

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)  
УДК 519.21  
DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-4-117-123



## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КРАНОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПСЕВДОСОСТОЯНИЙ

Извеков Ю.А.<sup>1</sup>, Рамазанов К.Н.<sup>2</sup>, Гончарова Е.А.<sup>1</sup>, Каримова Д.Ф.<sup>1</sup>, Шубин И.Г.<sup>1</sup>, Смирнова Л.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

<sup>2</sup> Академия наук Республики Башкортостан, Уфа, Россия

**Аннотация.** Теория случайных процессов имеет обширное поле инженерных приложений. Особое место в этой науке занимают так называемые процессы гибели и размножения. Несмотря на биологическое происхождение данной терминологии этой теории, она с ходу вписывается в существующие технологические процессы. Статья представляет собой продолжение исследований, направленных на инженерное и технологическое приложение теории вероятностей и случайных процессов с целью построения эффективной системы менеджмента качества опасных производственных объектов металлургического предприятия. При анализе эксплуатации металлургических кранов различают несколько состояний – эксплуатация, авария, ремонт и др. В условиях металлургического производства стали становится невозможным прерывание производственного цикла, то есть если кран выходит из строя, его необходимо практически сразу заменить. Для обоснования технологических решений используется метод псевдосостояний процессов гибели и размножения. На основании известных подходов и моделей построена система дифференциальных уравнений Колмогорова, рассчитаны характеристики случайного процесса, математическое ожидание и дисперсия. Показано, что вероятности нахождения крана в стационарном режиме в псевдосостояниях распределены по закону Пуассона. Это показывает независимость распределения интервалов между событиями поступающих на замену кранов. Приведен абстрактный модельный пример расчета характеристик случайного процесса числа эксплуатационных единиц и их временных характеристик. Показано, что вероятность нахождения эксплуатационного состава металлургических кранов в течение года сохранится с вероятностью 0,9985. Предложенный подход может быть использован в текущей повседневной деятельности не только на металлургическом предприятии, но и на других, а также может найти отражение в нормативно-технической документации.

**Ключевые слова:** псевдосостояние, случайный процесс, металлургический кран, закон Пуассона, вероятность, математическое ожидание, дисперсия

© Извеков Ю.А., Рамазанов К.Н., Гончарова Е.А., Каримова Д.Ф., Шубин И.Г., Смирнова Л.В., 2023

### Для цитирования

Управление качеством эксплуатации металлургических кранов на основе метода псевдосостояний / Извеков Ю.А., Рамазанов К.Н., Гончарова Е.А., Каримова Д.Ф., Шубин И.Г., Смирнова Л.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №4. С. 117-123. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-4-117-123>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

## QUALITY MANAGEMENT OF OPERATION OF METALLURGICAL CRANES BASED ON A METHOD OF PSEUDOSTATES

Izvekov Yu.A.<sup>1</sup>, Ramazanov K.N.<sup>2</sup>, Goncharova E.A.<sup>1</sup>, Karimova D.F.<sup>1</sup>, Shubin I.G.<sup>1</sup>, Smirnova L.V.<sup>1</sup>

1 Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

2 Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia

**Abstract.** Random process theory has an extensive field of engineering applications. A special place in this science is occupied by the so-called processes of death and reproduction. Despite the biological origin of this terminology of this theory, it immediately fits into existing technological processes. This paper is a continuation of studies aimed at an engineering and technological application of the theory of probabilities and random processes to build an efficient quality management system for hazardous production facilities of a metallurgical enterprise. When analyzing the operation of metallurgical cranes, we identify several states: operation, failure, repair and others. It is impossible to interrupt the production cycle in steelmaking divisions: if the crane fails, it must be replaced almost immediately. To provide rationale for technological solutions, we use the method of pseudostates of death and reproduction processes. Based on known approaches and models, we built a system of the Kolmogorov differential equations, and calculated the characteristics of the random process, mathematical expectation and dispersion. It is shown that probabilities of a steady state mode of a crane are distributed in pseudostates according to Poisson's law. This shows the independence of the distribution of intervals between the events of registering cranes for replacement. The paper contains a hypothetical model example of calculating the random process characteristics of the number of operating units and their time characteristics. It has been shown that keeping an operating pool of metallurgical cranes during the year will remain with a probability of 0.9985. The proposed approach can be used in current daily activities not only at metallurgical enterprises, but also at others, and also reflected in regulatory and technical documentation.

**Keywords:** pseudostate, random process, metallurgical crane, Poisson's law, probability, mathematical expectation, dispersion

**For citation**

Izvekov Yu.A., Ramazanov K.N., Goncharova E.A., Karimova D.F., Shubin I.G., Smirnova L.V. Quality Management of Operation of Metallurgical Cranes Based on a Method of Pseudostates. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 117-123. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-4-117-123>

**Введение**

Любое техническое устройство, его конструкция, составляющие элементы может случайным образом переходить из одного состояния в другое:

- $s_1$  – может успешно эксплуатироваться;
- $s_2$  – может быть выведено из строя – подвергнуться аварии;
- $s_3$  – может иметь неисправность и эксплуатироваться или при обнаружении неисправности – ремонтироваться;
- $s_i$  – другие состояния.

Такие переходы подвергнуты случайным факторам и описываются теорией случайных процессов [1, с. 15]. Теория случайных процессов имеет обширное поле инженерных приложений. Авторами проведены исследования состояния  $s_2$  [2, 3] для опасных производственных объектов – металлургических кранов. Так, используя теорему о марковских случайных процессах, найдены предельные вероятности в стационарном режиме для конструкций металлургических кранов. Такой подход обеспечил наметить модель

принятия решений при оценке качества таких сложных технических устройств, которая включала бы стратегию управления риском при аварийных ситуациях и оценки их экономической эффективности для металлургического предприятия. Лучшей моделью управления риском в этом случае является установление режимов технического обслуживания и проектного срока эксплуатации.

Изучение состояний  $s_1$  и  $s_3$  при помощи теории случайных процессов существенно расширяет инженерные приложения этой науки. Здесь интересными представляются псевдосостояния в марковских процессах гибели и размножения.

Цель исследования состоит в следующем: используя известный аппарат теории случайных процессов, уточнить и расширить их применение для изучения металлургических кранов при двух состояниях:  $s_1$  – успешной эксплуатации,  $s_2$  – выведения из эксплуатации (ремонт). Определить этот случайный процесс и обосновать его применение в технологической инженерной практике.

Рассмотрим процесс эксплуатации однотипных сложных технических систем – металлургических кранов. В момент времени  $t=0$  на предприятии имелось  $n$  таких систем. Анализируя марковские процессы гибели и размножения, видим, что в последнее время основное внимание уделяется определению одномерного закона распределения случайного процесса  $X(t)$  – числа эксплуатационных единиц и их временных характеристик. Для технологических и инженерных задач чаще всего интересуются характеристиками случайного процесса: математическим ожиданием, дисперсией, а также корреляционной функцией.

В данном случае  $X(t)$  – процесс гибели и размножения, размеченный граф  $G(S)$  которого представлен на **рис. 1**.

В данном случае будем рассматривать простой процесс восстановления. Учитывая, что металлургическое производство стали является непрерывным циклом, предполагаем, что при выходе из строя металлургического крана он практически сразу заменяется другим. И это необязательно катастрофическое или аварийное событие. Такие события являются достаточно редкими и рассмотрены в [2, 3]. Причин для замены может быть достаточно: техническое обслуживание, дефекты, обнаруженные при осмотре, поломка и многое другое. Возникает задача: возможно ли с помощью марковского случайного процесса с непрерывным временем и дискретными состояниями составить модель простого процесса восстановления, закон которого бы не был показательным. Эта задача может быть решена с помощью метода псевдосостояний. Будем рассматривать два псевдосостояния:  $U_0$  – кран эксплуатируется,  $U_1$  – кран ремонтируется (не эксплуатируется). Стрелками на **рис. 1** показаны интенсивности ввода в эксплуатацию (поступления) кранов на замену и вывода из эксплуатации (строя, отправления в ремонт).

### Полученные результаты и их обсуждение

Задачу определения случайного процесса  $X(t)$  будем решать следующим образом [1, с. 157, 4-6].

Составим и решим систему  $n$  дифференциальных уравнений Колмогорова, найдем вероятности состояний этого процесса  $p_i(t) = P\{X(t) = i\}$ , ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ). Таким образом, будет найден одномерный закон распределения.

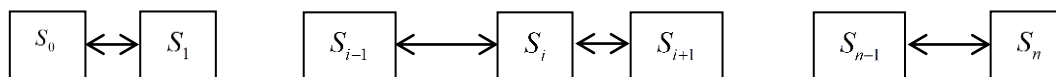


Рис. 1. Размеченный граф состояний  $G(S)$

Fig. 1. Labeled graph of states  $G(S)$

Найдем характеристики процесса  $X(t)$ , математическое ожидание и дисперсию по формулам:

$$m_x(t) = M[X(t)] = \sum_{i=0}^n ip_i(t). \quad (1)$$

$$D_x(t) = D[X(t)] = M\left[(X(t) - m_x(t))^2\right] = \sum_{i=0}^n i^2 p_i(t) - \left(\sum_{i=0}^n ip_i(t)\right)^2. \quad (2)$$

Алгоритм решения широко известен [1, с. 163, 4-6].

Имеем для псевдосостояний:  $(U_0 = \{s_0^{(0)}, s_1^{(0)}\}, \{s_0^{(1)}, s_1^{(1)}\})$ . Интенсивность ввода новых кранов в эксплуатацию  $\lambda(t) = at$ . Интенсивность снятия с эксплуатации каждого крана данного типа постоянна и равна  $\mu$ .

Система дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний, входящих в псевдосостояния [1, с. 191]:

$$\frac{dp_1^{(1)}(t)}{dt} = \mu_1 p_0^{(1)}(t) - \mu_2 p_1^{(1)}(t),$$

$$\frac{dp_1^{(0)}(t)}{dt} = \lambda_1 p_0^{(0)}(t) - \lambda_2 p_1^{(0)}(t),$$

$$\frac{dp_0^{(1)}(t)}{dt} = \lambda_2 p_1^{(0)}(t) - \mu_1 p_0^{(1)}(t),$$

$$p_0^{(0)}(t) + p_1^{(0)}(t) + p_0^{(1)}(t) + p_1^{(1)}(t) = 1.$$

Решение ищется с помощью преобразования Лапласа при начальном условии  $p_0^{(0)}(0) = 1$ ,  $p_1^{(0)}(0) = p_0^{(1)}(0) = p_1^{(1)}(0) = 0$ .

По математическому ожиданию в соответствии с [1, с. 193] имеем

$$m_x(t) = e^{-\mu t} \int_0^t a x e^{\mu x} dx = \frac{a}{\mu^2} [\mu t - 1 + e^{-\mu t}]. \quad (3)$$

Кривая  $m_x(t)$  будет иметь асимптоту

$$\frac{a}{\mu} t - \frac{a}{\mu^2} = \frac{a}{\mu} \left( t - \frac{1}{\mu} \right). \quad (4)$$

График зависимости  $m_x(t)$  показана на **рис. 2**.

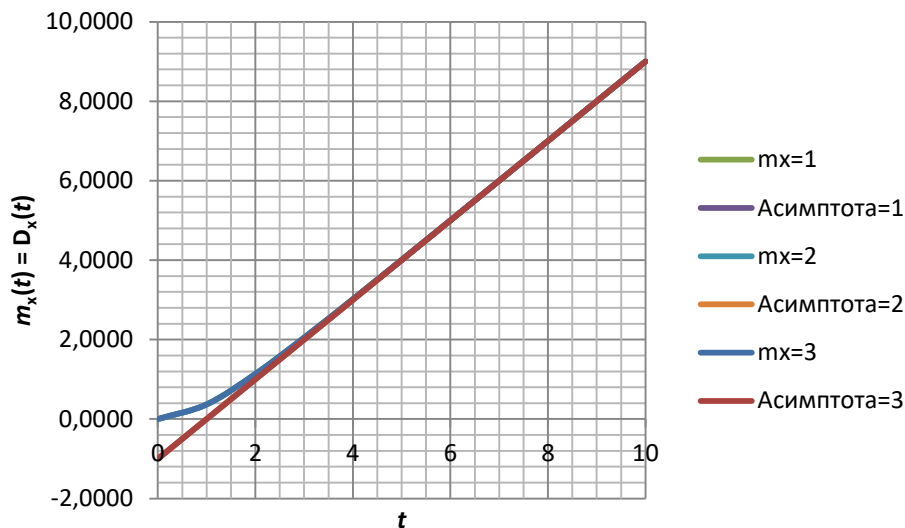


Рис. 2. График зависимости математического ожидания  $m_x(t)$ .  $a = 1, 2, 3; \mu = 1, 2, 3$

Fig. 2. Graph of mathematical expectation dependence  $m_x(t)$ .  $a = 1, 2, 3; \mu = 1, 2, 3$

График показывает зависимость  $m_x(t) = D_x(t)$  для различных  $a, \mu$ . На графике видно, что при времени  $t \approx \frac{3}{\mu}$  начинается практически линейный рост числа эксплуатируемых кранов после начала эксплуатации:

$$m_x(t) = D_x(t) \approx \frac{at}{\mu} - \frac{a}{\mu^2} = \frac{a}{\mu} \left( t - \frac{1}{\mu} \right), \left( t > \frac{3}{\mu} \right). \quad (5)$$

Для бесперебойной эксплуатации цеха металлургического предприятия, на котором расположены  $M$  металлургических кранов, необходимо в течение года обеспечить введение в строй не менее  $n$  кранов. За  $n$  принимаем математическое ожидание. Таким образом, получаем стационарный режим одномерного закона распределения случайного процесса  $X(t)$ , представляющий закон Пуассона, для которого, как известно, математическое ожидание равно дисперсии:

$$P\{X(t) = i\} = p_i(t) = \frac{[m_x(t)]^i}{i!} e^{-m_x(t)}. \quad (6)$$

Кроме этого, здесь представляется важным и интересным с точки зрения инженерного технологического приложения теории случайных процессов решение еще одной задачи. При интенсивности ввода в эксплуатацию кранов  $\lambda = at$  и постоянной интенсивности снятия (вывода) из эксплуатации  $\mu = \text{const}$  определить вероятность выполнения производственного плана, если на начало года в эксплуатации было  $n_1$  эксплуатируемых кранов ( $t_1 > 0$ ), то по плану к концу года на момент времени  $t_2 (t_2 > t_1)$  должно быть  $n_2$  кранов.

Математическое ожидание числа кранов на момент времени  $t_2$  [1, с. 195] будет

$$m_x(t_2) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \mu dt} \left[ \int_{t_1}^{t_2} a x e^{\int_{t_1}^x \mu dt} dx + n_1 \right] = \frac{a}{\mu^2} \left[ \mu t_2 - 1 - e^{-\mu(t_2-t_1)} (\mu t_1 - 1) \right] + n_1 e^{-\mu(t_2-t_1)}. \quad (7)$$

Дисперсия числа кранов на момент времени  $t_2$ , учитывая, что  $D_x(t_1) = 0$ , так как  $X(t_1) = n_1$ , где  $n_1$  – неслучайное число, будет определяться как

$$D_x(t_2) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} 2\mu dt} \int_{t_1}^{t_2} (ax + \mu m_x(x)) e^{\int_{t_1}^x 2\mu dt} dx = \frac{a}{2\mu^2} \left[ 2\mu t_2 - 1 - e^{-2\mu(t_2-t_1)} (2\mu t_1 - 1) \right] - \frac{a}{2\mu^2} (1 - e^{-2\mu(t_2-t_1)}) - \frac{a(\mu t_1 - 1)}{\mu^2} \left[ e^{-\mu(t_2-t_1)} - e^{-2\mu(t_2-t_1)} \right] + n_1 (e^{-\mu(t_2-t_1)} - e^{-2\mu(t_2-t_1)}). \quad (8)$$

При больших значениях  $m_x(t_2)$  и при условии  $m_x(t_2) - 3\sqrt{D_x(t_2)} > 0$  можем с достаточной точностью считать, что случайная величина  $X(t_2)$  распределена по нормальному закону. Соответственно, вероятность выполнения плана находится по формуле

$$P\{X(t_2) > n_2\} = 1 - P\{X(t_2) < n_2\} = 0,5 - \Phi \left( \frac{n_2 - m_x(t_2)}{\sqrt{D_x(t_2)}} \right). \quad (9)$$

Для абстрактного, модельного расчета принимаем следующие значения: будем считать, что на начало года в цехе располагается  $n_1$  однотипных кранов,

необходимо, чтобы количество эксплуатирующихся кранов и на конец года было  $n_2$ , интенсивность ввода сразу заменяющего крана  $a = 1$ , интенсивность выхода из строя (ремонта)  $\mu = 1$ , время имеет размерность года. Вероятность того, что план по их эксплуатации, а собственно, и производственный план будет выполнен, равна  $P\{X(t_2) > n_2\} = 0,9985$ , что приемлемо со всех точек зрения. При варьировании исходных данных для различных интенсивностей результаты получаются удовлетворительными, но для технологических инженерных целей требуют уточнения.

При больших значениях  $t_2$  закон распределения случайной величины  $X(t_2)$  будет приближаться к закону Пуассона с параметрами

$$m_x(t_2) = D_x(t_2) \approx \frac{a}{\mu^2}(\mu t_2 - 1).$$

Таким образом, получаем, что вероятности нахождения металлургического крана в стационарном режиме в псевдосостояниях распределены по закону Пуассона. Это означает независимость распределения интервалов между событиями в потоке кранов на замену.

Данный модельный инженерный подход позволяет с уверенностью говорить о расширении приложения теории случайных процессов в системе менеджмента качества опасных производственных объектов, к которым относятся металлургические краны. Он позволяет выработать новые технологии в повышении их эффективности, в том числе экономической, позволит вносить изменения в [7, 8] и другую нормативно-техническую документацию. Принятие решений в этом случае будет основано на строгом количественном расчете характеристик эксплуатационных единиц.

### Заключение

Непрерывный процесс производства стали на металлургических предприятиях представляется достаточно сложным, повышение его эффективности напрямую зависит от эксплуатации участвующих в нем опасных производственных объектов. К таким объектам относятся металлургические краны. Исследование применения метода псевдосостояний процессов гибели и размножения к моделированию их эксплуатационных показателей позволяет решать серьезную народнохозяйственную задачу повышения эффективности металлургического производства.

Металлургические краны при эксплуатации могут находиться в различных состояниях, поэтому важным является математическое моделирование эксплуатации рассматриваемых опасных производственных объектов без остановки (не снятия с эксплуатации), замена (ремонт, снятие с эксплуатации), то есть рассматриваются два псевдосостояния:  $U_0$  – кран эксплуатируется,  $U_1$  – кран ремонтируется (не эксплуатируется). Рассчитаны математическое ожидание,

дисперсия одномерного закона распределения случайного процесса  $X(t)$  – числа эксплуатационных единиц и их временных характеристик.

Выявлено, что процесс эксплуатации металлургических кранов находится в стационарном режиме, а распределение случайного процесса подчиняется закону Пуассона.

Имея постоянные интенсивности ввода в эксплуатацию кранов и снятия (вывода) из эксплуатации, определена вероятность выполнения производственного плана, то есть сколько эксплуатировалось кранов за планируемый период (назначен один год). Установлено, что вероятность того, что производственный план в течение года будет выполнен, равна  $P\{X(t_2) > n_2\} = 0,9985$ . Также в течение года необходимо обеспечение ввода в эксплуатацию не менее  $n$  кранов для непрерывности производственного процесса. Такой факт позволяет говорить о правомерности подхода и применения его в технологическом процессе производства стали при некоторых уточнениях и допущениях. Кроме того, обозначена независимость распределения интервалов событий при потоке кранов на замену.

Моделирование эксплуатации металлургических кранов при помощи теории случайных процессов, качественно адаптированное к металлургическому производству, значительно расширяет ее инженерные приложения и может быть эффективно реализовано на этапах жизненного цикла опасных производственных объектов не только металлургической отрасли, но и других [9, 10].

### Список источников

1. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие для студ. вузов / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 432 с.
2. Извеков Ю.А. Стандартизация оценки качества специальных металлургических кранов на основе конструкционного риск-анализа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 23. №2. С. 37-41.
3. Извеков Ю.А. Научно-методическая база оценки качества технических систем металлургического предприятия // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19. №2. С. 98-102. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-2-98-102>.
4. Рахман П.А., Каяшев А.И., Шарипов М.И. Марковская цепь гибели и размножения в моделях надежности технических систем // Вестник УГАТУ. 2015. Т. 19. №1(67). С. 156-170.
5. Воробьев А.В., Анцев А.В. Методика анализа требований потребителя к качеству грузоподъемных машин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 7. С. 253-257.



6. Рахман П.А. Показатели надежности восстанавливаемых систем с заданным порогом аварийного отключения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9-3. С. 467-470. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7350> (дата обращения: 01.10.2023).
7. ГОСТ Р 27.303-2021. Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов. М., 2021. 65 с. <https://internet-law.ru/gosts/gost/75897/>
8. ГОСТ 33169-2014. Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности. М., 2014. 51 с. <https://internet-law.ru/gosts/gost/60250/>
9. Управление качеством в системах и процессах машиностроения / О.В. Аникеева, Н.П. Золотухина, А.Г. Ивахненко и др. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2014. 208 с.
10. Управление качеством проектирования и эксплуатации с использованием риск-ориентированного информационного моделирования / Б.В. Бойцов, В.Л. Балановский, М.Ю. Куприков, А.В. Рипецкий, Н.В. Николаева // Качество и жизнь. 2022. №3 (35). С. 86-89.

#### References

1. Venttsel E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya: ucheb. posobie dlya stud. vuzov* [Theory of random processes and its engineering applications: Textbook for university students]. Moscow: Academy Publishing Center, 2003, 432 p. (In Russ.)
2. Izvekov Yu.A. Standardization of quality assessment of special metallurgical cranes based on a structural risk analysis. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2021;23(2):37-41. (In Russ.)
3. Izvekov Yu.A. Scientific and methodological base for assessing the quality of technical systems of a metallurgical enterprise. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021;19(2):98-102. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-2-98-102>
4. Rakhman P.A., Kayashev A.I., Sharipov M.I. The Markov chain of death and reproduction in models of reliability of technical systems. *Vestnik UGATU* [Vestnik of Ufa State Aviation Technical University]. 2015;19(1(67)):156-170. (In Russ.)
5. Vorobyev A.V., Antsev A.V. Methodology for analyzing consumer requirements for the quality of lifting machines. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Technical Sciences]. 2023;(7):253-257. (In Russ.)
6. Rakhman P.A. Reliability indicators of restored systems with a specified emergency shutdown threshold. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Research]. 2015;(9-3):467-470. (In Russ.) Available at: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7350> (accessed on October 01, 2023).
7. GOST R 27.303-2021. *Nadezhnost v tekhnike. Analiz vidov i posledstviy otkazov* [Reliability in technology. Failure modes and effects analysis]. Moscow, 2021, 65 p. (In Russ.) Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/75897/>
8. GOST 33169-2014. *Krany gruzopodemnye. Metallicheskie konstruksii. Podverzhdenie nesushchey sposobnosti* [Lifting cranes. Steel structures. Demonstration of lifting capacity]. Moscow, 2014, 50 p. (In Russ.) Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/60250/>
9. Anikeeva O.V., Zolotukhina N.P., Ivakhnenko A.G. et al. *Upravlenie kachestvom v sistemakh i protsessakh mashinostroeniya* [Quality management in systems and processes of mechanical engineering]. Kursk: CJSC Universitetskaya Kniga, 2014, 208 p. (In Russ.)
10. Boytsov B.V., Balanovsky V.L., Kuprikov M.Yu., Ripetsky A.V., Nikolaeva N.V. Quality management of design and operation using risk-oriented information modeling. *Kachestvo i zhizn* [Quality and Life]. 2022;(3(35)):86-89. (In Russ.)

Поступила 04.09.2023; принята к публикации 30.10.2023; опубликована 25.12.2023  
Submitted 04/09/2023; revised 30/10/2023; published 25/12/2023

**Извеков Юрий Анатольевич** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информатики, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: [yurij.izvekov@mail.ru](mailto:yurij.izvekov@mail.ru). ORCID 0000-0002-1892-4055

**Рамазанов Камиль Нуруллаевич** – доктор технических наук, профессор, президент Академии наук Республики Башкортостан, Академия наук Республики Башкортостан, Уфа, Россия. Email: [kaftm@ugatu.su](mailto:kaftm@ugatu.su).

**Гончарова Екатерина Анатольевна** – студентка, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: [ea\\_gonch@mail.ru](mailto:ea_gonch@mail.ru).

**Каримова Диана Флюровна** – студентка, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: [karimovad39@gmail.com](mailto:karimovad39@gmail.com).

**Шубин Игорь Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: [shubin64@mail.ru](mailto:shubin64@mail.ru).

**Смирнова Лариса Викторовна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: smirnova20@bk.ru. ORCID 0000-0001-6850-6882

**Yury A. Izvekov** – DrSc (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Information Science, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: yurij.izvekov@mail.ru. ORCID 0000-0002-1892-4055

**Kamil N. Ramazanov** – DrSc (Eng.), Professor, President of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia. Email: kaftm@ugatu.su.

**Ekaterina A. Goncharova** – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: ea\_gonch@mail.ru.

**Diana F. Karimova** – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: karimovad39@gmail.com.

**Igor G. Shubin** – PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Materials Processing Technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: shubin64@mail.ru.

**Larisa V. Smirnova** – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Information Science, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: smirnova20@bk.ru. ORCID 0000-0001-6850-6882