

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

## STANDARDIZATION, CERTIFICATION AND QUALITY MANAGEMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)  
УДК 62-19  
DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-2-98-102



### НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ БАЗА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Извеков Ю.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

**Аннотация.** Металлургические предприятия представляют собой совокупность различных технических систем, которые эксплуатируются в тяжелых и сверхтяжелых режимах. Вместе с этим многие из этих технических систем обладают уникальностью, высокой стоимостью производства и эксплуатации, а также работают за пределами гарантийных сроков. Вывод из строя таких систем, а тем более их аварии могут привести к непоправимым потерям, человеческим жертвам, потери предприятием прибыли. Оценке качества технических систем металлургических предприятий с позиций надежности и безопасности уделяется недостаточное внимание, поэтому представленная статья обладает достаточной степенью актуальности. Исследование в основе своей содержит конструкционный риск-анализ. Новизна выделяется в создании научно-методической базы оценки качества технических систем металлургического предприятия как вероятности их безаварийной и надежной эксплуатации. Предложены математические модели и по ним рассчитаны количественные показатели риска аварии для 15 кранов кислородно-конвертерного цеха металлургического предприятия. Полученные показатели удовлетворительно сходятся с известными фактическими данными, что говорит об адекватности и правильности такого подхода. Такой подход впервые применен для металлургической отрасли, что говорит о перспективности его развития и применения. Обозначенная научно-методическая база является основой для создания цифровых двойников диагностики и мониторинга фактического технического состояния исследуемых технических систем. Изменение свойств элементов системы приводит к изменению вероятностей их отказов, аварий. Используя предложенный подход, будем строить вероятностные модели для технической системы (краны), группы систем (цеха), сложной системы (металлургическое предприятие), связывающие их свойства и вероятность их отказа, ведущего к аварии. Свойства таких систем изменяются с течением времени. Диагностика и мониторинг фиксирует эти изменения. Для прогнозирования изменения технических систем будем использовать функцию плотности вероятностей циклов нагружения, действующих напряжений, деформаций.

**Ключевые слова:** качество, безопасность, критерии риска, конструкционный риск-анализ, количественная оценка риска, вероятность, вероятностное моделирование, техническая система, научно-методическая база, цифровой двойник.

© Извеков Ю.А., 2021

#### Для цитирования

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>



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

# SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASE FOR ASSESSING THE QUALITY OF TECHNICAL SYSTEMS OF A METALLURGICAL ENTERPRISE

Izvekov Yu.A.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract.** Metallurgical enterprises are a combination of various technical systems that operate in severe and super heavy duty modes. At the same time, many of these technical systems are unique, costly to manufacture and operate, and operate outside the warranty period. The failure of such systems, and even more so their accidents, may lead to irreparable losses, human casualties, loss of profits by the enterprise. Insufficient attention is paid to assessing the quality of technical systems of metallurgical enterprises from the standpoint of reliability and safety, therefore, the presented paper has a sufficient degree of relevance. The study basically contains a structural risk analysis. The novelty is highlighted in the creation of a scientific and methodological base for assessing the quality of technical systems of a metallurgical enterprise as the likelihood of their trouble-free and reliable operation. The paper describes the proposed mathematical models and calculated quantitative indicators of an accident risk for 15 cranes of the basic oxygen furnace shop of a metallurgical enterprise. The obtained indicators are in satisfactory agreement with the known actual data, indicating adequacy and correctness of this approach. This approach was first applied for the metallurgical industry, which indicates the prospects for its development and application. The designated scientific and methodological base is the basis for the creation of digital twins for diagnostics and monitoring of the actual technical state of the technical systems under study. Changes in the properties of system elements lead to a change in the probabilities of their failures and accidents. Using the proposed approach, we will build probabilistic models for a technical system (cranes), a group of systems (a shop), a complex system (a metallurgical enterprise), connecting their properties and the probability of their failure leading to an accident. The properties of such systems change over time. Diagnostics and monitoring are applied to record these changes. To predict changes in technical systems, we will use the probability density function of loading cycles, acting stresses, and deformations.

**Keywords:** quality, safety, risk criteria, structural risk analysis, quantitative risk assessment, probability, probabilistic modeling, technical system, scientific and methodological base, digital twin

## For citation

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, vol. 19, no. 2, pp. 98–102. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-2-98-102>

## Введение

В России и за рубежом на протяжении трех последних десятилетий создается и продолжает развиваться научно-методическая база обеспечения безопасности по критериям риска [1–5]. Металлургическая отрасль наряду с атомной, нефтегазовой, оборонной и другими является очень важной и насыщенной потенциально опасными объектами. Она также должна являться объектом пристального внимания с точки зрения промышленной безопасности. Современное состояние промышленной безопасности на металлургических предприятиях не отвечает современным требованиям: применяется устаревшее оборудование (в некоторых случаях больше 80%), его модернизация осуществляется медленными темпами, люди, эксплуатирующие вверенную им технику, не всегда вовремя проходят переподготовку и повышение квалификации [2, 3].

Таким образом, назрела необходимость в изучении и применении новых подходов к обеспечению промышленной безопасности на металлургических предприятиях. Основу металлургического предприятия составляют различные технические системы, которые работают в тяжелых и сверхтяжелых режимах работы [2, 3, 6]. Качество таких систем должно включать в себя их надежную и безопасную работу [2, 3]. Современное развитие технологий металлургической отрасли не содержит единую научно-методическую базу для оценки качества технических систем металлургического предприятия по критериям риска.

## Полученные результаты и их обсуждение

Опасные производственные объекты определены в [7]. В [2, 3] показана и обоснована научно-методическая база оценки качества с позиций надежности и безопасности мостовых металлур-

гических кранов грузоподъемностью 50 и 300 т. Такие краны относятся в опасным производственным объектам.

Будем рассматривать металлургическое предприятие Публичное акционерное общество (ПАО) «Магнитогорский металлургический комбинат (ММК)». Это металлургическое предприятие насчитывает 40 цехов (20 из которых основные, 20 вспомогательные). Распределение кранового хозяйства (см. **рисунок**) показывает, что мостовые краны составляют порядка 70% от общего количества кранов [2,3].

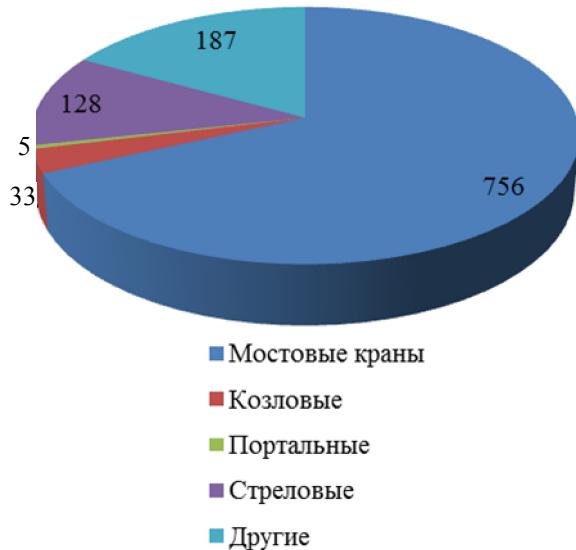


Рис. Крановое хозяйство ПАО «ММК»  
Fig. Crane facilities of PJSC MMK

В [2, 3] для оценки качества таких технических систем, как мостовые металлургические краны, с позиций надежности и безопасности был предложен конструкционный риск-анализ, который позволяет определить вероятность их надежной и безаварийной на этапе эксплуатации и послегарантийной эксплуатации. Автором на основе [1–3], вероятностного моделирования, теории случайных процессов удалось получить количественные оценки риска аварии для исследуемых кранов и условий эксплуатации.

В общем случае риск рассчитывался по формуле

$$R = P_A \cap P_f(a) \cap L \cap U, \quad (1)$$

где  $P_A$  – вероятность аварии;  $P_f(a)$  – вероятность элемента системы;  $L$  – эволюция аварийного состояния;  $U$  – ущерб аварии.

Предложена следующая классификация рисков:

- нормальный риск вероятность аварии – 0,159;
- предельно допустимый риск – 0,521;

- предельный (катастрофический) риск – 0,749.

Качество в этом случае представляется функцией, обратной риску, соответственно, по ее значению можно определить дальнейшую судьбу эксплуатируемого крана.

В кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) ПАО «ММК» эксплуатируются от 10 до 15 мостовых металлургических кранов. В самом первом (модельном) приближении можем определить риск аварии для всего цеха, учитывая (1):

$$R_{\text{KKЦ}} = \prod_{i=1}^n R_i. \quad (2)$$

Тогда для ККЦ получим следующие данные (см. **таблицу**).

Таблица. Значения риска для ККЦ ПАО «ММК» с 15-ю эксплуатирующими кранами  
Table. Risk values for the BOF shop of PJSC MMK with 15 operating cranes

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| Нормальный риск           | 1,05E-12 |
| Предельно допустимый риск | 5,66E-06 |
| Катастрофический риск     | 7,30E-04 |

Полученные данные удовлетворительно сходятся с известными, что говорит о правомерности и адекватности такого подхода [1].

Показан самый предельный случай (2), на деле же риск может быть посчитан суммированием, когда вероятность аварии возможна не на всех, а на некоторых технических системах. В первые 20 лет XXI века число таких кранов, то есть технических систем с указанной степенью израсходованного ресурса на ПАО «ММК» увеличилось на 15% [8–10]. В этом случае величина ущерба от аварий таких систем будет значительно снижать общую прибыль предприятия.

Возникает противоречие между наработанными циклами таких кранов и жесткими требованиями к безопасности и рискам их функционирования во время эксплуатации как показателей качества [8].

Предложенный подход может явиться научно-методической базой для создания новых систем оценки качества диагностики и мониторинга опасных производственных объектов с использованием так называемых цифровых двойников, которые будут оценивать их техническое состояние и принимать решение о продлении ресурса и обеспечения безопасной эксплуатации с продленным ресурсом. Такие системы мониторинга и прогнозирования будут своевременно получать информацию о фактическом техническом состоянии технической системы и принять

тии решения о продлении эксплуатации или вывода из нее.

Полученные соотношения типа (1), (2) могут быть основой таких цифровых двойников. Используя предложенный подход, будем строить вероятностные модели для технической системы (краны), группы систем (цеха), сложной системы (металлургическое предприятие), связывающие их свойства и вероятность их отказа, ведущего к аварии. Свойства таких систем изменяются с течением времени. Диагностика и мониторинг фиксирует эти изменения. Для прогнозирования изменения технических систем будем использовать функцию плотности вероятностей циклов нагружения, действующих напряжений, деформаций в несущих конструкциях.

В общем случае, продолжая говорить о цифровых двойниках, можно записать условие оценки качества технической системы в следующем виде:

$$\vec{O} = \vec{Y}(N, \sigma, \varepsilon); \vec{Z}(N, \sigma, \varepsilon); \vec{W}(N, \sigma, \varepsilon), \quad (3)$$

где  $\vec{O}$  – вектор оценки качества;  $\vec{Y}$  – вектор контролируемых параметров;  $\vec{Z}$  – вектор корректирующих воздействий;  $\vec{W}$  – вектор управляющих воздействий;  $N$  – количество циклов крана;  $\sigma$  – действующие напряжения в несущих конструкциях;  $\varepsilon$  – действующие деформации в несущих конструкциях.

### Заключение

Таким образом, для оценки качества технической системы металлургического предприятия с позиций надежности и безопасности при помощи конструкционного риска-анализа может быть создана научно-методическая база. Она позволит оценивать фактическое техническое состояние не только одной системы, например крана, но и их совокупность, например цех, по результатам мониторинга с использованием цифровых двойников вычислять риск аварии и принимать решение о возможности ее эксплуатации, продлении ресурса, необходимом техническом обслуживании или о выводе из эксплуатации из-за катастрофического риска.

Дальнейшее развитие этой научно-методической базы позволит расширить ее применение сначала на основные цеха металлургического предприятия, а затем, при соответствующем обеспечении и разработке цифровых двойников, собственно на все предприятия.

Таким образом, предложенный подход может быть началом разработки новых требований

стандартизации и оценки качества металлургической отрасли с позиций ее безопасной и надежной эксплуатации.

### Список литературы

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. В 4-х ч. // Ч. 4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности / науч. руковод. К.В. Фролов. М.: МГОФ «Знание», 2007. 864 с.: ил.
2. Извеков Ю.А. Научные основы методологии оценки и повышения качества технических систем металлургического предприятия // Сборник трудов V Международной научно-технической конференции «Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖИВКОМ-2020)» в дистанционном формате. Москва, 27–29 октября 2020 года / Москва. ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова, 2020. С. 118–119.
3. Izvekov Yu.A. Quantitative Evaluation Algorithm for Technical System Reliability // Scientific Works of the 6th International Scientific Conference on Fundamental Research and Innovative Technologies in Mechanical Engineering. November 26–27, 2019. Moscow: IMASH RAS A.A. Blagonravova, 2019.P. 195–196.
4. Hammad D.B., Shafiq N., Nuruddin M.F. Criticality Index of Building Systems Using Multi-Criteria Decision Analysis Technique, MATEC Web of Conferences, EDP Sciences 15:01018 (2014).
5. Kumamoto H., Henley E.J. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists, IEEE Press, New York (1996).
6. Проектирование цехов сталеплавильного производства: учебник / К.Н. Вдовин, В.Ф. Мысик, В.В. Точилкин, Н.А. Чиченев. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 505 с.
7. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г. № 116-ФЗ.
8. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2015. 53 с.
9. Кузьмин Д.А., Кузьмичевский А.Ю. Метод расчета вероятности хрупкого разрушения оборудования АЭС в различных режимах эксплуатации с постулируемой дефектностью // Надежность и безопасность энергетики. 2021. Т. 14. №. 1. С. 34–39.
10. Скворцова Н.К., Филимонова Л.А., Андронова К.А. Риск-ориентированный подход для обеспечения промышленной безопасности на предприятиях топливно-энергетического комплекса // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2021. №. 1. С. 65–74.

### References

1. Frolov K.V. Bezopasnost Rossii. Pravovye, sotsialno-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Analiz risika i problem bezopasnosti. V 4-kh ch. Ch.4. Nauch-

- no-metodicheskaya baza analiza riska i bezopasnosti* [Safety of Russia. Legal, social, economic, scientific and technical aspects. Risk and safety Analysis. In 4 parts. Part 4: Scientific and methodological base for analyzing risks and safety]. Moscow: Znanie, 2007, 864 p. (In Russ.).
- 2. Izvekov Yu.A. Scientific foundations of the methodology for assessing and improving the quality of technical systems of a metallurgical enterprise. *Sbornik trudov V Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii Zhivuchest i konstruktionskoe materialovedenie (ZhIVKOM-2020) v distantsionnom formate* [Proceedings of the 5th Online International Scientific and Technical Conference *Survivability and Structural Materials Science (ZhIVKOM-2020)*]. Moscow: Blagonravov Institute of Machine Science, RAS, 2020, pp. 118–119. (In Russ.)
  - 3. Izvekov Yu.A. Quantitative evaluation algorithm for technical system reliability. Proceedings of the 6th International Scientific Conference on Fundamental Research and Innovative Technologies in Mechanical Engineering. Moscow: Blagonravov Institute of Machine Science, RAS, 2019, pp. 195–196.
  - 4. Hammad D.B., Shafiq N., Nuruddin M.F. Criticality index of building systems using multi-criteria decision analysis technique. MATEC Web of Conferences, EDP Sciences 15:01018 (2014).
  - 5. Kumamoto H., Henley E.J. Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists. IEEE Press, New York (1996).
  - 6. Vdovin K.N., Mysik V.F., Tochilkin V.V., Chichenev N.A. *Proektirovanie tsekhov staleplavilnogo proizvodstva: uchebnik* [Design of steelmaking shops. Textbook]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2016, 505 p. (In Russ.)
  - 7. Federal Law "On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities" dated July 21, 1997, no. 116-FZ.
  - 8. GOST R ISO 9000-2015. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary (with an Amendment). Moscow: Standartinform, 2015, 53 p. (In Russ.)
  - 9. Kuzmin D.A., Kuzmichevsky A.Yu. Method of calculating the probability of brittle fracture of NPP equipment in various operating modes with postulated defectiveness. *Nadezhnost i bezopasnost energetiki* [Reliability and Safety of Power Engineering], 2021, vol. 14, no. 1, pp. 34–39. (In Russ.)
  - 10. Skvortsova N.K., Filimonova L.A., Andronova K.A. A risk-oriented approach to ensure industrial safety at enterprises of the fuel and energy complex. *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo* [Modern Science: Topical Problems of Theory and Practice. Series: Economics and Law], 2021, no. 1, pp. 65–74. (In Russ.)

Поступила 17.05.2021; принята к публикации 03.06.2021; опубликована 28.06.2021  
Submitted 17/05/2021; revised 03/06/2021; published 28/06/2021

**Извеков Юрий Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.  
Email: yurij.izvekov@mail.ru. ORCID 0000-0002-1892-4055

**Yury A. Izvekov** – PhD (Eng.), Associate Professor,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.  
Email: yurij.izvekov@mail.ru. ORCID 0000-0002-1892-4055