

УДК 004

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Кузнецов И.С., студент гр. МРм-161, I курс, (инженер ФИЦ УУХ СО РАН)
Научный руководитель: В.В. Зиновьев, к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
(заместитель директора, главный ученый секретарь ФИЦ УУХ СО РАН)
г. Кемерово

Горнодобывающая отрасль относится к одной из наиболее сложных по планированию и управлению технологическими процессами. Её особенность в том, что производственные процессы и природные условия залегания носят неопределённый характер, в связи с чем сложно спланировать работу предприятия на длительный срок. Обычно для решения таких задач применяют математическое моделирование. Зачастую очень трудно или невозможно получить аналитические зависимости, отображающие случайное взаимодействие во времени и пространстве множества горного оборудования. Поэтому для моделирования горных работ всё чаще применяют имитационное моделирование, которое отображает в компьютере динамику взаимодействия элементов системы в виде некоторого алгоритма[1].

В статье приведена имитационная модель работы участка разреза «Черниговец».

На участке три экскаватора: Komatsu PS1250, Liebherr 9250 и Liebherr R-984 и 14 автосамосвалов грузоподъемностью: 130 тонн (10 автосамосвалов), 220 тонн (4 автосамосвала). В зависимости от вида загружаемой экскаваторами горной породы автосамосвалы двигаются либо на один из складов, либо на отвал, либо разгружаются вне отвала. На рис. 1 представлена схема участка разреза.

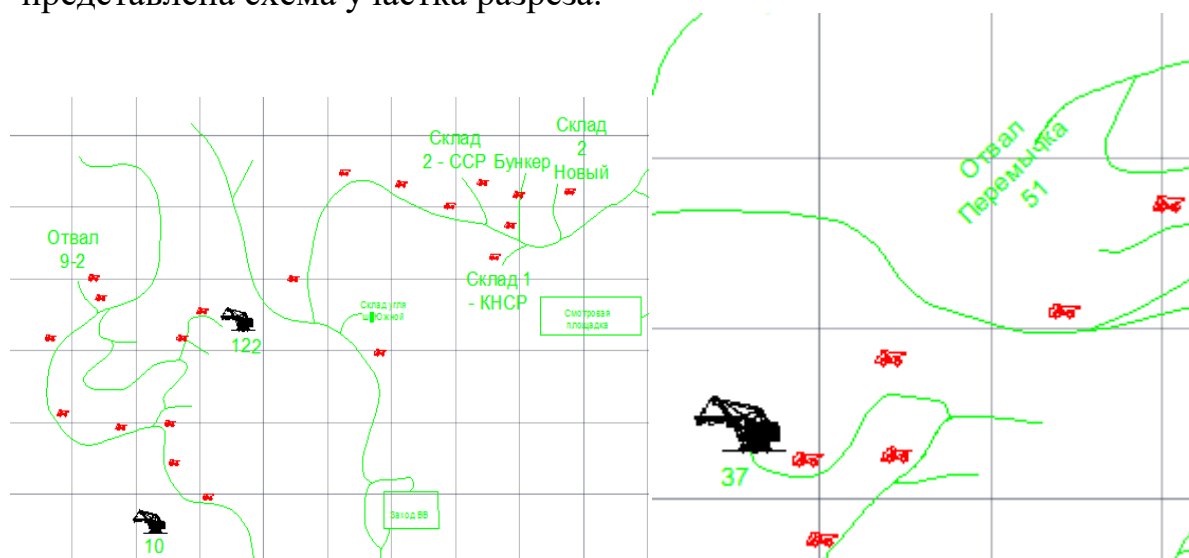


Рисунок 1 Схема участка разреза

С целью подготовки входных параметров для модели проведен статистический анализ данных, полученных из рапортов автоколонн разреза «Черниговец», в которых указаны марки автосамосвалов, номера их шасси и максимальная грузоподъемность, а также хронометражные замеры операций погрузки, транспортировки, разгрузки, возврата к экскаватору с указанием места разгрузки и вида груза.

Выявлено, что закрепленные за экскаватором №10 автосамосвалы грузоподъемностью 130 тонн, после загрузки с вероятностью 85% двигаются на «Склад 2 – ССР» и с вероятностью 15% на «Склад 2 (новый)». Автосамосвалы, закрепленные за экскаватором №122 грузоподъемностью 220 тонн, двигаются на «Отвал 9.2» с вероятностью 88% и с вероятностью 12% двигаются к месту разгрузки «Вне отвала». За экскаватором №37 закреплены автосамосвалы грузоподъемностью 130 тонн, которые после их загрузки двигаются на «Склад 1 – КСНР» с вероятностью 41%, с вероятностью 44% - к месту «Перемычка 51», с вероятностью 12% - на «Склад 2 – ССР» и с вероятностью 3 % могут разгрузиться «Вне отвала».

С использованием пакета анализа, встроенного в MS Excel, проведена идентификация законов распределения хронометражных замеров с использованием статистических критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова [2,3].

Определено, что случайные времена всех операций распределены по нормальному закону. Для ввода в модель для каждого времени операции вычислены среднее значение, среднеквадратическое отклонение (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1

Погрузка

Объем ковша экскаватора (м3)	Максимальная грузоподъемность автосамосвала (тонны)	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение
6	130	623	130
15	220	285	85

Таблица 2

Транспортировка

Номер экскаватора	Место разгрузки	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение
№10	Склад2 – ССР,	1212	127
	Склад2 (новый)	1079	30
№122	Отвал 9.2	221	29
	Вне отвала	155	5

Продолжение таблицы 2

Номер экскаватора	Место разгрузки	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение
№37	Склад 1 – КНСР	1175	276
	Склад 2 – ССР	949	109
	Перемычка 51	507	28
	Вне отвала	900	4

Таблица 3

Разгрузка

Максимальная грузоподъемность автосамосвала (тонны)	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение
130	50	5
220	55	

С использованием современного программного продукта GPSS World разработана имитационная модель угольного разреза. На рис.2 представлен фрагмент блок-схемы на основе, которой создана модель разреза.

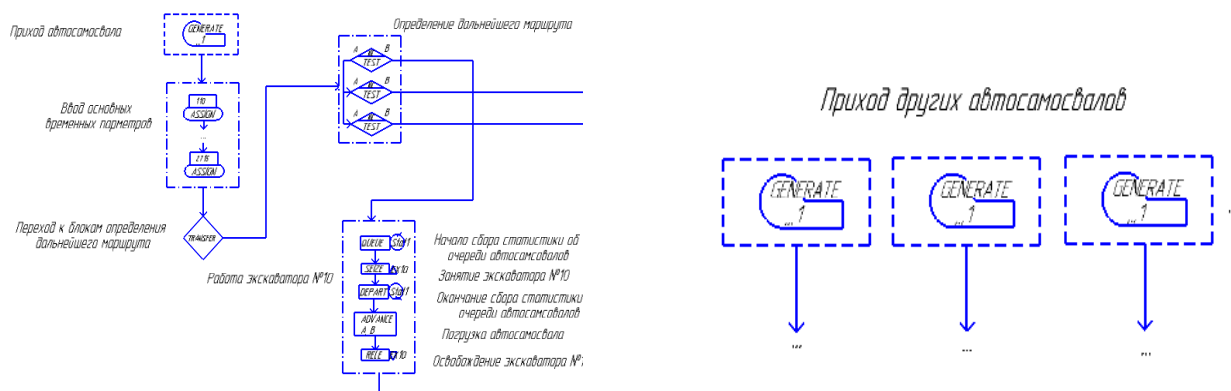


Рисунок 2 Фрагмент блок – схемы GPSS модели

Работа разреза представлена в модели как движение динамических элементов – транзактов через блоки. В модели транзакты - это автосамосвалы. Перемещаясь от блока к блоку, транзакты запускают соответствующие под-программы, которые отображают события, происходящие в реальной системе. Появление транзакта в блоке GENERATE отображает появление автосамосвала. Общее количество блоков GENERATE соответствует общему количеству автосамосвалов на разрезе. Каждый транзакт, вышедший из такого блока проходит последовательность блоков ASSIGN, которые присваивают транзакту характеристики конкретного автосамосвала (грузоподъемность, номер закрепленного экскаватора, время движения, загрузки, разгрузки). Затем в блоках TEST происходит перераспределение транзактов по заданным параметрам, что соответствует перераспределению автосамосвалов на реаль-

ном разрезе. После этого транзакты проходят через серию блоков, отображающих работу экскаватора и далее циркулируют по системе в течение рабочей смены.

Проверка на адекватность является важнейшим этапом имитационного моделирования. Она отвечает на вопрос: «Является ли имитационная модель допустимым представлением реальной системы?» Чаще всего сравнивают поведение реальной системы и модели при одном и том же входном воздействии. Оценивают правильность отображения моделью реальной системы и уточняют модель до тех пор, пока расхождение между поведением системы и ее модели не будет признано приемлемым[4]. Результаты проверки на адекватность представлены в табл. 4,5.

Таблица 4

Сравниваемый параметр	Экскаватор №10		
	Реальная система	Модель	Погрешность (%)
Коэффициент загрузки экскаватора	0.441	0.488	10
Среднее время погрузки (сек)	646	634	2
	Экскаватор №37		
	Реальная система	Модель	Погрешность
Коэффициент загрузки экскаватора	0.635	0.691	8
Среднее время погрузки (сек)	601	628	4
	Экскаватор №122		
	Реальная система	Модель	Погрешность (%)
Коэффициент загрузки экскаватора	0.555	0.610	9
Среднее время погрузки (сек)	285	289	1

Таблица 5

Параметр	Реальная система	Модель	Погрешность (%)
Всего перевезено за смену:	127	135	6

Продолжение таблицы 5

Параметр	Реальная система	Модель	Погрешность (%)
Всего перевезено горной массы за смену (тонн), в том числе:	26683	25934	3
Уголь (тонн)	6748	7368	9
Порода (тонн)	19935	18566	7

Проверка адекватности путем сравнения выходных данных модели с данными хронометражных замеров, полученных с рапортов автоколонн разреза «Черниговец», показала, что максимальное отклонение составило 10%. Следовательно, можно полагать, что разработанная модель правильно отображает реальную систему и на ней можно проводить имитационные эксперименты.

Таким образом, в последствии применение данной модели может повысить эффективность выбора вариантов ведения открытых горных работ на разрезе «Черниговец», за счет проведения имитационных экспериментов и исследования влияния замены экскаваторов и автосамосвалов, изменения организации работ на производительность разреза и загрузку оборудования.

Список литературы:

1. Конюх, В.Л. Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ / В.Л. Конюх, В.В. Зиновьев. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 243 с.
2. Вуколов Э.А Основы статистического анализа /Вуколов Э.А/ Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL., 2008 г. – 464 стр.[2]
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика / Кобзарь А.И. / 2006 г – 816 стр. [3]
4. Зиновьев В.В Моделирование процессов и систем: учеб. пособие / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, П.И. Николаев; КузГТУ. – Кемерово 2016. – 146 с.[4]