

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

PRODUCT QUALITY MANAGEMENT. STANDARDIZATION. INDUSTRIAL MANAGEMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 549:54.055
DOI: 10.18503/1995-2732-2026-24-3-108-122



КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Тулупов О.Н.¹, Черяпкин А.Ф.², Наркевич М.Ю.¹, Логунова О.С.¹, Наркевич А.М.¹, Логунова П.С.¹

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

²ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Магнитогорск, Россия

Аннотация. Актуальность работы. Определяется современными требованиями к цифровизации инфраструктуры управления качеством элементов опасных производственных объектов для сокращения аварий и инцидентов. **Цель работы.** Цель исследования состоит в обосновании и разработке новой концепции цифровизации оценки качества элементов опасных производственных объектов. **Используемые методы.** При исследовании использованы методы системного анализа, в частности декомпозиции и обобщения при построении диаграмм по технологии стандарта IDEF0 и анализа нормативной базы управления промышленной безопасностью. **Новизна.** Построена новая концепция цифровизации в области промышленной безопасности при оценке качества управления и элементов опасных производственных объектов, отличающаяся использованием четырех основных положений: непротиворечивость, адаптивность, мультиплатформенность и обоснованность. Основу построения концепции составили новый менталитет структуры управления, вызов со стороны требований промышленной безопасности, устойчивая и гибкая система нормативной базы, устойчивая традиционная структура управления промышленной безопасностью и высокий уровень развития новых цифровых технологий. **Результаты.** Результаты исследования использованы при создании уникальной системы автоматизированного мониторинга технического состояния элементов металлургического предприятия в рамках выполнения научно-исследовательской работы. **Практическая значимость.** Разработанная система прошла опробование на платформе разработчика, при котором подтверждена работоспособность разработанной концепции. Концепция цифровизации при оценке качества элементов опасных производственных объектов направлена на создание цифровых систем нового поколения с элементами искусственного интеллекта для оценки качества элементов опасных производственных объектов.

Ключевые слова: опасные производственные объекты, цифровизация в оценке качества, новая концепция, непротиворечивость, адаптивность, мультиплатформенность и обоснованность

Работа выполнена при финансовой поддержке НИОКР по договору между ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» по теме «Разработка и применение методик контроля территории, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС)».

© Тулупов О.Н., Черяпкин А.Ф., Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Наркевич А.М., Логунова П.С., 2026

Для цитирования

Концепция цифровизации при оценке качества элементов опасных производственных объектов / Тулупов О.Н., Черяпкин А.Ф., Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Наркевич А.М., Логунова П.С. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2026. Т. 24. №3. С. 108-122. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-3-108-122>



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

CONCEPT OF DIGITALIZATION IN QUALITY ASSESSMENT OF ELEMENTS OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

Tulupov O.N.¹, Cheryapkin A.F.¹, Narkevich M.Yu.¹, Logunova O.S.¹, Narkevich A.M.¹, Logunova P.S.¹

¹Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

²PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works (MMK), Magnitogorsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The relevance of the study is determined by modern requirements for the digitalization of infrastructure for quality management of elements of hazardous production facilities in order to reduce accidents and incidents. **Objectives.** The aim of the study is to substantiate and develop a new concept of digitalization for assessing the quality of elements of hazardous production facilities. **Methods Applied.** The study employed system analysis methods, in particular decomposition and generalization in the construction of diagrams based on the IDEF0 standard technology, as well as an analysis of the regulatory framework for industrial safety management. A new concept of digitalization in the field of industrial safety for assessing the quality of management and elements of hazardous production facilities has been developed. The concept is distinguished by the use of four basic principles: consistency, adaptability, multiplatform capability, and validity. The concept is based on a new management-structure mentality, challenges posed by industrial safety requirements, a stable and flexible regulatory framework, a sustainable traditional industrial safety management structure, and a high level of development of new digital technologies. **Results.** The results of the study have been used to develop a unique automated system for monitoring the technical condition of elements of a metallurgical enterprise as part of a research project. The developed system has been tested on the developer's platform, confirming the operability of the proposed concept. The concept of digitalization for assessing the quality of elements of hazardous production facilities is aimed at creating next-generation digital systems incorporating artificial intelligence technologies for quality assessment of elements of hazardous production facilities.

Keywords: hazardous production facilities, digitalization in quality assessment, new concept, consistency, adaptability, multiplatform capability, validity

The study was financially supported by R&D carried out under an agreement between Nosov Magnitogorsk State Technical University and PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works on the topic "Development and Application of Methods for Monitoring the Territory, Buildings, and Structures of PJSC MMK Using Unmanned Aerial Vehicles.

For citation

Tulupov O.N., Cheryapkin A.F., Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Narkevich A.M., Logunova P.S. Concept of Digitalization in Quality Assessment of Elements of Hazardous Production Facilities. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2026, vol. 24, no. 3, pp. 108-122. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-3-108-122>

Введение

Успешное функционирование крупных промышленных предприятий, включая металлургическую отрасль, определяется множеством факторов и разнообразием инфраструктур. Одной из таких инфраструктур является система управления промышленной безопасностью, в функции которой входит мониторинг технического состояния элементов производственной инфраструктуры предприятия в составе опасных производственных объектов. На государственном уровне определены требования безаварийного производства как стратегически важного направления для отечественной экономики, а также повышения инвестиционной привлекательности российских компаний на мировом рынке.

На фоне увеличения количества опасных производственных объектов (рис. 1) и растущей интенсивности их эксплуатации увеличивается вероятность возникновения аварий и инцидентов.

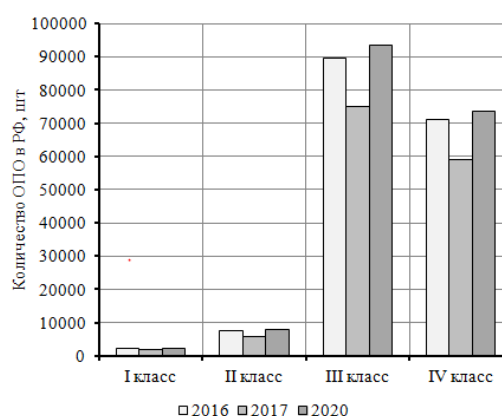


Рис. 1. Количество единиц опасных производственных объектов, зарегистрированных на территории РФ

Fig. 1. Number of hazardous production facility units registered in the Russian Federation

Согласно заявлению Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), в России установился тренд на ежегодное снижение общего числа аварий на опасных производственных объектах и, как следствие, общего количества погибших и травмированных людей. В 2019 году количество аварий на опасных производственных объектах составило 150, что на 14,3% меньше, чем в 2018 году, а несчастных случаев со смертельным исходом произошло 165, что, в свою очередь, на 7% меньше, чем в 2018 году.

Следует отметить, что общее снижение количества аварий на опасных производственных объектах в целом не характеризует аварийность в отдельных отраслях промышленности. Например, зафиксирован рост числа аварий на объектах нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, составивший примерно 37% за 2019 год. Причем на объектах нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности опасных производственных объектов высокого (II) и чрезвычайного высокого (I) классов опасности значительно больше, чем в других отраслях промышленности. По данным, представленным Ростехнадзором, в последние годы отмечается всплеск аварийности на объектах металлургических и коксохимических производств (рис. 2). На рис. 2 введены обозначения: КА – количество аварий; СМ – количество смертельно травмированных людей; КГНС – количество групповых несчастных случаев.

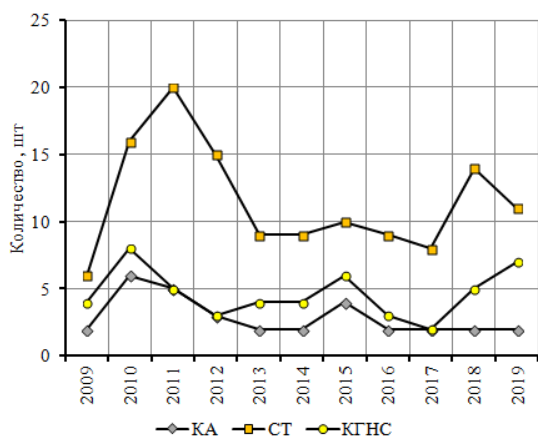


Рис. 2. Динамика аварийности и травматизма на объектах металлургического производства
Fig. 2. Dynamics of accidents and occupational injuries at metallurgical production facilities

Согласно данным, опубликованным в RISKNEWS, экономический ущерб от аварий на объектах нефтегазового комплекса за 11 месяцев 2020 года вырос на 76% и составил 5 млрд 356 млн руб. (без учета экологического ущерба). Таким образом, при общем снижении числа аварий на опасных производственных объектах состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества продолжает оставаться под угрозой, в том числе из-за высокого уровня аварийности объектов I и II классов опасности.

Статистические данные показывают, что среди всех видов аварий на опасных производственных объектах, аварии, вызванные разрушением зданий и сооружений, являются одними из самых редких. Однако такие аварии «лидируют» по величине ущерба, так как в случае обрушения строительных конструкций производственных объектов избежать повреждений технологического оборудования практически невозможно. Это приводит к негативным последствиям в виде выбросов опасных веществ, взрывов топливно-воздушных смесей, пожаров, экологических загрязнений. В условиях обрушения зданий и сооружений работы по оперативной ликвидации последствий аварий значительно затрудняются. Поэтому величина риска разрушения зданий и сооружений на опасных производственных объектах является одним из ключевых критериев обеспечения промышленной безопасности.

Переход зданий и сооружений на опасных производственных объектах в аварийное состояние на стадии эксплуатации происходит вследствие накопления эксплуатационных дефектов и повреждений, перегрузки конструкций в результате нарушения технологического процесса и производственных инструкций, образования значительных снеговых и пылевых отложений на элементах конструкций и воздействия опасных природных и техногенных факторов.

Высокие показатели по количеству аварий и инцидентов явились вызовом к созданию системы обеспечения промышленной безопасности и, в частности, к понятию качества управления опасными производственными объектами. Такая система базируется на комплексе нормативной базы для экспертной оценки качества опасных производственных объектов.

Материалы и методы исследования

Характеристика и тенденции трансформации нормативной базы экспертной оценки качества опасных производственных объектов

В рамках традиционного подхода к оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах (например, ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», РД 08-95-95 «Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов» и др.) вопросы безопасности зданий, сооружений, технических устройств и их частей продолжают оставаться актуальными и требующими разработки и использования принципиально нового подхода, основанного на последних достижениях науки и техники.

Следует отметить, что, в соответствии с действующим законодательством, оценка качества проводится на всех этапах жизненного цикла зданий, сооружений и технических устройств (инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, демонтаж). Качество и,

как следствие, безопасность использования зданий, сооружений, технических устройств и их частей напрямую зависит от ряда факторов: периодичности контроля, квалификации специалистов, точности применяемых средств контроля, а также условий, при которых осуществляется контроль.

Согласно ФЗ № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, обязана подтвердить соответствие зданий, сооружений и технических устройств обязательным требованиям промышленной безопасности путем проведения экспертизы. Кроме того, несоблюдение требований промышленной безопасности приводит к возникновению аварий и инцидентов на опасных производственных объектах, что влечет за собой остановку производственного процесса, значительные экономические убытки, причинение вреда окружающей среде, а иногда и человеческие жертвы. При этом подтверждение соответствия объекта экспертизы обязательным требованиям оценивается на момент проведения экспертизы промышленной безопасности.

В настоящее время имеет место традиционная модель дискретной оценки качества зданий и сооружений исходя из экспертного анализа степени соответствия установленным требованиям промышленной безопасности. Устанавливается один из следующих выводов:

- объект экспертизы *соответствует* требованиям промышленной безопасности и может быть применен при эксплуатации опасного производственного объекта;
- объект экспертизы *не соответствует* требованиям промышленной безопасности и не может быть применен при эксплуатации опасного производственного объекта.

Следует подчеркнуть, что данная оценка соответствия отражает реальное состояние опасного производственного объекта лишь на дату утверждения заключения промышленной безопасности, при этом действует на несколько лет вперед, до следующей экспертизы.

С вступлением в силу Федерального закона «О техническом регулировании» № 184-ФЗ произошло совершенствование правовых основ путем установления обязательных требований к продукции и процессам на всех стадиях жизненного цикла (проектирование, производство, эксплуатация и утилизация), а также реформирование в сферах стандартизации, подтверждения соответствия, государственного контроля и надзора с учетом требований Всемирной торговой организации (ВТО). При этом образована единая, взаимоувязанная система технического нормирования безопасности и качества продукции и услуг, подтверждения соответствия, государственного контроля и надзора. Требования к продукции разделены на обязательные, установленные техническими регламентами (ТР), и добровольные, содержащиеся в стандартах.

В отношении зданий и сооружений действует ФЗ от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». В отношении опасных производственных объектов действует ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и федеральные нормы и правила (ФНП) в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» от 20.10.2020 № 420. Согласно данным ФНП, устанавливаются требования к проведению экспертизы зданий и сооружений на опасном производственном объекте, а также мероприятия по обследованию зданий и сооружений (включая материалы и конструкции).

Действующая редакция ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» предусматривает создание на предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты I или II класса опасности, систему управления промышленной безопасностью и обеспечивать ее функционирование (ст. 11, п. 3).

Определения технического термина «система управления промышленной безопасностью» несколько различны и представлены в основных действующих нормативных документах (табл. 1).

Таблица 1. Технические определения термина «система управления промышленной безопасностью» согласно нормативным документам

Table 1. Technical definitions of the term “industrial safety management system” according to regulatory documents

Определение	Источник
Комплекс взаимосвязанных организационных и технических мероприятий, осуществляемых организацией, эксплуатирующей опасные производственные объекты, в целях предупреждения аварий и инцидентов на опасных производственных объектах, локализации и ликвидации последствий таких аварий	1. Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» в ред. от 08.12.2020 г. 2. ГОСТ Р 57717-2024 «Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения» от 01.01.2025 г.
Механизм, обеспечивающий непрерывный и целенаправленный процесс воздействия на промышленную безопасность и включающий комплекс мер правового, организационного, технического, экономического, информационного, образовательного и социального характера, направленных на предупреждение, предотвращение и ликвидацию аварий на опасных производственных объектах	1. РД 04-354-00 «Положение о надзорной и контрольной деятельности в системе Госгортехнадзора России» от 26.04.2000 г. 2. СТО 70238424.27.010.001-2008 «Электроэнергетика. Термины и определения» от 30.06.2008 г.
Комплекс согласованных организационно-технических мероприятий и действий органов управления по соблюдению требований и норм промышленной безопасности	РД № 153-34.0-03.124-2001 «Положение о системе управления промышленной безопасностью в РАО "ЕЭС России"» от 12.05.2001 г.

Переход к цифровым технологиям при эксплуатации опасных производственных объектов, в том числе в части эксплуатации зданий, сооружений и технических устройств, должен соответствовать законодательным требованиям. Однако правовое регулирование обычно отстает от фактически складывающихся отношений, связанных с использованием цифровых технологий. Таким образом, актуальной задачей современного правового регулирования является разработка норм, позволяющих выполнить цифровизацию и информатизацию процессов в области промышленной безопасности.

С 2019 года Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ (Ростехнадзор) планировалось отменить Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 года и заменить его на обновленный масштабный с множеством нововведений, основанных на применении технологий машинного зрения и интеллектуальной экспертизы (использование современных цифровых инструментов). Однако даже в существующей редакции законопроект вызывает дискуссии, в связи с чем 19.12.2022 года в соответствии с Протоколом № 74 Совета Государственной Думы РФ было принято решение согласиться с предложениями комитетов о переносе рассмотрения указанного законопроекта на более поздний срок.

В соответствии со стратегией развития информационного общества и искусственного интеллекта в Российской Федерации, которые представлены в Указах Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» и от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации», появляется и развивается возможность применения искусственного интеллекта и в сфере промышленной безопасности.

С учетом активного развития процессов перехода к цифровым технологиям, их проникновения в том числе и в производственные отношения, действующая редакция федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» постоянно дорабатывается. Внесены изменения в части оценки фактического состояния технических устройств, зданий и сооружений (п. 23): «При оценке фактического состояния технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах допускается использование информации автоматизированных систем мониторинга их технического состояния».

В табл. 2 приведены основные этапы перспективных изменений федерального законодательства в области промышленной безопасности, которые являются предпосылками для проведения цифровизации и информатизации в области оценки соответствия опасных производственных объектов.

На основании многолетнего практического опыта проведения экспертиз зданий, сооружений, технических устройств и их частей установлено, что подавляющее

большинство дефектов, влияющих на их безопасность, выявляется органолептическим методом на стадии визуально-измерительного контроля. При этом современные инструменты контроля за безопасностью зданий и сооружений, основанные на технологиях машинного зрения и интеллектуальной экспертизы (использование современных цифровых инструментов), не используются. Важно учитывать, что помимо фактической цифровой трансформации необходимо совершенствовать правовое регулирование.

Как отмечено в стратегии цифровой трансформации и информатизации обрабатывающих отраслей промышленности в целях достижения их «цифровой зрелости» до 2024 года и на период до 2030 года, пробелы в законодательной и нормативной правовой базе ограничивают действия федеральных и региональных органов исполнительной власти, а также способность хозяйствующих субъектов эффективно реагировать на меняющуюся рыночную ситуацию с учетом перспектив развития цифровых технологий. Требуется совершенствование нормативных правовых документов в области технического регулирования, налогового и бюджетного законодательства. Сложность административной процедуры разработки и утверждения нормативно-правовых, технических и технологических документов препятствует внедрению новых технологий. Следовательно, работу по правовому регулированию обеспечения промышленной безопасности при помощи современных инструментов контроля за безопасностью зданий и сооружений, основанных на технологиях машинного зрения и интеллектуальной экспертизы, необходимо проводить параллельно с разработкой указанных инструментов.

Традиционная система управления промышленной безопасностью на опасных производственных объектах и ее недостатки

Для определения концепции цифровизации и информатизации в области при оценке качества опасных производственных объектов необходимо понимание традиционной системы управления промышленной безопасностью на опасных производственных объектах и ее недостатков.

В настоящее время применяется метод дискретной оценки качества для зданий, сооружений, технических устройств и их частей на соответствие требованиям промышленной безопасности.

В период между проведением экспертиз детальная экспертная оценка соответствия технического состояния зданий, сооружений, технических устройств и их частей не проводится. В указанный период сохраняется вероятность появления и развития критических дефектов, влияющих на переход зданий, сооружений, технических устройств и их частей в аварийное состояние. При этом опасные факторы аварий, такие как взрыв, пожар и др., связанные исключительно с технологическим оборудованием, могут ускорить процесс перехода конструкции в аварийное состояние, а в отдельных случаях привести и к хрупкому (внезапному) разрушению конструкции.

Таблица 2. Этапы перспективных изменений федерального законодательства в области промышленной безопасности, являющихся предпосылками к цифровизации в области оценки соответствия опасных производственных объектов

Table 2. Stages of prospective changes in federal legislation in the field of industrial safety serving as prerequisites for digitalization in the assessment of conformity of hazardous production facilities

Этап	Название документа	Дата введения	Концептуальное изменение, требующее цифровизации и информатизации при оценке соответствия опасных производственных объектов
I	Федеральный закон № ФЗ-116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»	21.07.1997	–
II	Приказ Ростехнадзора № 420 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности»	20.10.2020	–
III	Постановление Правительства Российской Федерации № 2415 «Положение о проведении эксперимента по внедрению системы дистанционного контроля промышленной безопасности»	31.12.2020	Устанавливает порядок проведения эксперимента по дистанционному контролю выполнения требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах (с 1 февраля 2021 года по 31 декабря 2025 года) путем автоматизированного контроля рисков, перехода к проактивной модели надзора и цифровизации взаимодействия с Ростехнадзором
IV	Приказ Ростехнадзора № 120 «О внесении изменений в федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности»	13.04.2022	При оценке фактического состояния технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах допускается использование информации автоматизированных систем мониторинга их технического состояния. Введение бинарной оценки соответствия элементов опасных производственных объектов
V	Федеральный закон № 637-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" и отдельные законодательные акты Российской Федерации»	25.12.2023	Организации, эксплуатирующие опасные производственные объекты I класса опасности, обязаны обеспечивать проведение аудита систем управления промышленной безопасностью. Сведения о результатах такого аудита ежегодно до 1 апреля соответствующего календарного года представляются коллегиальным органам управления данных эксплуатирующих организаций и их учредителям
VI	Приказ Ростехнадзора № 29 «О внесении изменений в федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности»	29.01.2025	При оценке фактического состояния технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах допускается использование информации автоматизированных систем мониторинга их технического состояния, применяемых юридическим лицом (индивидуальным предпринимателем), эксплуатирующим опасный производственный объект
VII	«Об интеллектуализации оценки соответствия элементов опасных производственных объектов»	Ближайшие пять лет	Введение технологий искусственного интеллекта в автоматизированные системы оценки соответствия элементов опасных производственных объектов

Структура системы управления промышленной безопасностью на металлургическом предприятии и ее основные задачи представлены на **рис. 3**. На **рис. 3** введены обозначения: ПБ – промышленная безопасность; ОПО – опасный производственный объект.

Традиционная технология проведения экспертной оценки качества продукции (блок 2 на **рис. 4**) в настоящее время базируется на обоснованной системе нормативной документации, включая экспертную оценку элементов опасных производственных объектов: технических устройств, зданий и сооружений.

На **рис. 4** приведена диаграмма декомпозиции уровня А0, в которой определены входные информационные потоки, возможные результаты, управляющие воздействия и исполнительные механизмы с точки зрения руководителя организации заказчика экспертизы, обеспечивающего информационное сопровождение экспертизы элементов опасных производ-

ственных объектов по традиционной технологии, используемой в настоящее время.

Обозначения, использованные на **рис. 4**, представлены в **табл. 3**.

Изучение традиционной системы экспертной оценки привело к декомпозиции, в которой вводится от трех до шести элементов (**рис. 5-9**).

На **рис. 5** введены обозначения: *I* – перечень объектов на экспертизу; *I2* – техническое задание на проведение экспертизы; *I3* – информация о текущем состоянии объектов экспертизы; *I4* – результаты экспертизы.

В **табл. 4** представлен перечень обозначений, приведенных на **рис. 6**.

В **табл. 5** представлен перечень обозначений, приведенных на **рис. 7**.

На этапе выполнения работ непосредственно на объекте при проведении экспертизы рассматриваются

три инструментальных этапа, в ходе которых формируется основная информация о состоянии элементов опасных производственных объектов.

На рис. 8, 9 введены обозначения: I1.2.2.1-2 – сведения о фактическом состоянии объекта экспертизы, включая количественные значения контролируемых параметров; I1.2.2.2-3 – сведения о соответствии (несоответствии) фактических значений контролируемых параметров объекта экспертизы установленным требованиям.

Анализ функциональной модели, отображающей информационные потоки при проведении экспертизы элементов опасных производственных объектов, показал, что основным инструментальным средством является человек-эксперт. В обязанности эксперта входит визуальное и инструментальное обследование. Применение новых информационных технологий и прикладных цифровых платформ (ПЦП) традиционной технологией проведения экспертизы не предусмотрено.

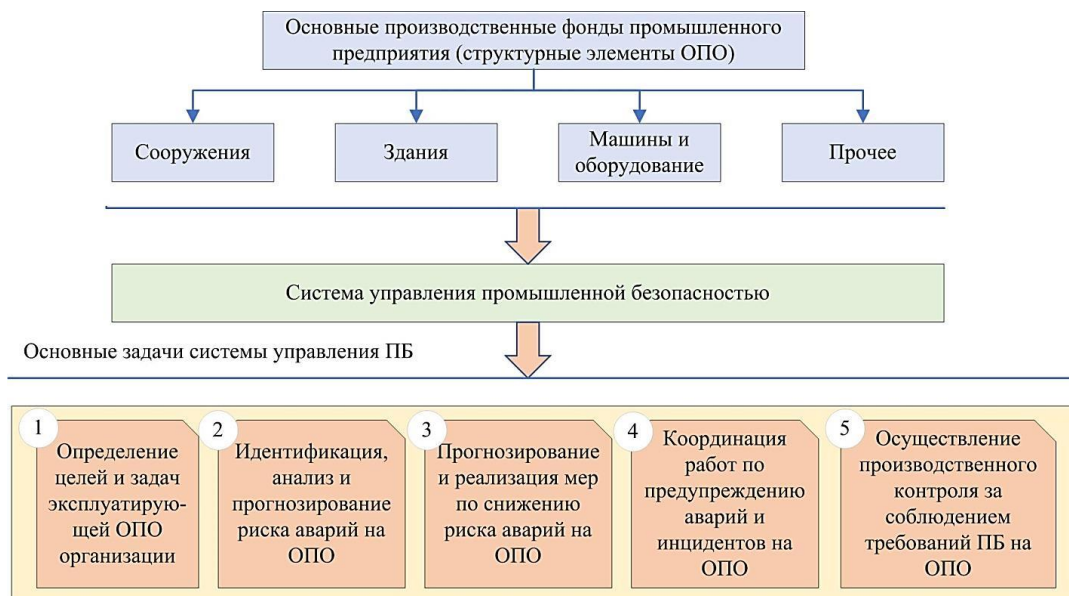


Рис. 3. Структура системы управления и основные задачи системы управления промышленной безопасностью на опасном производственном объекте

Fig. 3. Structure of the management system and main tasks of the industrial safety management system at a hazardous production facility

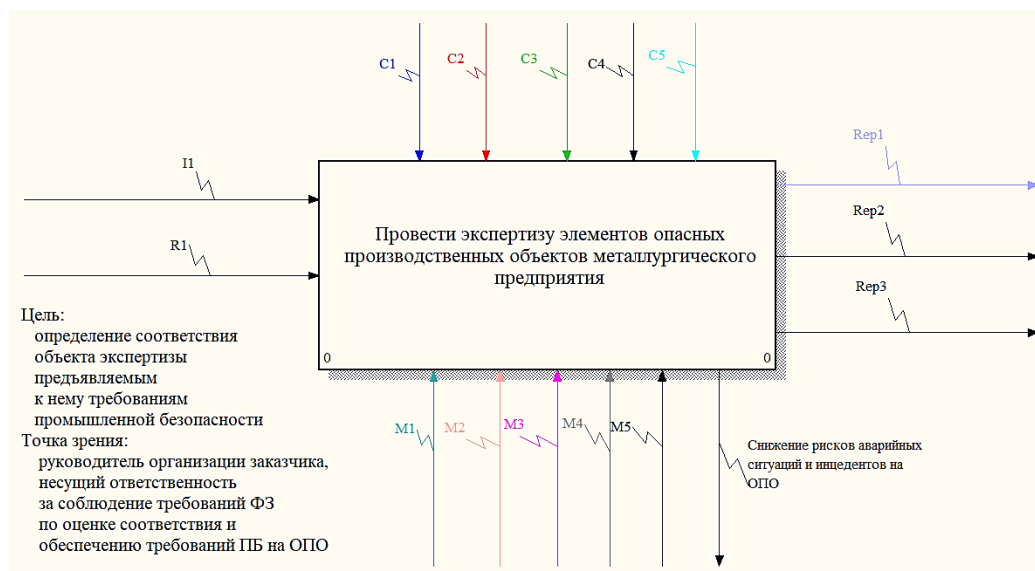


Рис. 4. Диаграмма декомпозиции A0 традиционной технологии процесса экспертизы элементов опасных производственных объектов

Fig. 4. A0 decomposition diagram of the traditional process technology for the examination of elements of hazardous production facilities

Таблица 3. Перечень обозначений, приведенных на рис. 4

Table 3. List of designations shown in Fig. 4

Обозначение	Значение
Перечень управляющей информации	
C1	Требования Федерального законодательства
C2	Требования Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)
C3	Иные требования
C4	Особые требования заказчика
C5	Требования внутренних регламентов исполнителя
Перечень входной информации	
I1	Перечень объектов экспертной оценки и их характеристика
R1	Финансовые ресурсы для проведения экспертизы качества объекта
Перечень выходной информации	
Rep1	Объективная информация о соответствии (не в полной мере соответствии, не соответствии) требованиям промышленной безопасности
Rep2	Перечень дефектов и повреждений объекта экспертной оценки
Rep3	Перечень комплексных мероприятий для приведения объекта в состояние, соответствующее требованиям промышленной безопасности
Перечень исполнителей экспертизы	
M1	Представители организации-заказчика экспертизы
M2	Руководитель экспертной организации-исполнителя
M3	Ответственный за бюджет от экспертной организации-исполнителя
M4	Эксперты в области промышленной безопасности
M5	Специалисты по областям: разрушающий и неразрушающий контроль, расчеты конструкций зданий, сооружений, технических устройств, геодезия и др.

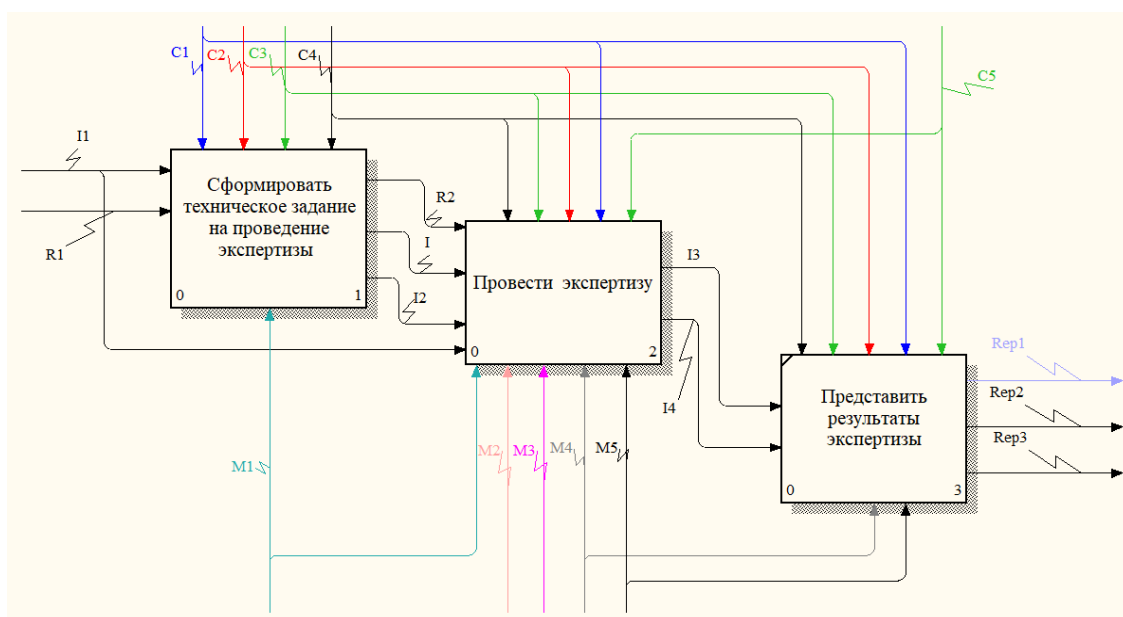


Рис. 5. Уровень декомпозиции A1 при проведении экспертизы элементов опасных производственных объектов
Fig. 5. A1 decomposition level in the examination of elements of hazardous production facilities

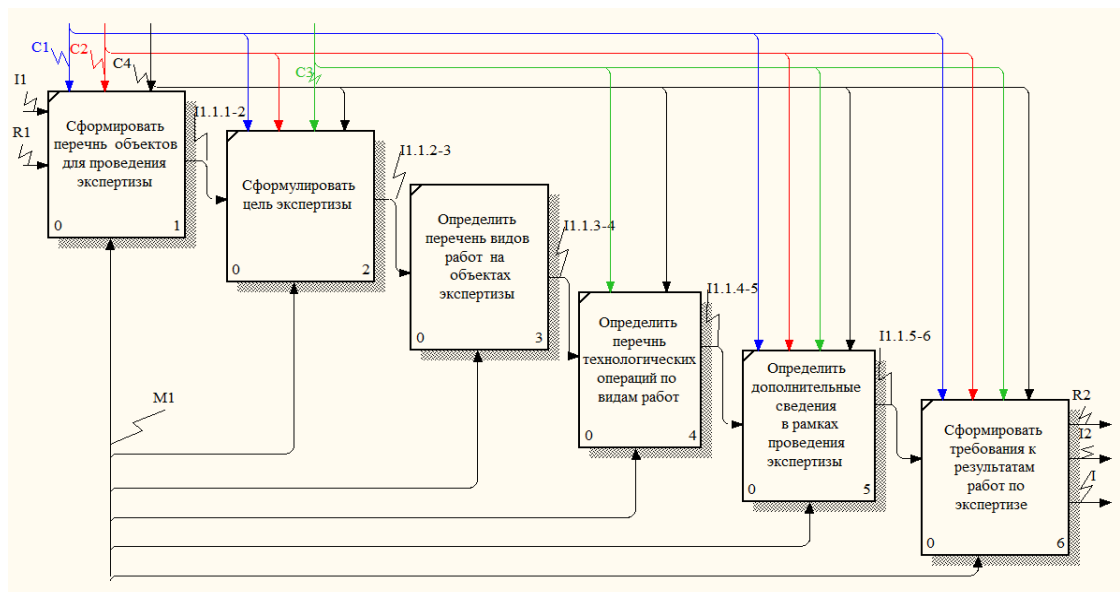


Таблица 5. Перечень обозначений, приведенных на рис. 7

Table 5. List of designations shown in Fig. 7

Обозначение	Значение
I1.2.1-2	Информация об объекте экспертизы, перечень средств для проведения экспертизы, кадровый состав исполнителей
I1.2.2-3	Сведения о категории технического состояния объекта экспертизы
R2.1-2	Информация о планируемых затратах на проведение экспертизы
R2.1-3	Информация о фактических расходах на проведение экспертизы

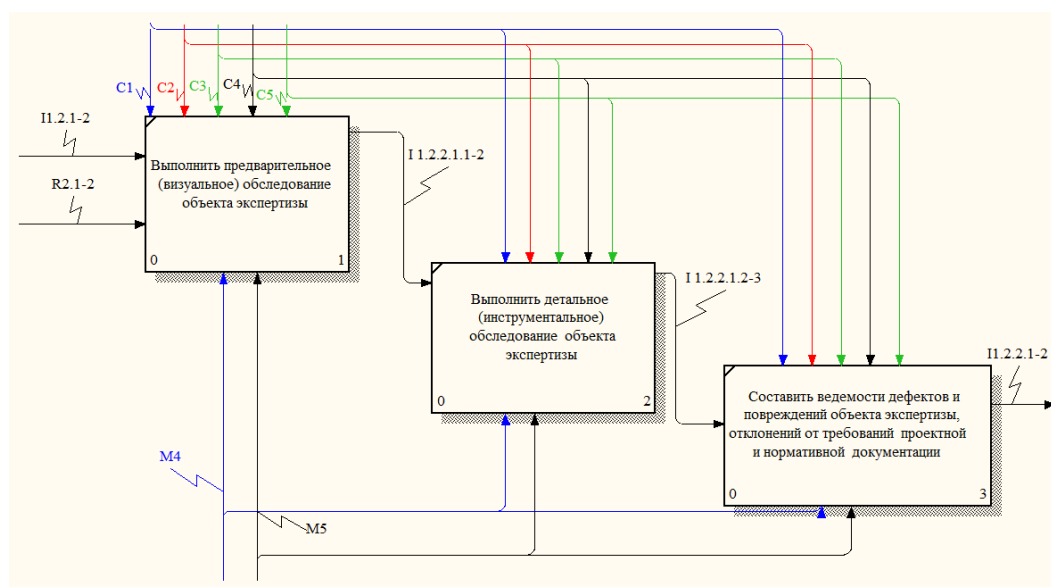


Рис. 8. Уровень декомпозиции A22.1 при проведении экспертизы элементов опасных производственных объектов на этапе представления результатов

Fig. 8. A22.1 decomposition level in the examination of elements of hazardous production facilities at the stage of presenting the results

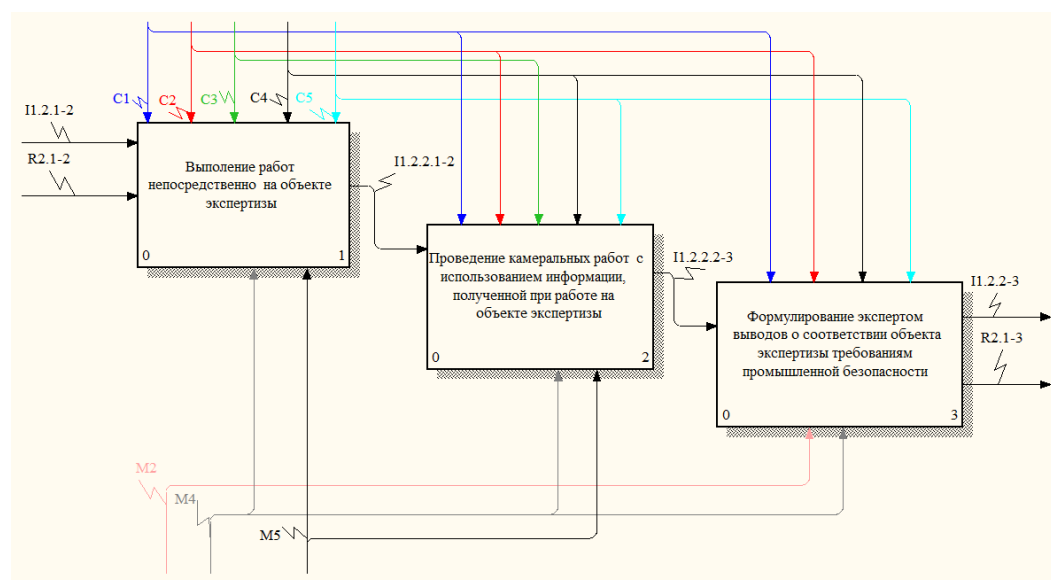


Рис. 9. Уровень декомпозиции A22.2 при проведении экспертизы элементов опасных производственных объектов на этапе представления результатов

Fig. 9. A22.2 decomposition level in the examination of elements of hazardous production facilities at the stage of presenting the results

В настоящее время крупные промышленные компании и предприятия России финансово и интеллектуально инвестируют средства в создание принципиально новых технологий, позволяющих предотвратить потенциальный риск возникновения аварий и инцидентов на опасных производственных объектах, минимизировать возможные последствия различных аварийных ситуаций.

Концепция преобразования системы управления качеством опасных производственных объектов

Под цифровизацией в настоящей статье понимается получение без участия человека изображений опасного производственного объекта или его части в цифровом виде, их обработка, преобразование, определение качественных и (или) количественных характеристик параметров безопасности, верификация, хранение, информационное моделирование, прогнозирование параметров безопасности, принятие решений, формирование отчета и визуализация данных, передача данных в систему управления промышленной безопасностью опасного производственного объекта и в Ростехнадзор. Следует отметить отличие информатизации от цифровизации как удовлетворение информационных потребностей общества и отдельных личностей для целей управления и прогнозирования.

Внедрение автоматизированных цифровых систем непрерывного мониторинга в процессы оценки качества зданий, сооружений, технических устройств и их частей на различных этапах их жизненного цикла обусловлено необходимостью проведения оценки их безопасности в режиме реального времени как потребность и неизбежность в управлении предприятиями. Это позволяет снизить риск разрушения зданий, сооружений, технических устройств и их частей на опасных производственных объектах, повысить их эксплуатационную надежность и долговечность, а также спрогнозировать переход зданий, сооружений, технических устройств и их частей в аварийное состояние. Таким образом, предмет предлагаемого исследования находится в фокусе сразу нескольких областей научного знания.

Полученные результаты и их обсуждение

Проведенный анализ позволяет утверждать, что в настоящее время сложилось пять фундаментальных элементов для определения концепции цифровизации и информатизации в области управления качеством элементов опасных производственных объектов как их инфраструктуры:

1) трансформированный *менталитет* структуры управления промышленным предприятием, направленный на внедрение, развитие и трансформацию инфраструктуры на цифровизацию и информатизацию во всех подразделениях;

2) неустрашимый *вызов* со стороны требований промышленной безопасности, подтвержденных статистическими исследованиями, о необходимости сниже-

ния рисков аварий и инцидентов, который невозможно снизить без наличия полной и достоверной информации о причинах их возникновения и планирования мероприятия об их предотвращении [1-5];

3) *наличие* устойчивой, но в то же время гибкой и чувствительной к изменениям социальной и промышленной среды, *нормативной базы* к требованиям промышленной безопасности;

4) *наличие устойчивой инфраструктуры* управления промышленной безопасностью и качеством элементов опасных производственных объектов, построенной на основе нормативной базы и функционирующей с использованием многолетнего экспертного человеческого субъективного опыта [6, 7];

5) *высокий уровень развития* технологий и средств цифровизации и информатизации, имеющих научное обоснование для их применения в социальной и промышленной сферах, включая область промышленной безопасности [9-11].

Наличие этой фундаментальной платформы позволило сформулировать концепцию цифровизации и информатизации управления элементами опасного производственного объекта в сфере промышленной безопасности для металлургического предприятия. Концепция включает следующие положения:

1) *непротиворечивость* цифровой платформы нормативной базе Российской Федерации по требованиям промышленной безопасности, соблюдающей гармонизацию традиционных и новых показателей качества элементов опасных производственных объектов;

2) *адаптивность* цифровой платформы к новым изменениям в гибкой системе законодательства по требованиям промышленной безопасности с тенденцией развития искусственного интеллекта, направленного на принятие решений о мероприятиях, предотвращающих аварии и инциденты;

3) *мультиплатформенность* цифровой системы, способной функционировать на различных уровнях и при изменении условий эксплуатации, включающих программное и аппаратное обеспечения системы;

4) *обоснованность* принимаемых решений, синтезированных на научной основе построения и сопровождения цифровой платформы.

Обсуждение

Опираясь на предложенную концепцию, авторами исследования предложена пилотная реализация прикладной цифровой платформы для автоматизированного мониторинга технического состояния элементов опасных производственных объектов. Основы построения платформы изложены в диссертационных исследованиях [12]. Обеспечивая положения концепции, авторы использовали результаты пилотного обследования опасных производственных объектов крупного металлургического предприятия [13, 14], разработали теорию гармонизации традиционных и новых показателей качества опасных производственных объектов [15], построили теорию для оптимизации траектории полета мульт-

тироторного летательного аппарата для сбора информации о техническом состоянии элементов опасных производственных объектов [16], выполнили опробование новой цифровой системы на платформе разработчика [17, 18]. Опробование системы доказало работоспособность предложенной концепции для построения цифровых систем оценки качества элементов опасных производственных объектов для металлургического предприятия. Аналогов построенных систем в Российской Федерации и за ее пределами для области промышленной безопасности в проблеме оценки качества элементов опасных производственных объектов не найдено.

Заключение

На основе проведенных исследований установлено, что:

1) статистические показатели, характеризующие количество аварий и инцидентов с человеческими жертвами и смертельными случаями, демонстрируют их ежегодное обязательное сопровождение при функционировании элементов опасных производственных объектов в каждой отрасли промышленности с максимальными значениями в нефтедобывающей и металлургической областях;

2) существующая нормативная база в области управления промышленной безопасностью и качеством элементов опасных производственных объектов динамично изменяется и адаптируется к социальным и экономическим требованиям снижения количества аварий и инцидентов, а также имеет тенденцию к цифровой и информационной трансформации, способствующей переходу к новым технологиям;

3) традиционная система управления промышленной безопасностью и качеством элементов опасных производственных объектов в настоящее время не имеет модулей интеллектуальной поддержки принятия решений и искусственного интеллекта и базируется только на субъективной экспертной оценке человека-эксперта с уникальным опытом, который должен быть переведен на новый цифровой уровень для удовлетворения информационных потребностей предприятия;

4) предложенная концепция цифровизации, базирующаяся на четырех основных положениях – непротиворечивости, адаптивности, мультиплатформенности и обоснованности, является работоспособной и должна быть основой для создания цифровых систем в области промышленной безопасности нового поколения.

Список источников

1. Безпальчук М.А., Щербенко Е.В. Зарубежный опыт регулирования политики промышленной безопасности // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2023. № 3(11). С. 87-92. DOI: 10.34987/2712-9233.2023.27.16.016. EDN NHJGPS.
2. Сейтхалилов Е.П., Чернецов Д.А. Анализ произошедших аварийных инцидентов на котельной с котлом ти-

- па KBGM-100 // Вестник науки. 2024. Т. 4, № 1(70). С. 657-660. EDN NJYUXM.
3. Ким Д.С. Обеспечение безопасности - в первую очередь дело профессионалов // Стандарты и качество. 2012. № 1. С. 32-34. EDN OWWTBV.
4. Результаты экспериментальных испытаний строительных образцов / М.Ю. Наркевич, О.С. Логунова, П.И. Каландаров [и др.] // Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде: 2-я Международная конференция по энергетике, гражданскому и сельскохозяйственному строительству 2021 (ICECAE 2021), Ташкент, 14-16 октября 2021 года. Том. 939. Ташкент: IOP Science, 2021. С. 012031. EDN TXHNUN.
5. Некрасов М.Н., Андрияшина Н.С. Управление производственной безопасностью на промышленных предприятиях // Промышленное развитие России: проблемы, перспективы: сборник статей по материалам XXII Международной научно-практической конференции преподавателей вузов, ученых, специалистов, аспирантов, студентов, Нижний Новгород, 07 ноября 2024 года. Нижний Новгород: Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, 2024. С. 270-274. EDN GLUDBU.
6. Патент № 2753169 С1 Российская Федерация, МПК G06N 7/00. Способ саморегуляции сетевой инфраструктуры промышленных объектов при воздействии угроз безопасности : № 2020142565 : заявл. 23.12.2020: опубл. 12.08.2021 / М.О. Калинин, Д.С. Лаврова, Е.Ю. Павленко; заявитель ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». EDN PGMSXA.
7. Нарушение требований безопасности в ходе эксплуатации промышленных объектов и объектов социальной инфраструктуры: квалификация и расследование : материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 01 ноября 2018 года / под общ. ред. А.М. Багмета. Москва: Московская академия Следственного комитета Российской Федерации, 2018. 252 с. ISBN 978-5-6041504-2-9. EDN PGTJCR.
8. Кузовкова Т.А., Салюткина Т.Ю., Шаравова О.И. Интегральная характеристика состояния и потенциала инфокоммуникационной инфраструктуры на начальном этапе развития цифровой экономики // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2020. № 3. С. 120-129. EDN MOPKFU.
9. Асенова Б.К., Кабаева Қ.М. Тамақ және өндеу өнеркәсібін дамытудағы заманауи цифрлық, инновациялық технологиялар // Вестник университета Шкараима. Серия технические науки. 2021. №. 4(4). Р. 38-40. EDN DAIAFQ.
10. Крыжко Д.А., Рудская И.А. Основные аспекты внедрения цифровых технологий на предприятиях промышленности // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли : сборник трудов Всероссийской научной и учебно-практической конференции. В 3-х ч. Санкт-Петербург, 27-29 мая 2020 года. Ч. 2. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. С. 80-85. EDN EILWAB.
11. Смирнова О.П., Чеснюкова Л.К. Влияние цифровых технологий отраслей промышленности на экономический рост индустриальных регионов // Региональная экономика: теория и практика. 2023. Т. 21, № 9(516).

- C. 1653-1670. DOI: 10.24891/re.21.9.1653. EDN LOVNAT.
12. Наркевич М.Ю. Развитие методологии создания системы менеджмента качества металлургического предприятия, эксплуатирующего опасные производственные объекты, на основе прикладной цифровой платформы : дис. ... д-ра техн. наук / Наркевич Михаил Юрьевич. Магнитогорск, 2023. 332 с. EDN DCFSXK.
13. Results of a pilot experiment on monitoring the condition of buildings and structures using unmanned aerial vehicles / M. Yu. Narkevich, O. S. Logunova, P. I. Kalandarov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 2nd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2021 (ICECAE 2021), Tashkent, 14–16 октября 2021 года. Tashkent: IOP Science, 2021, vol. 939, p. 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/939/1/012030. EDN GBCJUM.
14. Качество материалов, изделий и конструкций в промышленной безопасности: эмпирическая основа / М.Ю. Наркевич, О.С. Логунова, В.Д. Корниенко [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19, № 3. С. 90-101. DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-3-90-101. EDN KXQAWF.
15. Наркевич М.Ю., Логунова О.С. Гармонизация базовых и цифровых показателей принадлежности опасных производственных объектов заданному техническому состоянию // Вестник Череповецкого государственного университета. 2023. № 3(114). С. 31-46. DOI: 10.23859/1994-0637-2023-3-114-3. EDN EUCCMC.
16. Элементы визуализации при обследовании опасных производственных объектов с использованием беспилотного летательного аппарата / А.Е. Козлова, М.Ю. Наркевич, О.С. Логунова, К.Е. Шахмаева // Научная визуализация. 2023. Т. 15, № 2. С. 113-124. DOI: 10.26583/sv.15.2.10. EDN NLDVKD.
17. Программное обеспечение для автоматизированного обнаружения и оценки разрушений соединительных швов зданий / О.С. Логунова, В.В. Кабанова, М.Ю. Наркевич, В.Д. Корниенко // Программные продукты и системы. 2023. № 3. С. 474-485. DOI: 10.15827/0236-235X.143.474-485. EDN KQTPUX.
18. Алгоритмическое и программное обеспечение модуля идентификации типовых объектов на изображениях промышленных зданий / М.Ю. Наркевич, О.С. Логунова, Н.В. Злыдарев [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. 2024. – № 2(63). С. 80-89. DOI: 10.18503/2311-8318-2024-2(63)-80-89. EDN ECNDMP.
3. Kim D.S. Ensuring safety is primarily the responsibility of professionals. *Standarty i kachestvo* [Standards and quality]. 2012;(1):32-34. (In Russ.) EDN OWWTBV.
4. Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Kalandarov P.I., et al. Results of experimental tests of construction specimens. *Seriya konferentsiy IOP: Nauki o Zemle I okruzhayushchei srede: 2-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya po energetike, grazhdanskomu i selskokhozyaistvennomu stroitelstvu 2021 (ICECAE 2021)* [IOP Conference series: Earth and environmental science: 2nd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2021 (ICECAE 2021)]. Tashkent: IOP Science, 2021, vol. 939, p. 012031. (In Russ.). EDN TXHNUN.
5. Nekrasov M.N., Andryashina N.S. Industrial safety management at industrial enterprises. *Promyshlennoe razvitie Rossii: problemy, perspektivy: Sbornik statei po materialam XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley vuzov, uchenykh, spetsialistov, aspirantov, studentov* [Industrial development of Russia: problems and prospects: Proceedings of the 22nd International Scientific and Practical Conference of University Lecturers, Scientists, Specialists, Postgraduate Students, and Students]. Nizhny Novgorod: Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, 2024, pp. 270-274. (In Russ.). EDN GLUDBU.
6. Kalinin M.O., Lavrova D.S., Pavlenko E.Yu. *Sposob samoregulyatsii setevoy infrastruktury promyshlennykh obektov pri vozdeistvii ugroz bezopasnosti* [Method for self-regulation of the network infrastructure of industrial facilities under security threats]. Patent RU, no. 2753169 C1, 2021.
7. Bagmet A.M. *Narushenie trebovaniy bezopasnosti v khode ekspluatatsii promyshlennykh obektov i obektov sotsialnoi infrastruktury: kvalifikatsiya i rassledovanie : Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Violation of safety requirements during the operation of industrial facilities and social infrastructure facilities: qualification and investigation: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Moscow: Moscow Academy of the Investigative Committee of the Russian Federation, 2018, 252 p. (In Russ.) ISBN 978-5-6041504-2-9. EDN PGTJCR.
8. Kuzovkova T.A., Salyutina T.Yu., Sharavova O.I. Integral characteristics of the state and potential of the infocommunication infrastructure at the initial stage of digital economy development. *RISK: Resursy, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsia* [RISK: resources, information, supply, competition]. 2020;(3):120-129. (In Russ.). EDN MOPKFU.
9. Asenova B.K., Kabaeva K.M. Modern digital and innovative technologies in the development of the food and processing industry. *Vestnik universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki* [Shakarim University Bulletin. Technical sciences series]. 2021;(4(4)):38-40. (In Russ.). EDN DAIAFQ.
10. Kryzhko D.A., Rudskaya I.A. Key aspects of implementing digital technologies at industrial enterprises. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v oblasti upravleniya, ekonomiki i trgovli: Sbornik trudov vserossiiskoy nauchnoy i uchebno-prakticheskoy konferentsii* [Fundamental and applied research in management, economics and trade. Proceedings of the All-Russian Scientific and Educational-Practical Conference]. Saint Petersburg:

References

1. Bezpalchuk M.A., Shcherbenko E.V. Foreign experience in industrial safety policy regulation. *Aktualnye problemy bezopasnosti v tekhnosfere* [Current issues of safety in the technosphere]. 2023;(3(11)):87-92. (In Russ.) DOI: 10.34987/2712-9233.2023.27.16.016. EDN NHJGPS.
2. Seithkhalilov E.P., Chernetsov D.A. Analysis of accidents at a boiler house equipped with a KVGМ-100-Type boiler. *Vestnik nauki* [Bulletin of science]. 2024;4(1(70)):657-660. (In Russ.). EDN NJYUXM.

- Politekh-Press, 2020, pp. 80-85. (In Russ.). EDN EILWAB.
11. Smirnova O.P., Chesnyukova L.K. Impact of digital technologies in industrial sectors on the economic growth of industrial regions. *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional economics: theory and practice]. 2023;21(9(516)):1653-1670. (In Russ.). DOI: 10.24891/re.21.9.1653. EDN LOVNAT.
 12. Narkevich M.Yu. *Razvitie metodologii sozdaniya sistemy menedzhmenta kachestva metallurgicheskogo predpriyatiya, ekspluatiruyushchego opasnye proizvodstvennye obekty, na osnove prikladnoi tsifrovoi platformy : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk*. [Development of a methodology for creating a quality management system for a metallurgical enterprise operating hazardous production facilities based on an applied digital platform]. Doctoral dissertation. Magnitogorsk, 2023, 332 p. (In Russ.). EDN DCFSXK.
 13. Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Kalandarov P.I., et al. Results of a pilot experiment on monitoring the condition of buildings and structures using unmanned aerial vehicles. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2nd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2021 (ICECAE 2021). Tashkent: IOP Science, 2021, vol 939, p. 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/939/1/012030. EDN GBCJUM.
 14. Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Kormienko V.D., et al. Quality of materials, products and structures in industrial safety: an empirical basis. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021;19(3):90-101. DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-3-90-101. EDN KXQAWF. (In Russ.)
 15. Narkevich M.Yu., Logunova O.S. Harmonization of basic and digital indicators of the compliance of hazardous production facilities with a specified technical condition. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Cherepovets State University]. 2023;(3(114)):31-46. (In Russ.). DOI: 10.23859/1994-0637-2023-3-114-3. EDN EUCCMC.
 16. Kozlova A.E., Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Shakhmaeva K.E. Visualization elements for the inspection of hazardous production facilities using an unmanned aerial vehicle. *Nauchnaya vizualizatsiya* [Scientific visualization]. 2023;15(2):113-124. (In Russ.). DOI: 10.26583/sv.15.2.10. EDN NLDVKD.
 17. Logunova O.S., Kabanova V.V., Narkevich M.Yu., Kormienko V.D. Software for automated detection and assessment of damage to building joints. *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems]. 2023;(3):474-485. (In Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.143.474-485. EDN KQTPUX.
 18. Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Zlyadarev N.V., et al. Algorithmic and software support for a Module for identifying typical objects in images of industrial buildings. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrical engineering systems and complexes]. 2024;(2(63)):80-89. (In Russ.). DOI: 10.18503/2311-8318-2024-2(63)-80-89. EDN ECNDMP.

Поступила 07.05.2026; принята к публикации 16.09.2026; опубликована 30.09.2026
Submitted 07/05/2026; revised 16/09/2026; published 30/09/2026

Тулупов Олег Николаевич – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технологий обработки материалов, проректор по научной и инновационной работе, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: o.tulupov@mail.ru

Черяпкин Андрей Федорович – директор по охране труда, промышленной безопасности и экологии, ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Магнитогорск, Россия.

Наркевич Михаил Юрьевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства, директор научно-исследовательского института «Промбезопасность», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: narkevich_mu@mail.ru. ORCID 0000-0001-6608-8293

Логунова Оксана Сергеевна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: logunova66@mail.ru. ORCID 0000-0002-7006-8639

Наркевич Анна Михайловна – студент кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: narkevich.am@gmail.com. ORCID 0009-0001-4157-2326

Логунова Полина Сергеевна – студент кафедры металлургии и химических технологий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: polina-logunova.2006@mail.ru. ORCID 0009-0006-8217-2691

Oleg N. Tulupov – Professor, DrSc (Eng.), Professor of the Department of Materials Processing Technologies, Vice-Rector for Research and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: o.tulupov@mail.ru

Andrey F. Cheryapkin – Director for Labor Protection, Industrial Safety and Ecology,
PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk, Russia.

Mikhail Yu. Narkevich – DrSc (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Industrial and Civil Engineering, Director of the Research Institute “Industrial Safety”,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: narkevich_mu@mail.ru. ORCID 0000-0001-6608-8293

Oksana S. Logunova – DrSc (Eng.), Professor,
Head of the Department of Computer Engineering and Programming,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
Email: logunova66@mail.ru. ORCID 0000-0002-7006-8639

Anna M. Narkevich – Student of the Department of Computer Engineering and Programming,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: narkevich.am@gmail.com. ORCID 0009-0001-4157-2326.

Polina S. Logunova – Student of the Department of Metallurgy and Chemical Technologies,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
Email: polina-logunova.2006@mail.ru. ORCID 0009-0006-8217-2691