментов. Наиболее подходящим решением представляется использование имитационного моделирования [8, 9], при котором опускаются явные аналитические описания процесса. Этот метод широко применяется в горнодобывающей отрасли [10 - 12].

Для изучения разрабатываемой технологии была создана модель в среде имитационного моделирования Rocky DEM, с помощью которой предоставляется возможность проводить различные эксперименты, меняя начальные конструктивные и режимные параметры работы крепей. Выбранное программное обеспечение позволяет моделировать разнообразные физические процессы такие, как разрушение горного массива, перемещение отбитого угля по конвейеру за счет метода дискретных элементов (DEM), являющегося математической базой для расчета соударений частиц. Согласно данному методу, частицы в гранулированной среде взаимодействуют друг с другом благодаря силам контактного взаимодействия, находясь в определенном пространственном положении и обладая начальной скоростью и определенными физическими свойствами своих материалов. За счет многофакторности задания начальных параметров модели, удастся достичь цифрового подобия реального механизма взаимодействия кусков различных форм и размеров. Также программный продукт Rocky DEM содержит модули для расчета и визуализации траекторий частиц.

На рисунке 2 показана трехмерная имитационная модель крепи, состоящая из семи секций, с помощью которой можно изменять конструктивные и режимные параметры комплекса, что позволяет достичь максимальной производительности при равномерном и полном заполнении конвейера. В таблице 1 представлены основные параметры частиц, которые составляют предварительно разрушенную горную массу - верхний слой имеет свойства горного массива, а нижние слои изображают уголь.

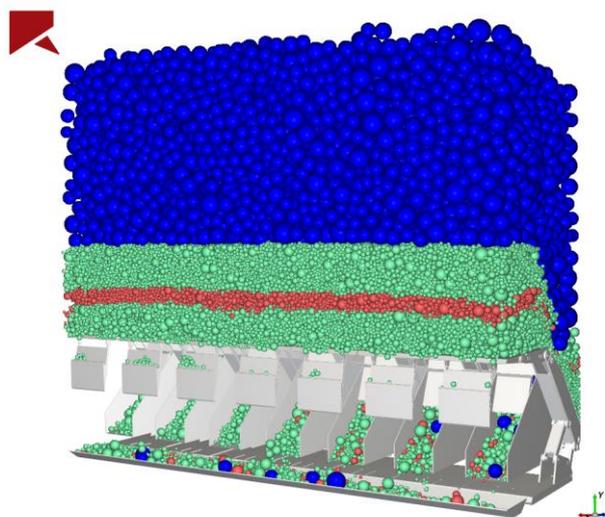


Рисунок 2 – Трехмерное представление численной модели механизированного комплекса с управляемым выпуском

Таблица 1 – Параметры частиц модели

	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

Уголь выпускается через секцию крепи с помощью ступенчатого питателя (рис. 3).

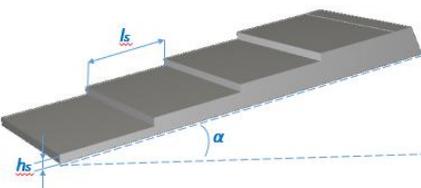


Рисунок 3 – Ступенчатый питатель

В модели используется питатель со следующими параметрами: $l_s = 0.7$ м; $h_s = 0.05$ м; $\alpha = 12^\circ$; $\nu = 0,5$ Hz; $A = 0,15$ м. Ширина индивидуальной секции – 2 м, ширина выпускного окна питателя – 1 м. Параметры скребкового конвейера соответствуют модели «Анжера-30» (производства ОАО «Анжеромаш»): пропускная способность 1000 т/ч, скорость движения тягового органа 1,0 м/с.

С помощью подобной модели возможно оценить зависимость средней скорости выпуска угля на конвейер от угла наклона выпускной задвижки, а также от частоты колебаний питателя. Получив графики распределения массовой доли угля, приходящегося на один квадратный метр участка конвейера, можно сделать выводы о рациональности использования того или иного режима выпуска в зависимости от грузоподъемности определенной модели конвейера.

Для оценки загруженности определенного участка конвейера используются специальные пользовательские процессы, которые собирают статистику по входящим и выходящим за рамки определенного диапазона частицам, а также по фактической заполненности этого диапазона (рис. 4). С точки зрения пользовательского представления, данные процессы изображаются в виде параллелепипедов с регулируемой размерностью.

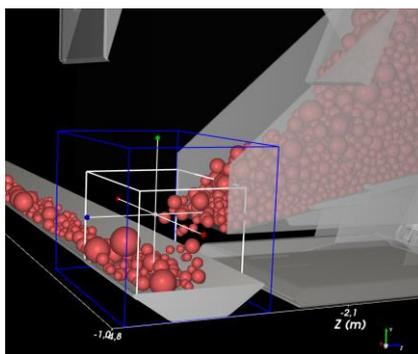


Рисунок 4 – Пользовательский процесс

В результате проведенного исследования изучены возможности имитационной модели функционирования механизированной крепи, которая используется при отработках мощных угольных пластов. Эта модель позволяет проводить эксперименты с различными режимными параметрами и контролировать выпуск угля из зоны подкровельной толщи.

Список литературы

1. Улучшение экологии угольной промышленности: текущее состояние и возможные меры // Фонд Росконгресс : сайт. – URL: <https://roscongress.org/sessions/rew-2018-uluchshenie-ekologii-ugolnoy-promyshlennosti-tekushchee-sostoyanie-i-vozmozhnye-mery-/discussion/> (дата обращения: 16.02.2023).
2. Демченко И. И. Новые подходы к ресурсосбережению в угольной промышленности // ГИАБ. 1997. №5. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/novye-podhody-k-resursosberezheniyu-v-ugolnoy-promyshlennosti> (дата обращения: 16.02.2023).

3. Клишин Владимир Иванович, Власов Владимир Никифорович, Кубаньчбек Уулу Бакыт Механизированная крепь с принудительным выпуском угля из подкровельной толщи // ГИАБ. 2003. №11. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizirovannaya-krep-s-prinuditelnym-vypuskom-uglya-iz-podkrovelnoy-tolschi> (дата обращения: 16.02.2023).

4. Underground mining of thick coal seams / R. Kumar, A.K. Singh, A.K. Mishra and R. Singh // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 25. Issue 6. P. 885 – 896.

5. Hebblewhite B.K. Status and Prospects of Underground Thick Coal Seam Mining Methods. The 19th International Mining Congress and Fair of Turkey, IMCET2005, Izmir, Turkey, June 09–12, 2005.

6. Hanging Wall Pressure Relief Mechanism of Horizontal Section Top-Coal Caving Face and Its Application / J. Guo, L. Ma, Ye Wang, F. Wang // A Case Study of the Urumqi Coalfield, China. Energies. 2017. 10 (9). P. 1371.

7. Клишин В.И., Худынцев Е.А. Создание механизированных комплексов с выпуском для подземной разработки мощных угольных пластов // Вестник КузГТУ. 2022. №6 (154). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-mehanizirovannyh-kompleksov-s-vypuskom-dlya-podzemnoy-razrabotki-moschnyh-ugolnyh-plastov> (дата обращения: 15.02.2023).

8. Конюх, В.Л. Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ / В.Л. Конюх, В.В. Зиновьев. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 243 с.

9. Павлова Л.Д. Моделирование геомеханических процессов в разрушаемом углепородном массиве: монография / Л.Д. Павлова; Сиб. гос. ун-т. Новокузнецк: СибГИУ, 2005. - 239 с.

10. Мустафин, М. Г. Моделирование разрушения массива горных пород в процессе подвигания очистного забоя с разной скоростью. / Г. М. Мустафин — Текст : непосредственный // Записки Горного института 171. — 2007. — С. 130-133. – URL: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7677/5602> (дата обращения: 16.02.2023).

11. Гречишкин, П. В. Динамическое моделирование взаимодействия оборудования механизированного очистного забоя : специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гречишкин Павел Владимирович ; Российская академия наук Сибирское отделение Институт угля и углехимии. — Кемерово, 2005. — 189 с. — Текст : непосредственный.

12. Соннов М.А., Трофимов А.В., Румянцев А.Е. Применение методов прочностного анализа для прогнозирования геомеханической ситуации в капитальных горных выработках на больших глубинах // Горная промышленность. – 2017. – № 4 (134). – С. 92–94. – URL: <https://mining->

media.ru/ru/article/newtech/14141-primenenie-cae-fidesys-v-reshenii-geomekhanicheskikh-zadach (дата обращения: 16.02.2023).