

УДК 622.3

## АНАЛИЗ ЧУСТВИТЕЛЬНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОТ- КРЫТО-ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ К ИЗМЕНЕНИЮ ЗАКО- НОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Кузнецов И.С.,<sup>1,2</sup> аспирант, ассистент кафедры ИиАПС

Кузнецова А.В.,<sup>2</sup> доцент кафедры Математики

<sup>1</sup>ФИЦ УУХ СО РАН

<sup>2</sup>КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

Объёмы добываемого угля открытым способом по России занимает лидирующие позиции и составляет более половины всей добычи угля и постоянно растет [1]. Но ввиду снижения эффективности при достижении глубины разреза более 180 метров часть угля остается не извлеченной. Невозможность извлечения этих запасов подземным способом ввиду высоких затрат. В результате чего с баланса списывается значительная часть угля. [2,3]. Поэтому необходимы технологии, дающие возможность извлечь эти запасы.

Одним из вариантов таких технологий является открыто-подземная, базирующаяся на совместной работе экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) и комплекса глубокой разработки пластов (КГРП). Применение КГРП обеспечивает высокую безопасность ведения работ ввиду отсутствия горнорабочих в забое, отбойки угля без взрывания, а также высокую производительность. Ввиду отсутствия необходимости проведения больших объемов вскрышных работ, т.е. ведение добычи на действующих разрезах с любого широкого уступа и проведения подземных горно-подготовительных выработок. Данный способ нашел успешное применение как в России, так и за рубежом, например, Индонезия, Китай, США [4-6].

ЭАК и КГРП включает в себя множество элементов: экскаваторы, автосамосвалы, погрузчики, пункты разгрузки и т.д. Все эти элементы, действующие как единое целое, представляют собой сложную систему, эффективность работы которой зависит от ее структуры и параметров горных машин, взаимодействующих во времени и пространстве.

Так как при принятии проектных решениях последствия ошибок очень дороги, необходимо предсказательное моделирование на основе математических моделей и их программной реализации для проведения вычислительных экспериментов для исследования параметров открыто-подземной геотехнологии на основе ЭАК и КГРП.

Ввиду того, что в основном процессы, протекающие при работе ЭАК и КГРП носят случайный характер из-за природо-климатических, горно-геологических и горнотехнических причин необходим их учет в моделях. Известно, что случайные величины распределены по различным законам, следовательно,

требуется установить соответствие хронометражных данных теоретическому закону распределения т.е. идентифицировать закон для каждого процесса.

Обзор литературных источников показал, что в основном для исследования хронометражных данных о работе экскаваторно-автомобильных комплексов, полученных с разрезов, авторы использовали непрерывные законы распределения, а именно: Гамма, Гаусса и Бета [7-10].

Важным является анализ чувствительности модели к закону распределения случайных величин. Если модель чувствительна к изменению закона, то необходимы дополнительные исследования по идентификации с применением нескольких статистических критериев по оценке достоверности выдвинутых нулевых гипотез, а также влияние аномальных значений и методов группирования хронометражных данных.

В ФИЦ УУХ СО РАН разработана имитационная модель взаимодействия ЭАК и КГРП [11]. Она использовалась для анализа чувствительности к законам распределения.

На рисунке 1 представлены результаты имитационных экспериментов по оценке суточной добычи одного из забоев ООО СП «Барзасского товарищества» с применением различных видов законов распределения хронометражных данных основных процессов. В экспериментах изменялись законы распределения времени: прибытие автосамосвалов, установка под погрузку/разгрузку, погрузка/разгрузка горной массы, транспортировка/возврат. На выходе модели оценивалась производительность забоя. Модель экскаватора и типоразмер автосамосвалов и количество оставались неизменными. Исследовалось влияние Гамма, Гаусса и Бета распределения. Моделировалась работа забоя в течение 1 года.

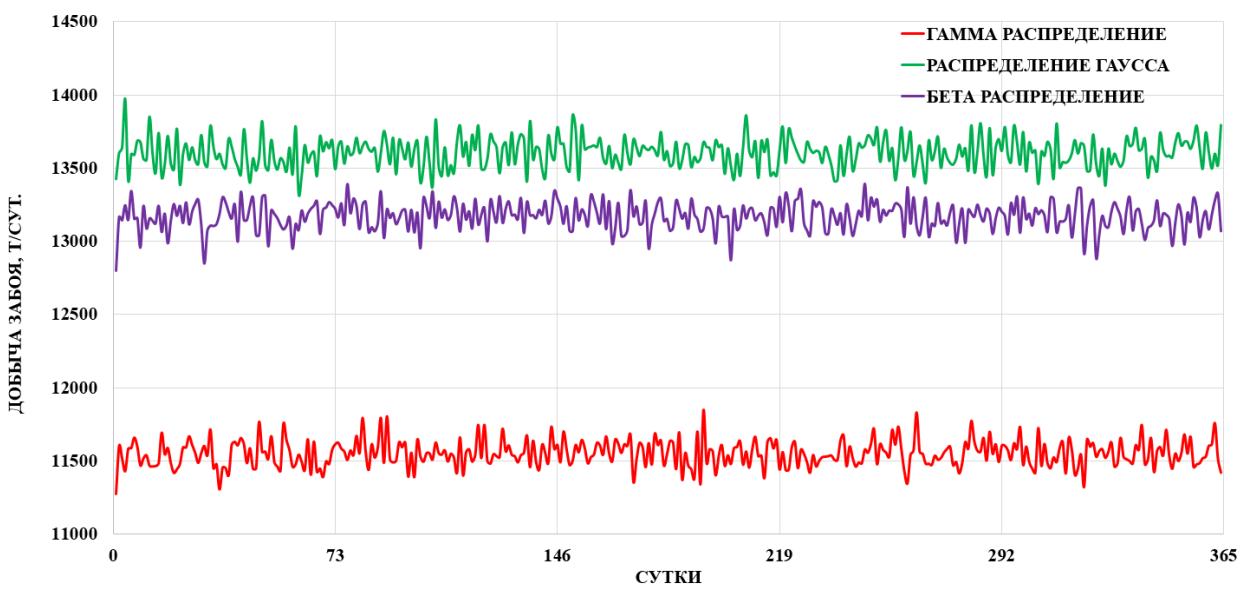


Рисунок 1 - Динамика добычи забоя с различными законами распределения значений продолжительности основных процессов

Установлено, что изменение закона распределения значений продолжительности основных процессов с распределения Гаусса на Бета распределение

дает разницу в производительности забоя в 3,2%, а отклонение производительности забоя при изменения распределения Гаусса на Гамма распределение составляет 17,8%.

Таким образом, имитационная модель открыто-подземной геотехнологии является чувствительной к изменению законов распределения с Гаусса и Бета на Гамма распределение. Следовательно, необходимы дополнительные исследования по идентификации законов распределения основных технологических процессов с применением нескольких статистических критериев по оценке достоверности выдвинутых нулевых гипотез, а также учетом влияния аномальных значений и методов группирования хронометражных данных.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90031 "Разработка специализированной компьютерной системы имитационного моделирования для исследования параметров безлюдной открыто-подземной геотехнологии"*

#### **Список литературы:**

1. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь – декабрь 2018 года, Ежемесячный журнал «Уголь». – март 2019. – С. 64 – 79.
2. Шакlein С.В. Концепция развития сырьевой базы кузнецкого угольного бассейна / С.В. Шакlein, М. В. Писаренко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – №3. – С.118 – 125.
3. Копытов А.И. Направления совершенствования стратегии развития угольной отрасли Кузбасса / А.И. Копытов, С.В. Шакlein // Уголь. – 2018. – №5. – С. 80 – 86.
4. Федорин В.А. Условия регламентирующие безлюдную технологию разработки угольных пластов с использование комплекса глубокой разработки пластов / В.А. Федорин, В.Я. Шахматов, А.Ю. Михайлов, Е.Л. Варфоломеев // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – №4. – С. 83 – 88.
5. Dixit S., Manoj P. Highwall Mining in India. Mine planning and equipment selection. Springer International Publishing Switzerland. – 2014. – Р. 175 – 187.
6. Application of highwall mining system in weak geological contidion / T. Sasaoka, T. Karian, A. Hamanaka, H. Shimada, K. Matsui // International journal of coal science and technology. – 2016. – No. 3 (1). – Р. 311 – 321
7. Воронов А.Ю. Оптимизация эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06., 05.13.18 / Воронов Артем Юрьевич; КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева; науч. рук. А.Ю. Захаров. – Кемерово., 2015. – 195 с.
8. Бахтурин Ю.А. Моделирование работы сложных транспортных систем карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №1. – С. 82 – 90

9. Фурман А.С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06 / Фурман Андрей Сергеевич; КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева; науч. рук. Г.Д. Буялич. – Кемерово., 2018. – 137 с.

10. Стенин Ю.В. К вопросу оценки технологического риска при планировании производительности экскаваторно-автомобильного комплекса карьера / Ю.В. Стенин, Р.С. Ганиев // Научный журнал Проблемы недропользования. – 2014. – № 2. – С.135 – 141.

11. Кузнецов И. С. Имитационное моделирование безлюдной открыто-подземной геотехнологии с учетом простоев горных машин / И. С. Кузнецов, В. В. Зиновьев // Сборник трудов девятой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД). – 2019. С – 445 – 450.