

УДК 622.2, 001.57

**АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА К  
ИЗМЕНЕНИЮ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕПЛАНОВЫХ  
ПРОСТОЕВ ГОРНЫХ МАШИН**

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

Научный руководитель<sup>1</sup>: Зиновьев В.В. - <sup>1</sup>старший научный сотрудник,  
<sup>2</sup>доцент

<sup>1</sup>ФИЦ УУХ СО РАН

<sup>2</sup>КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

Открытые горные работы занимают лидирующее положение по объемам добычи угля. Эффективность работ во многом зависит от работы экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК) включающие в себя экскаваторы и автосамосвалы. При работе такой системы возникают не только запланированные простои: заправка, подчистка подъезда, технический осмотр и т.д., но и внеплановые: ожидание погрузки/разгрузки, простои по причинам поломки экскаватора и автосамосвалов.

На интенсивность возникновения влияют длительность работы горной машины, физико-механические свойства разрабатываемой горной массы, высокий уровень запыленности в зоне ведения работ, экстремально низкие или высокие температуры, отсутствие высокого уровня технического обслуживания [1]. Как правило, при планировании работ ЭАК предполагается, что все горные машины работают идеально и никогда не простаивают. Далее по окончанию определенного этапа работ: смена, сутки, месяц, год, анализируются результаты работы. Как правило, планируемые результаты существенно отличаются от полученных. Далее разрабатываются мероприятия для минимизации простоев, которые в дальнейшем внедряются на реальный объект. Но, во-первых, потерянные объемы уже невозможно вернуть и во-вторых нет никакой гарантии, что разработанные мероприятия достаточно эффективно повысят производительность. Поэтому необходим учет внеплановых простоев в моделях для более достоверной оценки объемов добычи и анализа эффективности применения проводимых мероприятий. Известно, что случайные величины интенсивности появления и ликвидации внеплановых простоев горных машин распределены по различным вероятностным законам.

Обзор литературных источников показал, что в основном для исследований, хронометражных данных интенсивности возникновения и ликвидации внеплановых простоев экскаваторов и автосамосвалов авторы используют непрерывные законы распределения: Экспоненциальный (Показательный), Нормальный (Гаусса), Логнормальный и Вейбулла (Вейбулла - Гнеденко), например, в работах [2-4]. Помимо этого, в данной работе дополнительно рассмотрено Гамма распределение, т.к. оно

используется при моделировании основных процессов в ЭАК в результате проведенной идентификации законов распределения с применением статистических критериев.

При моделировании внеплановых простоев горных машин важным является, анализ чувствительности модели к изменению закона распределения случайных величин. Если модель чувствительна к изменению законов, то необходимы дополнительные исследования по их идентификации.

В лаборатории моделирования горнотехнических систем Института угля ФИЦ УУХ СО РАН разработана имитационная модель, описывающая взаимодействие ЭАК и КГРП [6]. На этой модели проводились вычислительные эксперименты. Сегмент имитирующий работу комплекса глубокой разработки пластов (КГРП) в данной работе не использовался ввиду отсутствия реальных данных по внеплановым простоям.

На рисунках 1-4 представлены результаты имитационных экспериментов по оценке произведенного объема суточной вскрыши одного из забоев ООО СП «Барзасского товарищества» с применением различных видов законов распределения хронометражных данных возникновения и ликвидации внеплановых простоев горных машин в различных сочетаниях. В экспериментах изменялись законы распределения времени интенсивности возникновения и длительности ликвидации внеплановых простоев экскаваторов и автосамосвалов. На выходе модели оценивалась производительность забоя и контролируемые параметры. Модель экскаватора, типоразмер автосамосвалов и количество оставались неизменными. Плановые простои горных машин не учитывались, с целью минимизации их влияния на оценку производительности. Исследовалось влияние Экспоненциального, Усеченного нормального, Логнормального, Вейбулла и Гамма распределения. Имитировалась работа забоя в течении одного месяца.

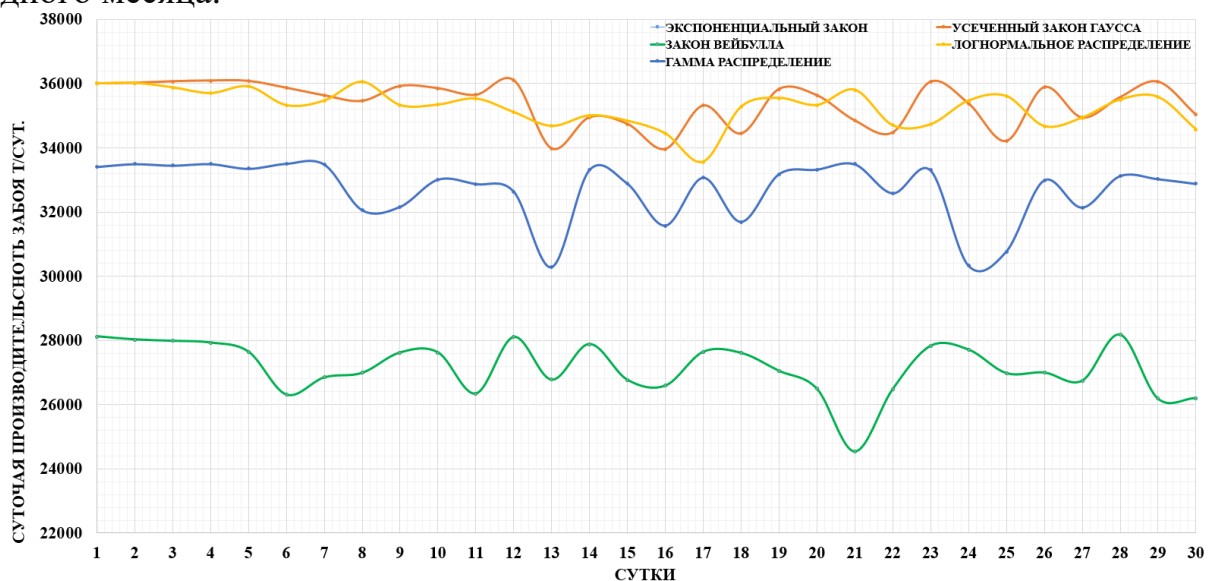


Рисунок 1 Пример влияния изменения законов распределения внеплановых простоев экскаватора на производительности забоя (изменение закона распределения интенсивности возникновения простоев)

Установлено, что изменение закона распределения значений интенсивности возникновения внеплановых простоев экскаватора с Экспоненциального распределения на усеченное Гаусса и Логнормальным распределениями дает разницу производительности забоя в среднем 30-31%, а при изменении с Экспоненциального на Гамма закон дает разницу в среднем 21%. При изменении с Экспоненциального на Вейбулла разница 0%.

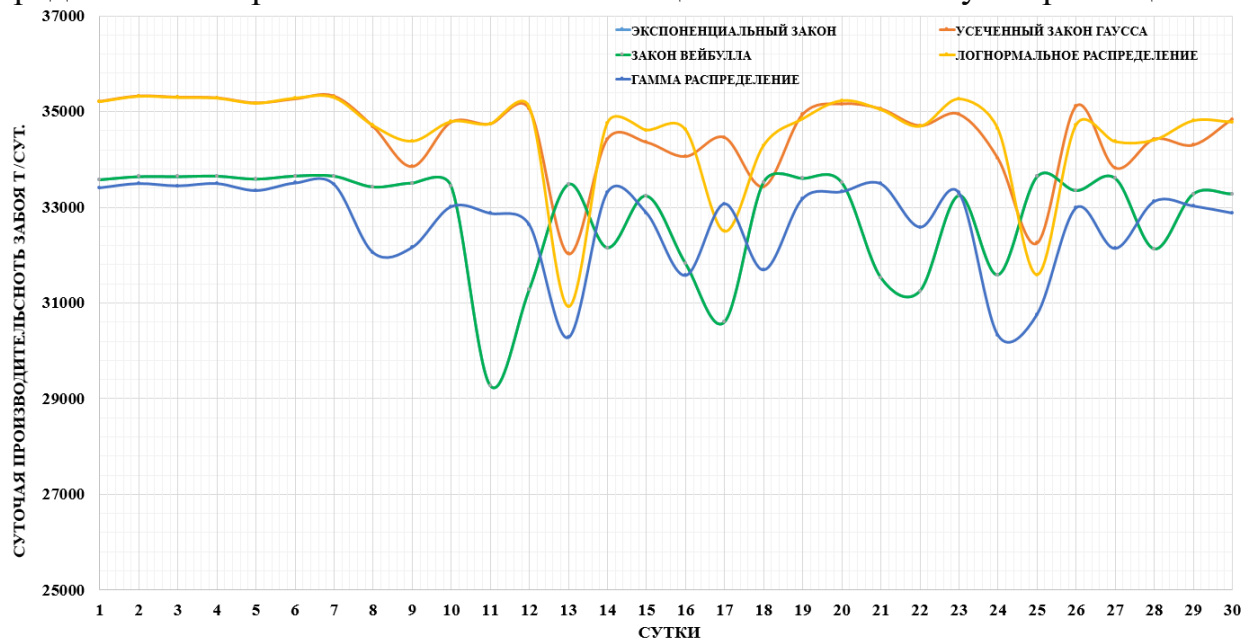


Рисунок 2 Пример влияния изменения законов распределения внеплановых простоев экскаватора на производительность забоя (изменение закона распределения длительности ликвидации простоев)

Установлено, что изменение закона распределения значений интенсивности возникновения внеплановых простоев экскаватора с Экспоненциального распределения на усеченное Гаусса и Логнормальным распределениями дает разницу производительности забоя в среднем 30-31%, а при изменении с Экспоненциального на Гамма закон дает разницу в среднем 21%. При изменении с Экспоненциального на Вейбулла разница 0%.

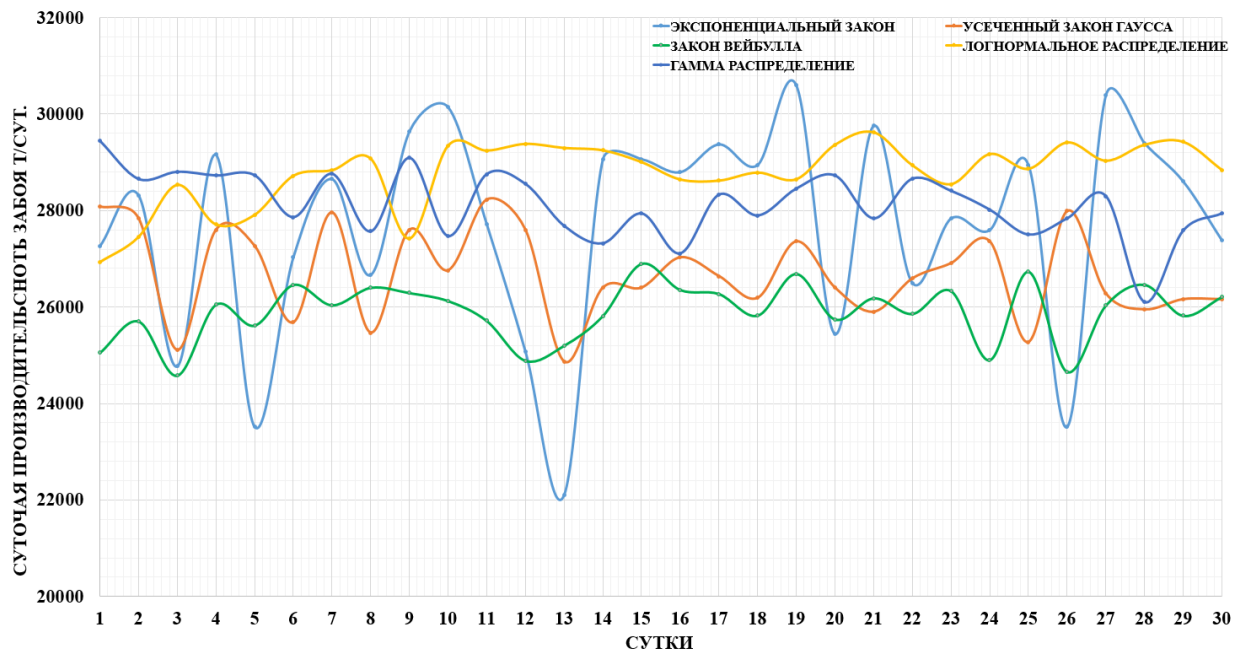


Рисунок 3 Примеры влияния изменения законов распределения внеплановых простоев автосамосвалов на производительность забоя

(изменение закона распределения интенсивности возникновения простоев)

Установлено, что изменение закона распределения значений интенсивности возникновения внеплановых простоев автосамосвалов с Экспоненциального распределения на усеченное Гаусса, Логнормальное и Гамма распределениями дает разницу производительности забоя в среднем 7-8%, а при изменении с Экспоненциального на Вейбулла разница 0%.

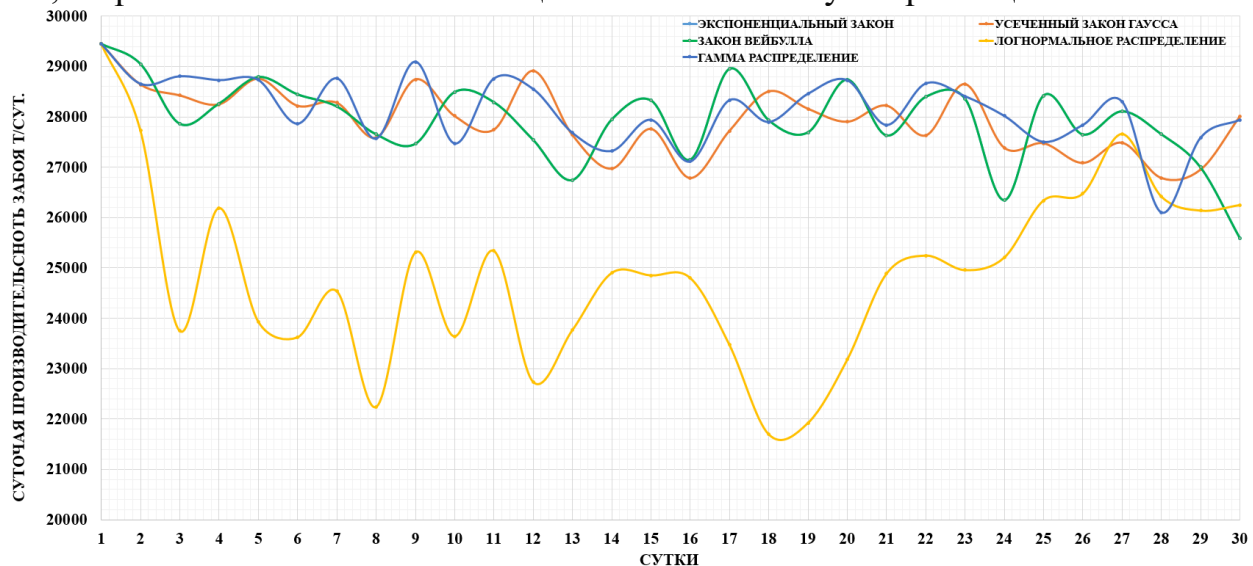


Рисунок 4 Пример влияния изменения законов распределения внеплановых простоев автосамосвалов на производительность забоя

(изменение закона распределения длительности ликвидации простоев)

Установлено, что изменение закона распределения значений интенсивности возникновения внеплановых простоев автосамосвалов с Экспоненциального распределения на Усеченное Гаусса, и Гамма распределениями дает разницу производительности забоя в среднем 2%, при

изменении на Логнормальное в среднем 11%, а при изменении с Экспоненциального на Вейбулла разница 0%.

Таким образом, имитационная модель ЭАК является чувствительной к изменению законов распределения при исследовании интенсивности возникновения внеплановых простоев экскаватора и автосамосвалов и длительности ликвидации внеплановых простоев экскаватора. 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. Слесарев Б.В. Исследование условий и параметров экскавации мощных карьерных гидравлических экскаваторов / Б.В. Слесарев, П. Булес // Горный информационно-аналитический бюллетень. - №S1-2. 2015. - С. 42-51
2. Лобур И.А. Об эксплуатационной надежности электромеханических систем карьерных гусеничных экскаваторов / И.А. Лобур, Н.М. Шаулева, А.Г. Захарова // Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». – 2017. С. 312-2 - 312-8
3. Нанзад Ц. Уровень эксплуатационной надежности экскаваторов РОРа ГОКа «Эрдэнэт» / Ц. Нанзад, К. Хавалболат, Г. Пурэвдорж, П. Батболор // Горный информационно-аналитический бюллетень. - №S1, 2008. - С. 299 – 304
4. Рассказов В.А. Прогнозирование показателей надёжности большегрузных автосамосвалов в условиях глубоких карьеров: автореф. ... канд. тех. наук: 05.05.06. / Рассказов Виктор Анатольевич; МГГУ. - Москва., 2010. - 27 с.
5. Зиновьев В.В. Моделирование процессов и систем: учеб. пособие / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, П.И. Николаев; КузГТУ. - Кемерово, 2016. - 146 с.
6. 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.