

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 629.7, 614.84:519

И. А. Кайбичев¹, Е. И. Кайбичева²

¹Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

ПРИМЕНИМОСТЬ ПРАВИЛА «ТРИ СИГМА» К ВРЕМЕННЫМ ПЕРИОДАМ МЕЖДУ НЕШТАТНЫМИ СИТУАЦИЯМИ НА КОСМОДРОМАХ БАЙКОНУР И ВОСТОЧНЫЙ ЗА ПЕРИОД 2011-2020 ГОДОВ

Аннотация. Рассчитан временной период между нештатными ситуациями на космодромах Байконур и Восточный. Определены статистические характеристики временного периода между нештатными ситуациями. Установлено выполнение правила «три сигма» для временного периода между нештатными ситуациями. Правило «три сигма» может быть использовано для статистического прогнозирования временного интервала до следующей нештатной ситуации на космодромах.

Ключевые слова: нештатные ситуации, аварии, космодром, правило «три сигма».

Введение

Освоение космоса сопровождается высоким техническим риском и нештатными ситуациями, в том числе авариями. Нештатные ситуации и аварии могут происходить по разным причинам, от которых в предлагаемом исследовании абстрагируемся. Обратим внимание на другой, актуальной задаче, состоящей в анализе временных периодов между нештатными ситуациями. При этом будут определены временные периоды (в количестве дней) между нештатными ситуациями, а также статистические характеристики полученного таким образом вариационного ряда.

Постановка проблемы

Нештатные ситуации возникают последовательно, одна за другой. На основе имеющейся информации можно рассчитать статистические характеристики временного периода между нештатными ситуациями и с помощью известного правила «три сигма» [1] оценить возможный интервал их появления. На данный момент пока не ясно применимость правила «три сигма» к временным интервалам между нештатными ситуациями на космодромах Байконур и Восточный.

Основная часть

Ряд нештатных ситуаций

Данные по нештатным ситуациям на объектах наземной космической инфраструктуры космодромов Байконур и Восточный за период 2011-2020 гг. [2-4] упорядочим по датам их появления (рисунок 1).

	А	В
1	N	Дата
2	1	18.08.2011
3	2	24.08.2011
4	3	08.11.2011
5	4	06.08.2012
6	5	02.07.2013
7	6	16.05.2014
8	7	28.04.2015
9	8	16.05.2015
10	9	12.03.2016
11	10	27.04.2016
12	11	01.12.2016
13	12	14.07.2017
14	13	28.11.2017
15	14	11.02.2018
16	15	11.10.2018
17	16	21.02.2019
18	17	24.08.2019

Рисунок 1 - Даты нештатных ситуаций на космодромах Байконур и Восточный

Определим временной интервал (в количестве дней) между нештатными ситуациями (рисунок 2).



Рисунок 2 - Временной интервал между нештатными ситуациями (количество дней)

Нам предстоит ответить на вопрос – есть ли возможности оценки временного интервала до следующей нештатной ситуации на основе имеющейся информации.

Статистические характеристики

Случайную величину [1] характеризуют математическим ожиданием и стандартным отклонением.

В качестве оценки для математического ожидания применяют среднее значение

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

где X_i - наблюдаемые значения случайной величины ($i = 1, 2, \dots, n$), n – количество наблюдений.

Стандартное отклонение является мерой рассеяния случайной величины от среднего значения

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2} \quad (2)$$

Правило «три сигма»

Правило «три сигма» [1] утверждает, что вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания более чем на три среднеквадратических отклонения, практически равна нулю. В пределах двух среднеквадратических отклонений — уже 95,44 %, а в пределах трех — 99,72 %.

Нижняя граница тогда равна

$$X_n = X_{cp} - 3 * \sigma \quad (4)$$

Для верхней границы имеем

$$X_b = X_{cp} + 3 * \sigma \quad (5)$$

Временной интервал между нештатными ситуациями считаем случайной величиной. Нам предстоит выяснить, подчиняется ли эта случайная величина правилу «три сигма». Для этого проверим выполнение правила «три сигма» для последних пяти членов ряда.

Проверка правила «три сигма» для одиннадцатого члена ряда

Предполагаем, что к моменту проверки известны 10 значений ряда. На основе этой информации рассчитаем среднее значение, стандартное отклонение, нижнюю и верхнюю границы (рисунок 3).

	A	B	C
1	1	6	Среднее
2	2	76	193
3	3	272	СтОтклон
4	4	330	140
5	5	318	НижГраница
6	6	347	-228
7	7	18	ВерхГраница
8	8	301	615
9	9	46	
10	10	218	
11	11	225	

Рисунок 3 - Статистические характеристики на основе первых десяти членов ряда

Для нижней границы получено отрицательное значение, его нужно заменить на 0. В интервал [0,615] одиннадцатое значение ряда (225) попадает. В момент оценки интервала одиннадцатое значение было неизвестно.

Проверка правила «три сигма» для двенадцатого члена ряда

Предполагаем, что к моменту проверки известны уже 11 значений ряда. На основе этой информации рассчитаем среднее значение, стандартное отклонение, нижнюю и верхнюю границы (рисунок 4).

	A	B	C
1	1	6	Среднее
2	2	76	196
3	3	272	СтОтклон
4	4	330	134
5	5	318	НижГраница
6	6	347	-205
7	7	18	ВерхГраница
8	8	301	597
9	9	46	
10	10	218	
11	11	225	
12	12	137	

Рисунок 4 - Статистические характеристики на основе первых одиннадцати членов ряда

Для нижней границы получено отрицательное значение, его нужно заменить на 0. В интервал $[0,597]$ двенадцатое значение ряда (137) попадает. На момент оценки интервала двенадцатое значение ряда было неизвестно.

Обсуждение результатов

Продолжим такую процедуру для остальных членов ряда (таблица 1). Отметим, что следующее значение ряда на практике появляется уже после оценки интервала возможных значений.

Таблица 1 – Результаты проверки правила «три сигма»

Кол-во известных членов ряда	Среднее	Стандартное отклонение	Нижняя граница	Верхняя граница	Значение следующего члена ряда	Попадание в интервал
10	193	140	0	615	225	да
11	196	134	0	597	137	да
12	191	129	0	577	75	да
13	182	127	0	564	242	да
14	187	123	0	556	133	да

Можно сделать вывод – следующее значение ряда попадает в интервал, рассчитанный на основании предшествующих членов ряда.

Следовательно, эмпирическое правило «три сигма» для временного интервала между нештатными ситуациями на космодромах Байконур и Восточный работает.

Применение правила «три сигма» позволяет оценить диапазон возможных значений для интервала между нештатными ситуациями на космодромах Байконур и Восточный и является одним из возможных способов статистического прогнозирования [5].

Список литературы

1. Бирюкова Л. Г., Бобрик Г. И., Матвеев В. И. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие. 2-е изд. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2017. – 289 с.
2. Беляков Г. П., Анищенко Ю. А., Сафонов М. В. Риски космических проектов. Анализ неудачных космических запусков // Вестник СибГАУ. – 2014. – № 5 (57). – С. 208-215.
3. Третьяков И. А., Кравченко А. В. Основные проблемы космических запусков за 2014-2018 годы // Сб. мат. V Междунар. научн.-практ. конф., посвященной Дню космонавтики «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (8-12 апреля 2019 г., Красноярск). – Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2019, Т. 1. – С. 174-176.
4. Кобелев А. М., Барбин Н. М., Теретьев Д. И., Титов С. А., Кокорин В. В., Тужиков Е. Н. Анализ нештатных ситуаций на объектах наземной космической инфраструктуры космодромов Байконур и Восточный за период 2011-2020 гг. // Техносферная безопасность. – 2021. – № 3 (32). – С. 110-119.
5. Берденова Д. К. Статистические методы прогнозирования лесных пожаров в Республике Казахстан // Вестник Кокшетауского технического института. – 2018. – № 4 (34). – С. 76-82.

References

1. Biryukova L. G., Bobrik G. I., Matveev V. I. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnoe posobie. 2-e izd. – M.: NIC INFRA-M, 2017. – 289 s.
2. Belyakov G. P., Anishchenko YU. A., Safonov M. V. Riski kosmicheskikh proektov. Analiz neudachnyh kosmicheskikh zapuskov // Vestnik SibGAU. – 2014. – № 5 (57). – S. 208-215.
3. Tret'yakov I. A., Kravchenko A. V. Osnovnye problemy kosmicheskikh zapuskov za 2014-2018 gody // Sb. mat. V Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf., posvyashchennoj Dnyu kosmonavtiki «Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki» (8-12 aprelya 2019 g., Krasnoyarsk). – Krasnoyarsk: SibGU im. M. F. Reshetneva, 2019, T. 1. – S. 174-176.
4. Kobelev A. M., Barbin N. M., Teret'ev D. I., Titov S. A., Kokorin V. V., Tuzhikov E. N. Analiz neshtatnyh situacij na ob"ektah nazemnoj kosmicheskoy infrastruktury kosmodromov Bajkonur i Vostochnyj za period 2011-2020 gg. // Tekhnosfernaya bezopasnost'. – 2021. – № 3 (32). – S. 110-119.
5. Berdenova D. K. Statisticheskie metody prognozirovaniya lesnyh pozharov v Respublike Kazahstan // Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo instituta. – 2018. – № 4 (34). – S. 76-82.

И. А. Кайбичев¹, Е. К. Кайбичева²

¹*Ресей ТЖМ МӨҚ Орал институты, Екатеринбург, Ресей*

²*Орал мемлекеттік экономикалық университеті, Екатеринбург, Ресей*

**2011-2020 ЖЫЛДАР КЕЗЕҢІНДЕГІ БАЙҚОҢЫР ЖӘНЕ ВОСТОЧНЫЙ
ҒАРЫШЖАЙЛАРЫНДА ШТАТТАН ТЫС ЖАҒДАЙЛАР АРАСЫНДАҒЫ УАҚЫТША
КЕЗЕҢДЕРГЕ «ҮШ СИГМА» ЕРЕЖЕСІНІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ**

Аңдатпа. Байқоңыр және Восточный ғарышжайлардағы штаттан тыс жағдайлар арасындағы уақыт кезеңі есептелген. Штаттан тыс жағдайлар арасындағы уақыт кезеңінің статистикалық сипаттамалары анықталды. Штаттан тыс жағдайлар арасындағы уақыт кезеңі үшін «үш сигма» ережесінің орындалуы анықталды. «Үш сигма» ережесін ғарыш

жайлардағы келесі штаттан тыс жағдайға дейін уақыт аралығын статистикалық болжау үшін пайдалануға болады.

Түйінді сөздер: төтенше жағдайлар, апаттар, ғарышжай, үш сигма ережесі

I. Kaibichev¹, E. Kaibicheva²

¹*Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ural, Russia*

²*Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia*

APPLICABILITY OF THE THREE SIGMA RULE TO THE TIME PERIODS BETWEEN EMERGENCY SITUATIONS AT THE BAIKONUR AND VOSTOCHNY COSMODROMES FOR THE PERIOD 2011-2020

Abstract. The time period between emergency situations at the Baikonur and Vostochny cosmodromes is calculated. Statistical characteristics of the time period between emergency situations are determined. The "three sigma" rule has been established for the time period between emergency situations. The "three sigma" rule can be used for statistical forecasting of the time interval until the next emergency situation at the spaceports.

Keywords: emergency situations, accidents, spaceport, the three sigma rule.

Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors

Игорь Анполинарьевич Кайбичев – физика-математика ғылымдарының докторы, доценті, Ресей ТЖМ МӨҚ Орал институтының математика және информатика кафедрасының профессоры. Ресей, Екатеринбург, Бейбітшілік көшесі, 22. E-mail: kaibitchev@mail.ru

Екатерина Игоревна Кайбичева – экономика ғылымдарының кандидаты, Орал Экономикалық мемлекеттік Университетінің аймақтық, муниципалды экономика және менеджмент кафедрасының доценті. Ресей, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62. E-mail: catherine.kai@mail.ru

Кайбичев Игорь Анполинарьевич – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры математики и информатики Уральского института ГПС МЧС России. Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 22. E-mail: kaibitchev@mail.ru

Кайбичева Екатерина Игоревна – кандидат экономических наук, доцент кафедры региональной, муниципальной экономики и управления Уральского государственного экономического университета. Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62. E-mail: catherine.kai@mail.ru

Igor Kaibichev – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mathematics and Computer Science of the Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 22 Mira str., Yekaterinburg, Russia. E-mail: kaibitchev@mail.ru

Ekaterina Kaibicheva – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Regional, Municipal Economics and Management of the Ural State University of Economics. 62, 8 Marta str., Yekaterinburg, Russia. E-mail: catherine.kai@mail.ru