

## ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-113-119

УДК 621.793.71

### ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХРОНОМЕТРАЖНЫХ ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

### INCREASE OF ACCURACY AND RELIABILITY OF CUMULATIVE DISTRIBUTION FUNCTIONS IDENTIFICATION OF TIMING DATA FOR CAVE-AUTO COMPLEX SIMULATION

Кузнецов Игорь Сергеевич,

<sup>1</sup>аспирант, <sup>2</sup>ассистент, e-mail: is150794@mail.ru

Igor S. Kuznetsov, <sup>1</sup>postgraduate, <sup>2</sup>assistant

Зиновьев Василий Валентинович,

к.т.н., доцент, <sup>1</sup>старший научный сотрудник, <sup>2</sup>доцент e-mail: zv150671@gmail.com

Vasily V. Sinoviev, C.Sc. in engineering, <sup>1</sup>senior researcher, <sup>2</sup>associate professor

Кузнецова Алла Валериевна,

к.т.н., <sup>2</sup>доцент, e-mail: cherednichenkoav@kuzstu.ru

Alla V. Kuznetsova, C.Sc. in engineering, <sup>2</sup>associate professor,

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения  
Российской академии наук, 650065, Россия, г. Кемерово, пр. Советский, 18

<sup>1</sup>Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of  
Sciences, 650000 Kemerovo, 10 Leningradsky Avenue, Russian Federation

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>2</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000 Kemerovo, 28 Vesennya st., Russian  
Federation

#### **Аннотация:**

в статье обосновывается необходимость выявления аномальных значений хронометражных данных и исключения их из анализируемых выборок, а также применение нечетного количества статистических критериев для повышения точности и достоверности результатов идентификации законов распределения при имитационном моделировании экскаваторно-автомобильных комплексов. Приведен пример результатов идентификации закона распределения скорости движения автосамосвалов марки Komatsu-HD-785-7 в грузежном состоянии на разрезе ООО СП «Барзасское товарищество». Установлено, что случайная величина – скорость движения автосамосвалов марки Komatsu HD-780-7 в грузежном состоянии – распределена по Гамма-закону.

**Ключевые слова:** экскаваторно-автомобильный комплекс, имитационное моделирование, хронометражные данные, аномальные значения, статистические критерии.

**Информация о статье:** поступило в редакцию 16.04.2021

#### **Abstract:**

Identification of abnormal values in timing data and their removing, as well as using of an odd number of statistical tests to increase accuracy and reliability of cumulative distribution functions identification in cave-auto complex simulation. The hypothesis was confirmed by the results of cumulative distribution functions identification of loaded Komatsu-HD-785-7 dump trucks speed in the open-pit coalmine PLC Co-venture «Barsasskoe Tovarishestvo». It is established that the random variable, the speed of Komatsu HD-780-7 dump trucks in the loaded state is distributed according to the Gamma law.

**Keywords:** *cave-auto complex, simulation, timing data, abnormal values, statistical tests.*

**Article info:** *received April 16, 2021*

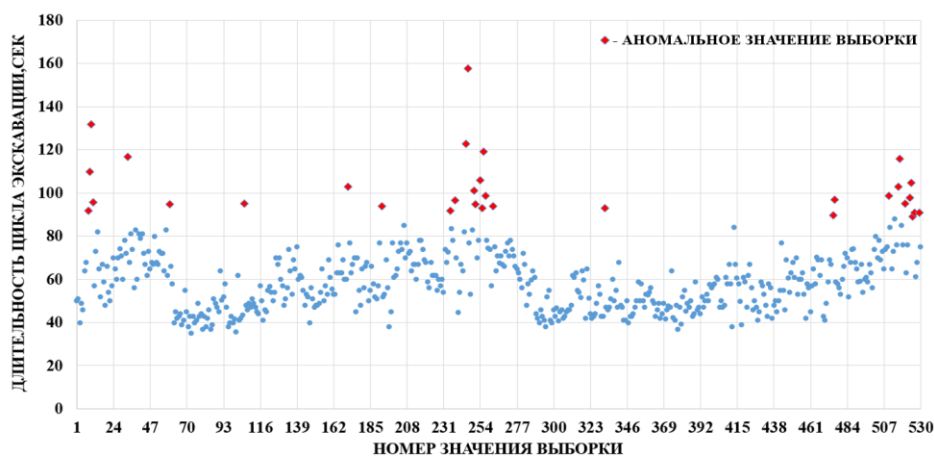


Рис. 1. Хронометражные данные процесса экскавации в автосамосвалы экскаватором ЭКГ-10 на разрезе ООО СП «Барзасское товарищество»

Fig. 1. Timing data of excavation by excavator EKG-10 in dump trucks Komatsu-HD-785-7 in open-pit coalmine PLC Co-venture «Barsasskoe Tovarishestvo»

Экскаваторно-автомобильный комплекс (ЭАК) – сложная система, включающая в себя множество различных элементов (экскаваторы, автосамосвалы, пункты разгрузки, бульдозеры и т.д.), с вероятностными процессами (установка автосамосвала на погрузку/разгрузку, экскавация, движение автосамосвала, его разгрузка). При имитационном моделировании такой системы необходимо вводить указанные вероятностные процессы в модель, что требует идентификации законов распределения хронометражных данных. Для идентификации используют методы статистического анализа, которые заключаются в определении оптимальной величины интервала; разбиении выборки на интервалы с применением рассчитанной величины; построении гистограммы наблюдаемых частот; выдвигении нулевой гипотезы о предполагаемом законе распределения исходя из вида построенной ранее гистограммы; выборе и применении статистического критерия оценки достоверности нулевой гипотезы с учетом доверительного интервала и принятие или отклонение нулевой гипотезы.

Важным аспектом на первых трех этапах является учет аномальных значений в анализируемых выборках. Причинами возникновения аномалий могут быть случайный сбой системы мониторинга работы автосамосвалов и/или экскаваторов, ошибки при снятии хронометражных данных и прочее. Например, по данным хронометражных замеров процесса экскавации в автосамосвалы экскаватором ЭКГ-10 на разрезе ООО СП «Барзасское товарищество» доля аномальных значений составляет 6% (рис. 1).

Исследование хронометражных данных остальных процессов на указанном разрезе при функционировании ЭАК показало, что аномальные значения влияют на оценку математического ожидания выборки в пределах 2-12%. Литературными источниками также подтверждается, что аномальных элементов в выборке может быть 5-10% и их необходимо исключать, чтобы минимизировать искажения при построении гистограмм и полигонов наблюдаемых частот, а также повысить достоверность определяемого закона распределения случайных величин [2,10]. Для выявления аномальных значений существуют специальные методы и статистические критерии, позволяющие подтвердить гипотезу об аномалии конкретного значения [2-6,8-10,14-16].

Несмотря на всеобщую известность теории вероятностей и методов математической статистики, на заключительных этапах идентификации законов распределения, хронометражных данных работы ЭАК авторы априори выбирают единственный статистический критерий оценки достоверности нулевой гипотезы, как правило, Пирсона, либо Колмогорова, либо Крамера-Мизеса-Смирнова [1,7,11-13,17]. Каждый из критериев имеет свой подход. Например, статистикой критерия Пирсона является сумма отношений квадратов расхождения между теоретическими и наблюдаемыми частотами к теоретическим; статистикой критерия

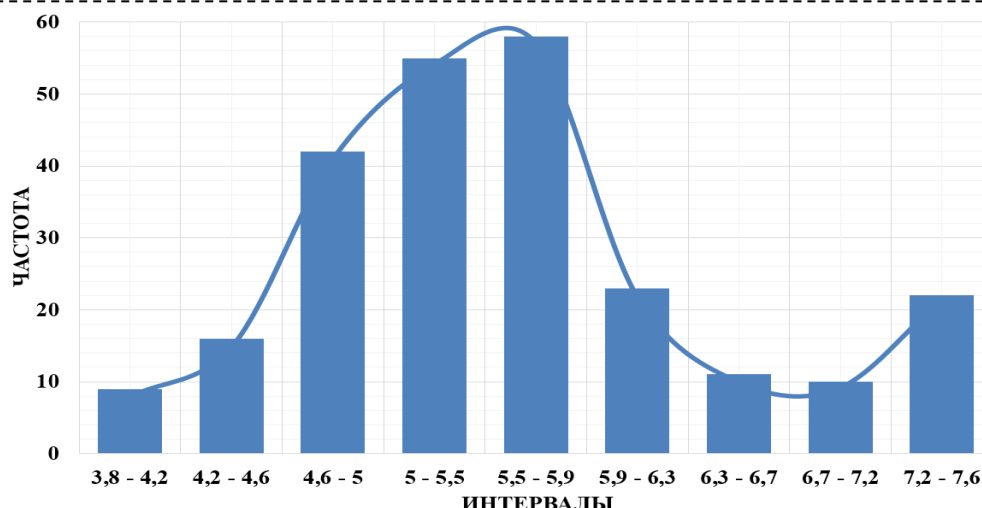


Рис. 2. Гистограмма и полигон наблюдаемых частот при идентификации закона распределения скорости движения автосамосвалов марки Komatsu-HD-785-7 на разрезе ООО СП «Барзасское товарищество»

Fig. 2. Bar graph and frequency polygon for cumulative distribution functions identification of loaded Komatsu-HD-785-7 dump trucks speed in open-pit coalmine PLC Co-venture «Barsasskoe Tovarishestvo»

Таблица 1. Фрагмент оценки достоверности нулевой гипотезы на соответствие наблюдаемых и теоретических частот (распределение Гамма) по критерию Крамера- Мизеса- Смирнова  
 Table 1. Fragment of confidence evaluation of the null hypothesis – compliance between observed and theoretical frequencies (Gamma distribution) with Cramer-von Mises- Smirnov test

С учетом аномалий	$i$	1	2	3	4	...	250	Сумма
	$X_i$	3,819	3,933	3,978	4,039	...	9,089	-
	Расчет	1,50E-04	2,27E-04	2,05E-04	2,38E-04	...	1,47E-06	5,29E-01
	$\omega_{набл.}^2$	0,53						
	Вывод	$\omega_{набл.}^2 (0,53) > \omega_{крит.}^2 (0,46)$ - Гипотеза отвергается						
Без учета аномалий	$i$	1	2	3	4	...	246	Сумма
	$X_i$	3,819	3,933	3,978	4,039	...	7,608	-
	Расчет	4,94E-05	6,70E-05	4,53E-05	4,72E-05	...	1,56E-04	3,33E-01
	$\omega_{набл.}^2$	0,33						
	Вывод	$\omega_{набл.}^2 (0,33) < \omega_{крит.}^2 (0,46)$ - Гипотеза принимается						
	$\omega_{крит.}^2$	0,46 (при $\alpha = 0,95$ )						

где:  $i$  – номер элемента выборки;  $X_i$  – значение  $i$ -го элемента выборки;  $\omega_{набл.}^2$  – наблюдаемое значение критерия Крамера-Мизеса-Смирнова;  $\omega_{крит.}^2$  – критическое значение критерия Крамера-Мизеса-Смирнова;  $\alpha$  – уровень достоверности.

Колмогорова – максимальная разница между наблюдаемыми накопленными частотами и теоретическими накопленными частотами; статистикой критерия Крамера-Мизеса-Смирнова – среднеквадратичная мера расстояния между наблюдаемой и теоретической функциями распределения.

При выборе единственного критерия проверки гипотезы о законе распределения случайной величины существует вероятность совершить ошибку первого рода, когда можно отвергнуть верную гипотезу, и второго рода, когда можно принять неверную гипотезу. Поэтому для повышения точности и достоверности выводов о законе распределения используют несколько критериев, причем их количество должно быть нечетным, т.к. один критерий может подтвердить нулевую гипотезу о законе распределения, а другой ее отвергнуть.

Таблица 2. Результаты идентификации закона распределения скорости движения в грузе автосамосвалов марки Komatsu-HD-785-7 на разрезе ООО СП «Барзасское товарищество» по критерию Пирсона

Table 2. Results of cumulative distribution functions identification of loaded Komatsu HD-785-7 dump trucks speed in open-pit coalmine PLC Co-venture «Barsasskoe Tovarishestvo» with Pearson's chi-squared test

$n$	3,8-4,2	4,2-4,6	4,6-5	5-5,5	5,5-5,9	5,9-6,3	6,3-6,7	6,7-7,6	$\sum_{i=1}^N v_i$
$V_{набл.}$	9	16	42	55	58	23	11	32	246
$V_{теор.}$ (Гамма)	10	21	37	48	47	37	24	19	243
$\chi^2_{наб.}$ (Гамма)	0,10	1,19	0,68	1,02	2,57	5,30	7,04	8,89	26,80
<b>Вывод</b>	$\chi^2_{наб.}(26,80) > \chi^2_{крит.}(11,07)$ – Гипотеза отвергается								
$V_{теор.}$ (Гаусса)	13	19	34	46	48	40	26	18	244
$\chi^2_{наб.}$ (Гаусса)	1,23	0,47	1,88	1,76	2,08	7,23	8,65	10,89	34,20
<b>Вывод</b>	$\chi^2_{наб.}(34,20) > \chi^2_{крит.}(11,07)$ – Гипотеза отвергается								
$V_{теор.}$ (Бета)	19	43	50	48	39	27	15	7	246
$\chi^2_{наб.}$ (Бета)	5,26	16,95	1,28	1,02	9,26	0,59	1,07	89,29	124,72
<b>Вывод</b>	$\chi^2_{наб.}(124,72) > \chi^2_{крит.}(11,07)$ – Гипотеза отвергается								
$\chi^2_{крит.}$	11,07 (при $\alpha = 0,95$ и $df = 5$ )								

где:  $n$  – интервалы случайных величин;  $V_{набл.}$  – наблюдаемое значение частот, попавших в заданный интервал;  $V_{теор.}$  – теоретическое значение частот, попавших в заданный интервал;  $\chi^2_{наб.}$  – наблюдаемое значение критерия Пирсона;  $df$  – число степеней свободы.

Для доказательства важности исключения из выборок аномальных значений и проверки гипотез о выборе закона распределения по нескольким статистическим критериям проведена идентификация закона распределения скорости движения грузе автосамосвалов марки Komatsu-HD-785-7 на разрезе ООО СП «Барзасское товарищество». Размер выборки – 250 значений. Часть результатов проведенной идентификации представлена на рисунке 2 и в таблицах 1, 2.

Внешний вид гистограммы наблюдаемых частот предположительно соответствует распределениям Гамма, Гаусса или Бета, поэтому в качестве нулевых гипотез рассматривались именно эти законы.

В таблице 1 показано, что учет аномальных значений в выборке приводит к совершению ошибки первого рода при проверке гипотезы о законе распределения по критерию Крамера-Мизеса-Смирнова. Исключение аномальных значений в выборке позволяет избежать совершения данного вида ошибки и выдвинуть предположение, что гипотеза о соответствии наблюдаемой частоты распределению Гамма по критерию Крамера-Мизеса-Смирнова верна.

Из таблиц 2-4 видно, что все три критерия отвергли предположение о Бета-распределении скорости движения автосамосвалов. При этом два критерия Пирсона и Колмогорова (таблицы 2 и 3) дали противоречивые результаты. Лишь применение третьего критерия Крамера-Мизеса-Смирнова (таблица 4) позволяет сделать вывод о принятии нулевой гипотезы, которая подтверждает, что случайная величина – скорость движения автосамосвалов марки Komatsu HD-780-7 в грузе – распределена по Гамма-закону.

Таблица 3. Результаты идентификации закона распределения скорости движения в грузе автосамосвалов марки Komatsu-HD-785-7 на разрезе ООО СП «Барзасское товарищество» по критерию Колмогорова

Table 3. Results of cumulative distribution functions identification of loaded Komatsu HD-785-7 dump trucks speed in open-pit coalmine PLC Co-venture «Barsasskoe Tovarishestvo» with Kolmogorov test

$V_{накопнабл}$	1	9	25	67	122	180	203	214	224	246	$\lambda_{крит}$
$V_{накоптеор}$ (Гамма)	2	10	31	68	116	163	200	224	237	243	
$\lambda_{набл}$ (Гамма)	1,07										1,36
<b>Вывод</b>	$\lambda_{набл} (1,07) < \lambda_{крит} (1,36)$ - Гипотеза принимается										
$V_{накоптеор}$ (Гаусса)	4	13	32	66	112	160	200	226	239	244	
$\lambda_{набл}$ (Гаусса)	1,29										
<b>Вывод</b>	$\lambda_{набл} (1,29) < \lambda_{крит} (1,36)$ - Гипотеза принимается										
$V_{накоптеор}$ (Бета)	0	19	62	112	160	199	226	241	247	248	
$\lambda_{набл}$ (Бета)	2,89										
<b>Вывод</b>	$\lambda_{набл} (2,89) > \lambda_{крит} (1,36)$ - Гипотеза отвергается										

где:  $V_{накопнабл}$  – накопленная наблюдаемая частота;  $V_{накоптеор}$  – накопленная теоретическая частота;  $\lambda_{набл}$  – наблюдаемое значение критерия Колмогорова;  $\lambda_{крит}$  – критическое значение критерия Колмогорова.

Таблица 4. Результаты идентификации закона распределения скорости движения в грузе автосамосвалов марки Komatsu-HD-785-7 на разрезе ООО СП «Барзасское товарищество» по критерию Крамера-Мизеса-Смирнова

Table 4. Results of cumulative distribution functions identification of loaded Komatsu HD-785-7 dump trucks speed in open-pit coalmine PLC Co-venture «Barsasskoe Tovarishestvo» with Cramer-von Mises-Smirnov test

$i$	1	2	3	...	246	$\sum_{i=1}^N N_i$
$X_i$	3,819	3,933	3,978	...	7,608	-
Расчет (Гамма)	4,94E-05	6,70E-05	4,53E-05	...	1,30E-06	3,33E-01
$\varpi_{набл}^2$ (Гамма)	0,33					
<b>Вывод</b>	$\varpi_{набл}^2 (0,33) < \varpi_{крит}^2 (0,46)$ - Гипотеза принимается					
Расчет (Гаусса)	2,09E-04	2,82E-04	2,48E-04	...	4,81E-05	5,61E-01
$\varpi_{набл}^2$ (Гаусса)	0,56					
<b>Вывод</b>	$\varpi_{набл}^2 (0,56) > \varpi_{крит}^2 (0,46)$ - Гипотеза отвергается					
Расчет (Бета)	4,13E-06	8,76E-07	8,49E-06	...	4,13E-06	4,25E+00
$\varpi_{набл}^2$ (Бета)	4,25					
<b>Вывод</b>	$\varpi_{набл}^2 (4,25) > \varpi_{крит}^2 (0,46)$ - Гипотеза отвергается					

**Вывод:** Таким образом, при идентификации законов распределения хронометражных данных при моделировании ЭАК для повышения точности и достоверности гипотез о виде закона необходимо выявлять аномальные значения и исключать их из анализируемых выборок, а также применять нечетное количество критериев (как минимум три) для снижения вероятности

совершения ошибок первого и второго рода при анализе нулевых гипотез.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект №19-37-90031 «Разработка специализированной системы имитационного моделирования для исследования параметров безлюдной открыто-подземной геотехнологии».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов, А.Ю. Оптимизация эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов: дис. ... канд. тех. наук. – КузГТУ, – Кемерово, 2015. – 195 с.
2. Марчук, В.И. Способы обнаружения аномальных значений при анализе нестационарных случайных процессов: Монография / В.И. Марчук, С.В. Токарева – Шахты: Южно-Российский гос. Ун-т экономики и сервиса. Шахты: ЮРГУЭС, 2009. – 152 с.
3. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных сотрудников – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
4. Голубчикова, И.С. Исследование применимости методов обнаружения аномалий во временных рядах / Материалы XIII Международной научно-практической конференции, – Томск : ТУСУР, 2017 г. – С. 160-163.
5. Компьютерное моделирование и исследование вероятностных закономерностей / Б.Ю. Лемешко [и др.] // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – №1 (22). – С. 74-85.
6. Попукайло, В.С. Обнаружение аномальных измерений при обработке данных малого объема // Технология и конструирование в электронной аппаратуре №4, - 2016. – С. 42-46. DOI: 10.15222/ТКЕА2016.4-5.42
7. Буялич, Г.Д. Исследование скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов / Г.Д. Буялич, А.С. Фурман // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – №10. - С. 22-24. DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.064
8. Филатова, И.В. Учет аномальных значений данных / И. В. Филатова, А.С. Грянко, М.С. Каминская // Инновационные перспективы Донбасса : сб. науч. тр. / Донбасский государственный технический университет; Донецкая республиканская малая академия наук. – 2018. С. 188-194.
9. Романов, А.А. Модели временных рядов в задачах прогнозирования, поиска аномалий и диагностики / А.А. Романов, И.А. Мошкина, Эгов Е.Н. // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : сб. науч. тр. 2020. С. 545-552.
10. Токарева, С.В. Способы обнаружения аномальных значений при анализе нестационарных процессов: автореф. ... канд. тех. наук. – ЮРГУЭС. – Шахты. 2008. – 16 с.
11. Петухов, С.В. Исследование электропотребления и разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности горных работ предприятий с открытой разработкой угля: автореф. ... канд. тех. наук. – МИСиС, Москва., 2019. – 21 с.
12. Петухов, С.В. Энерготехнологические профили экскаваторных работ при разработке угольных месторождений / С.В. Петухов, А.В. Ляхомский, А.И. Кузнецова // Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – №6 (133). – С. 30-33.
13. Соболева, А.В. Пути снижения себестоимости добычи угля за счет совершенствования организации работы технологического транспорта открытых горных работ / А.В. Соболева, Г.С. Трушина // Сборник материалов II Всероссийской, научно - практической конференции «Россия молодая». – 2010. – С.166-170.
14. Казачук, М.А. Методы поиска исключений в потоках сложноструктурированных данных / М.А. Казачук [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. 2019. № 3. С. 17-28.
15. Charu, C. Aggarwal. Outlier analysis. - ny: springer, 2013.
16. Barnett, V., Lewis, T. Outliers in statistical data. – Wiley, 1994.
- King, A., Eckersley, R. Statistics for biomedical engineers and scientists. - Academic Press, 2019.

## REFERENCES

1. Voronov A.Yu. Optimizatsiya ekspluatatsionnoy proizvoditelnosti ekskava-torno-avtomobilnykh kompleksov razrezov [Optimization of operational performance of cave-auto complex in open-pit coalmine]. PhD dissertation (engineering). T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university. Kemerovo. 2015. 195 P.

2. Marchuk V.I., Tokareva S.V. Sposoby obnaruzheniya anomalnykh znacheniy pri analize nestatsionarnykh sluchaynykh protsessov [Methods for detecting anomalous values in the analysis of non-stationary random processes]. South-Russian state university of economics and service. Shakhty. 2009. 152 P.
3. Kobzar A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh sotrudnikov [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists]. FIZMATLIT. Moscow. 2006. 816 P.
4. Golubchikova I.S. Issledovanie primenimosti metodov obnaruzheniya anomalii vo vremennykh ryadakh [Investigation of the applicability of methods for detecting anomalies in time series]. Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Materials of XIII International Scientific and Practical Conference]. TUSUR. Tomsk. 2017. pp. 160-163.
5. Lemeshko B.Yu. and oth. Kompyuternoe modelirovaniye i issledovanie veroyatnostnykh zakonomernostey [Computer modeling and research of probably functions]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Tomsk state university]. 2013. No 1. pp. 74-85.
6. Popukaylo V.S. Obnaruzhenie anomalnykh izmereniy pri obrabotke dannykh malogo obema [Detection of abnormal measurements in small data processing]. Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature [Technology and design in electronic equipment]. 2016. No 4. pp. 42-46. DOI: 10.15222/TKEA2016.4-5.42
7. Buyalich G.D. Furman A.S. Issledovanie skorostnykh rezhimov dvizheniya karenykh avtosamosvalov [Research of high-speed modes of movement of open-pit dump trucks]. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International research journal]. 2015. No 10. pp. 22-24. DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.064
8. Filatova I.V. Gryanko A.S. Kaminskaya M.S. Uchet anomalnykh znacheniy dannykh [Accounting of abnormal data values]. Innovatsionnye perspektivy Donbassa : sbornik nauchnykh trudov [Innovative perspectives of Donbass: collection of scientific papers]. DonSTU. Donetsk. 2018. pp. 188-194.
9. Romanov A.A. Moshkina A.A. Egov E.N. Modeli vremennykh ryadov v zadachakh prognozirovaniya, poiska anomalii i diagnostiki [Time series models for forecasting, anomaly search and diagnostics]. Gibridnye i sinergeticheskie intellektualnye sistemy : sbornik nauchnykh trudov [Hybrid and synergetic intelligent systems: collection of scientific papers]. 2020. pp. 545-552.
10. Tokareva S.V. Sposoby obnaruzheniya anomalnykh znacheniy pri analize nestatsionarnykh protsessov [Methods for detecting anomalous values in the analysis of non-stationary processes]. Extended abstract of PhD dissertation (engineering). South-Russian state university of economics and service. Shakhty. 16 P.
11. Petukhov S.V. Issledovanie elektropotrebleniya i razrabotka rekomendatsiy po povysheniyu energoeffektivnosti gornykh rabot predpriyatiy s otkrytoy razrabotkoy uglya [Study of electricity consumption and development of recommendations for improving the energy efficiency of mining operations of enterprises with open-pit coal mining]. Extended abstract of PhD dissertation (engineering). MISIS. 2019. 21 P.
12. Petukhov S.V. Lyakhomskiy A.V. Kuznetsova A.I. Energotekhnologicheskie profili ekskavatornykh rabot pri razrabotke ugolnykh mestorozhdeniy [Energy technology profiles of excavation work in the development of coal deposits]. Gornoe oborudovaniye i elektromekhanika [Mining equipment and electromechanics]. 2017. No 6. pp. 30-33.
13. Soboleva A.V. Trushina G.S. Puti snizheniya sebestoimosti dobychi uglya za schet sovershenstvovaniya organizatsii raboty tekhnologicheskogo transporta otkrytykh gornykh rabot [Ways to reduce the cost of coal mining by improving the organization of the technological transport of open pit mining]. Sbornik materialov II Vserossiyskoy, nauchno - prakticheskoy konferentsii "Rossiya molodaya" [Collection of materials of the II All-Russian, scientific-practical conference "Young Russia"]. 2010. pp. 166-170.
14. Kazachuk M.A. Metody poiska iskluycheniy v potokakh slozhnostrukturirovannykh dannykh [Methods for finding exceptions in complex data streams]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 15: Vychislitel'naya matematika i kibernetika [Bulletin of Moscow state university. Series 15: Computational mathematics and cybernetics]. MSU. Moscow. 2019. No 3. pp. 17-28.
15. Charu, C. Aggarwal. Outlier analysis. - ny: springer, 2013.
16. Barnett, V., Lewis, T. Outliers in statistical data. – Wiley, 1994.
- King, A., Eckersley, R. Statistics for biomedical engineers and scientists. - Academic Press, 2019.

#### **Библиографическое описание статьи**

Кузнецов И.С., Зиновьев В.В., Кузнецова А.В. Повышение точности и достоверности идентификации законов распределения хронометражных данных при моделировании экскаваторно-автомобильных комплексов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3 (145). – С. 113-119.

#### **Reference to article**

Kuznetsov I.S., Sinoviev V.V., Kuznetsova A.V. Increase of accuracy and reliability of cumulative distribution functions identification of timing data for cave-auto complex simulation. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.3 (145), pp. 113-119.