

УДК 519.66

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ХРОНОМЕТРАЖНЫХ ДАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Кузнецов И.С.,<sup>1</sup> инженер лаборатории моделирования горнотехнических систем ФИЦ УУХ СО РАН,  
 Пылов П.А.,<sup>2</sup> студент гр. ИТб-162, II курс  
 Научные руководители: Зиновьев В.В.<sup>1</sup> Дягилева А.В.<sup>2</sup>, к.т.н., доцент.  
<sup>1</sup> Федеральный Исследовательский Центр Угля и Углехимии СО РАН  
<sup>2</sup> Кузбасский Государственный Технический Университет имени Т.Ф. Горбачева  
 г. Кемерово

Реальные системы и проходящие в них процессы как правило случайны, и при создании имитационных моделей таких систем необходимо учитывать эти случайности. Но вставлять каждое значение входных параметров в модель, достаточно трудоемкий, а иногда и бессмысленный процесс для разработки такой модели. Для того, чтобы получить объективные значения, которые пойдут в дальнейшем как исходные данные для построения имитационной модели открытых горных работ, был проведен статистический анализ стохастических данных о работе экскаваторов и автосамосвалов, на примере стохастических данных разреза АО «Черниговец» (рис.1).

Рейсы по экскаватору 71 ЭКГ-12 за 08.11.2016 г. 1 Смена.

Ал. №	Экскаватор	Имя разреза	Имя участка	Рейс №	Начало	Конец	Нач. выр.	Кон. выр.	Разработка	В. загрузки	
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,26	178	00:00:00	08:07:43	00:00:00	00:00:00	08:24:58	00:10:52
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,32	172	00:00:00	08:16:41	00:08:16	08:24:57	08:33:53	00:08:59
881	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	5,11	84	00:00:00	08:39:29	00:04:33	08:26:08	08:40:08	00:04:00
620	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	5,02	20	00:00:00	08:44:00	00:00:00	00:00:00	08:44:24	00:00:24
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	1,9	188	00:00:00	08:48:49	00:00:00	00:00:00	08:55:22	00:07:59
620	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,3	184	00:08:03	08:48:17	00:04:19	08:24:26	09:27:08	00:38:33
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,24	201	00:00:00	08:49:19	00:05:49	08:24:26	09:38:19	00:58:40
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,28	195	00:00:00	08:47:33	00:06:23	08:53:56	10:04:17	00:59:21
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,31	177	00:00:00	08:55:09	00:08:21	10:10:16	10:27:54	00:57:46
620	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,28	185	00:00:00	08:55:19	00:03:17	09:58:31	10:02:17	00:08:13
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,33	189	00:00:04	10:19:03	00:05:45	10:24:48	10:33:33	00:07:51
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,27	186	00:00:00	10:41:29	00:00:00	00:00:00	10:55:59	00:08:46
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,31	186	00:01:34	10:48:03	00:09:37	10:56:19	11:05:51	00:08:47
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,28	187	00:00:00	11:05:03	00:04:19	11:10:22	11:18:45	00:08:31
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,32	186	00:00:19	11:14:07	00:05:49	11:19:16	11:28:13	00:08:54
838	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,33	113	00:09:04	11:21:50	00:02:41	11:24:31	11:34:38	00:07:27
2289	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,71	101	00:00:21	11:28:21	00:02:07	11:28:28	11:45:58	00:17:01
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,28	189	00:00:03	11:31:04	00:09:43	11:38:47	11:48:17	00:09:29
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,33	176	00:00:58	11:38:15	00:06:01	11:44:19	11:54:18	00:09:59
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,33	178	00:00:00	11:55:01	00:04:28	11:59:29	12:18:16	00:09:23
2289	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,77	108	00:02:08	12:00:42	00:03:09	12:03:51	12:23:47	00:17:18
2271	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,74	108	00:02:31	12:30:12	00:03:25	12:33:37	12:50:27	00:16:40
838	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,7	110	00:03:44	12:35:08	00:04:20	12:39:28	12:58:22	00:17:28
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,38	188	00:00:22	12:48:32	00:03:48	12:52:20	13:04:48	00:10:28
2289	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,73	122	00:00:09	12:49:19	00:04:05	13:03:24	13:22:23	00:17:47
2271	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,86	120	00:00:13	13:07:25	00:03:08	13:10:33	13:27:23	00:18:17
838	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,74	113	00:00:12	13:12:56	00:03:59	13:16:55	13:35:05	00:18:19
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,34	190	00:00:30	13:18:37	00:05:02	13:21:46	13:33:19	00:08:54
355	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,33	71	00:00:00	13:28:09	00:04:46	13:30:55	13:39:30	00:08:30
881	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,82	192	00:00:10	13:43:31	00:04:46	13:48:17	14:10:19	00:18:51
355	71	Плодова 4 категории	Вне отвала	4,22	55	00:04:23	13:54:09	00:02:50	13:58:59	14:13:14	00:16:13
478	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,78	187	00:00:02	14:07:11	00:03:54	14:11:05	14:28:47	00:17:28
881	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,85	197	00:00:37	14:13:30	00:09:16	14:18:46	14:44:18	00:17:52
881	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,75	107	00:01:29	14:27:21	00:01:43	14:19:04	14:37:18	00:17:16
478	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	2,39	201	00:00:57	14:37:55	00:04:03	14:41:58	14:50:50	00:07:48
881	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,89	192	00:00:00	14:43:03	00:04:45	14:47:48	15:08:29	00:10:29
355	71	Плодова 4 категории	Вне отвала	0,89	83	00:06:30	14:58:13	00:00:00	00:00:00	15:01:05	00:03:30
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,41	214	00:01:55	14:58:37	00:09:29	15:03:06	15:18:17	00:09:26
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,43	214	00:02:30	15:07:52	00:09:48	15:13:40	15:28:24	00:09:41
355	71	Плодова 4 категории	Вне отвала	0,78	43	00:00:00	15:10:44	00:00:00	00:00:00	15:14:09	00:03:19
881	71	Плодова 4 категории	Дорожка 1-3	4,89	207	00:00:00	15:22:01	00:04:04	15:26:05	15:46:44	00:18:47
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,41	197	00:00:05	15:28:23	00:04:30	15:40:53	15:51:23	00:09:38
355	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,39	58	00:00:00	15:50:55	00:00:04	15:50:51	16:00:33	00:09:02
881	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,82	191	00:00:00	16:03:24	00:04:23	16:07:47	16:27:37	00:18:44
355	71	Плодова 4 категории	Отвал 1-3	4,91	99	00:02:44	16:12:38	00:02:55	16:15:29	16:49:01	00:18:40
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,42	175	00:00:08	16:24:29	00:04:10	16:28:38	16:49:50	00:10:15
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,44	193	00:00:03	16:38:26	00:04:02	17:00:28	17:14:43	00:09:02
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,41	186	00:00:08	17:15:40	00:04:31	17:20:21	17:31:50	00:09:27
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,35	173	00:00:02	17:23:52	00:06:27	17:30:19	17:41:45	00:10:09
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,38	175	00:00:00	17:41:21	00:04:06	17:45:29	17:56:26	00:09:54
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,37	174	00:00:48	17:50:25	00:09:43	17:57:08	18:07:01	00:08:10
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,42	196	00:01:48	18:09:39	00:08:41	18:18:20	18:30:10	00:10:14
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,35	177	00:05:29	18:22:07	00:09:07	18:28:14	18:43:59	00:08:52
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,37	184	00:00:04	18:40:54	00:09:18	18:45:12	19:02:11	00:10:56
819	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,4	177	00:01:40	18:53:51	00:08:36	19:02:27	19:14:35	00:09:21
355	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,32	84	00:12:16	18:55:13	00:08:06	19:13:19	19:20:44	00:07:37
881	71	Плодова 4 категории	Перекрышка 52	2,38	193	00:03:51	19:14:48	00:09:20	19:23:08	19:33:59	00:08:52
Среднее за смену:				2,88	155	00:02:02		00:04:14			
Итого за смену: 57 рейсов					8815	01:56:50		04:02:06			

Рисунок 1. Пример «Диспетчерского отчета о работе экскаватора и автосамосвалов»

Проведен анализ программных продуктов, позволяющих проводить статистический анализ данных (таблица 1).

Таблица 1

Рынок программных продуктов для статистической обработки данных

Наименование программного продукта	Компания производитель (страна), ссылка на сайт	Стоимость лицензии на 2018 г., \$	Достоинства	Недостатки
MathLAB	MathWorks (США) mathworks.com	300-3000	Продуманный графический интерфейс; Поддержка матриц в любом удобном для восприятия виде.	Высокая стоимость лицензии; Требуются навыки программирования; Невозможность анализа большого количества массивов данных (до 8 млн. строк).
EViews	IHS (США) http://www.eviews.com	2127 - 2752	Мощный пакет для математического анализа данных;	Отсутствие русифицированной версии; Требуются знания MS DOS; Малое количество литературных источников по работе программы.
MS Excel	Microsoft Corporation (США) https://www.microsoft.com	107	Высокая распространенность; Простота освоения; Удобный интерфейс.	Ограниченность в функциях по анализу данных; Ограниченность на число строк в таблицах.
Statistica	StatSoft Inc (США) https://www.tibco.com	2700	Высокий спектр решаемых задач; Автоматизация формирования отчета; Имеется русифицированная версия; Большое количество источников по описанию работы программы.	Сложность в освоении
SPSS Statistica	IBM SPSS Statistics (США) https://www.ibm.com	3500 - 8739	Удобный графический интерфейс;	Высокая стоимость лицензии; Отсутствие гибкости в расчетах.

В качестве программного продукта для проведения статистического анализа выбран MS Excel, [1,2], так как:

- Самый распространенный и простой для понимания программный продукт с целью проведения статистических обработки данных;
- Для выполнения поставленных задач, не требуется лицензия;
- Не требует навыков программирования.

Перед принятием решения о достоверности выдвигаемой гипотезы, был проведен анализ критериев, позволяющих провести оценку достоверности принятой гипотезы.

Таблица 2

Анализ критериев на достоверность гипотезы [3]

Критерий	Условия применения	Достоинства	Недостатки
Пирсона	Объем выборки должен быть не менее 50 значений; Обязательно равенство $n_i = n_i^T$ .	Критерий применим для любых видов функций, даже при неизвестных значениях их параметров.	Потеря части первоначальной информации (необходима группировка результатов в интервалы).
Колмогорова – Смирнова	Объем выборки должен быть не менее 50 значений.	Можно сравнивать непрерывные распределения.	Обязательно знать среднее значение и дисперсию проверяемой выборки.
Романовского	Объем выборки должен быть не менее 20 значений.	Удобен при отсутствии возможности пользоваться критерием Пирсона.	Бесполезен при отсутствии специальных таблиц.
Фишера	Необходимо найти отношение дисперсий двух выборок (при этом большая в числителе); Предназначен для сравнения 2-х независимых групп одного признака.	Подходит для сравнения очень малых выборок (для 5).	Числитель и знаменатель должны быть независимыми случайными величинами.

По результатам анализа выбраны критерии Пирсона и Колмогорова – Смирнова, так как данный критерии удовлетворяют всем требованиям для применения их к использованию.

Перед проведением статистического анализа, был проведен предварительный анализ по разделению выборок по следующим признакам:

1. При погрузке, - максимальная грузоподъемность автосамосвалов;
2. При транспортировке – пункт разгрузки;
3. При разгрузке – максимальная грузоподъемность.

В результате статистического анализа было установлено, что выполнение всех операций распределено по закону Гаусса (Нормальный закон распределения), что подтверждается выбранными критериями, по оценке достоверности выдвигаемой гипотезы, и определены основные параметры распределения – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение (таблицы 3-5).

Таблица 3

Погрузка

Номер экскаватора	Объем ковша ( $M^3$ )	Максимальная грузоподъемность автосамосвала (тонны)	Тип закона распределения	Среднее время погрузки (сек)	Среднеквадратическое отклонение (сек)
№39	12	220	Гаусса	277	10
№51	33,6			116	10
		240		25	
№71	12	130		165	10
		220		274	10
№81	15	130		415	10
№122				285	10
№10				6	641

Таблица 4

Транспортировка

Номер экскаватора	Пункт(ы) разгрузки	Среднее расстояние от экскаватора до пункта разгрузки, км	Вероятность поездки (%)	Тип закона распределения	Среднее время транспортировки (сек)	Среднеквадратическое отклонение (сек)
№39	Отвал 3.1.	3,81	28	Гаусса	860	10
	Вне отвала	0,26	33		75	15
	Перемычка 51	1,61	39		372	10
№51	Отвал 3.1.	3,71	86		770	154
	Перемычка 51	2,04	2		386	77
	Отвал 3.2.	5,27	12		945	189
№71	Перемычка 52	2,33	64		548	10
	Отвал 1.1''	0,07	3		24	5
	Вне отвала	1,96	5		453	40
	Отвал 1.3.	4,63	28		1034	10
№122	Вне отвала	0,71	10		222	44
	Отвал 9.2.	1,19	90		153	31
№10	Склад 2 - ССР	7,09	93		1300	127
	Склад 2 - Новый	7,03	7		1079	190
№81	Отвал 3.2.	3,79	26		686	137
	Вне отвала	0,34	7	551	110	
	Отвал 3.1.	5,38	67	1067	213	

Таблица 5

Разгрузка

Максимальная грузоподъемность автосамосвала (тонны)	Тип закона распределения	Среднее время разгрузки (сек)	Среднеквадратическое отклонение (сек)
130	Гаусса	50	10
220		55	11
240		72	14

Таким образом, используя полученные результаты как обобщающие входные данные, в дальнейшем применяются для построения имитационной модели открытых горных работ позволяющая повысить эффективность выбора горного оборудования при планировании добычи полезных ископаемых открытым способом.

**Список литературы:**

1. Ивченко Г.И., Медведев И.Ю. «Введение в математическую статистику», Учебное пособие, 2010. - 310 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.
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных сотрудников. – М.ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.