

Вестник Череповецкого государственного университета. 2023. № 5 (116). С. 52–66.
Cherepovets State University Bulletin, 2023, no. 5 (116), pp. 52–66.

Научная статья
УДК 338
<https://doi.org/10.23859/1994-0637-2023-5-116-4>
EDN: ABUPQG

Результаты применения метода гармонизации экспертных оценок на примере управления качеством функционирования промышленного здания

Михаил Юрьевич Наркевич¹, Оксана Сергеевна Логунова^{2✉}

^{1,2}Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова,

Магнитогорск, Россия

¹narkevich_mu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6608-8293>

²[logunova66@mail.ru✉](mailto:logunova66@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>

Аннотация. В работе приведены результаты апробации нового метода гармонизации базовых и новых показателей качества опасных производственных объектов, которые эксплуатируются на металлургическом предприятии. В качестве инструментальной основы использованы традиционные органолептические методы и новые технические средства, установленные на беспилотных воздушных судах. Суть предлагаемого метода гармонизации состоит в том, что требуется выполнить дополнение системы базовых показателей таким образом, чтобы сохранить их смысл согласно нормативным документам и дополнить новыми знаниями, полученными при использовании новых инструментов прикладной цифровой платформы. Основу метода составляют: лингвистическая переменная для интегративного гармонизированного показателя, производственные правила принятия решений, принцип суперпозиции показателей, составляющий основу гармонизации.

В тексте статьи излагается применение алгоритма при оценке технического состояния здания производственного задания. Результаты показали высокий уровень достоверности и адекватности предлагаемых управленческих решений в области управления качеством функционирования элементов опасных производственных объектов в рамках методологии создания и развития системы менеджмента качества металлургического предприятия.

Ключевые слова: экспертные оценки, метод гармонизации, опробование алгоритма, традиционные и новые методы оценки, опасные производственные объекты, техническое состояние

Благодарность. Работа выполняется по договору №247715 от 05.07.2021 г. между ПАО «ММК» и ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова» «Разработка и применение методик контроля территорий, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС)».

Для цитирования: Наркевич М. Ю., Логунова О. С. Результаты применения метода гармонизации экспертных оценок на примере управления качеством функционирования промышленного здания // Вестник Череповецкого государственного университета. 2023. № 5 (116). С. 52–66. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2023-5-116-4>

The results of applying the method of harmonizing expert assessments in quality management of the industrial building functioning

Mikhail Yu. Narkevich¹, Oksana S. Logunova²✉

^{1,2}Nosov Magnitogorsk Technical University,
Magnitogorsk, Russia

¹narkevich_mu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6608-8293>

²logunova66@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>

Abstract. The paper presents a new method of harmonizing traditional and new quality indicators of hazardous production facilities that are operated at a metallurgical enterprise. As an instrumental basis, traditional organoleptic methods and new technical means installed on unmanned aerial vehicles were used. The essence of the proposed harmonization method is that it is required to supplement the system of traditional indicators in such a way as to keep their value in accordance with regulatory documents and supplement them with new knowledge obtained with new tools of the applied digital platform. The method is based on: a linguistic variable for an integrative harmonized indicator, production decision-making rules, and the principle of indicator superposition, which forms the basis of harmonization.

The article describes the application of the algorithm in assessing the technical condition of the building. The results of testing showed a high level of reliability and adequacy of the proposed management decisions in the field of quality management of functioning elements at hazardous production facilities within the framework of the methodology for developing a quality management system at a metallurgical enterprise.

Keywords: expert assessments, harmonization method, algorithm testing, traditional and new assessment methods, hazardous production facilities, technical condition

Acknowledgments. The studies are carried out with financial support under agreement No. 247715 of 05.07.2021 between PJSC “Magnitogorsk Iron & Steel Works” and FSBEI HE “Nosov Magnitogorsk State Technical University” “Development and application of methods for monitoring territories, buildings and structures of PJSC “Magnitogorsk Iron & Steel Works” using unmanned aircraft (UMA)”.

For citation: Narkevich M. Yu., Logunova O. S. The results of applying the method of harmonizing expert assessments in quality management of the industrial building functioning. *Cherepovets State University Bulletin*, 2023, no. 5 (116), pp. 52–66 (In Russ.). <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2023-5-116-4>

Введение

Обеспечение промышленной безопасности зданий и сооружений осуществляется на основе действующих нормативно-правовых документов, которые устанавливают требования непосредственно к конструкциям зданий и сооружений, к надзору за их техническим состоянием, к технологическим процессам, размещаемым в зданиях и сооружениях, к работающему и обслуживающему персоналу предприятий. При этом аварии на промышленных предприятиях, связанные с обрушением конструкций зданий и сооружений, происходят постоянно с ущербом в виде человеческих жертв, экономических потерь и вреда окружающей среде¹.

¹ Кичигин Н. В., Пономарев М. В., Пуряева А. Ю. Комментарий к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объ-

Недостатки сложившейся системы по обеспечению безопасной эксплуатации зданий и сооружений заключаются в следующем: отсутствие системности при оценке безопасности, выборочная экспертиза отдельных объектов при отсутствии постоянного контроля и мониторинга, отсутствие критериев и методик, позволяющих оценить безопасность объектов в любой заданный момент времени, непонимание необходимости создания новой альтернативной системы или отсутствие финансирования на создание современных методов контроля безопасности.

Одним из перспективных направлений повышения защиты зданий и сооружений от аварий является обеспечение постоянного мониторинга и внедрение перспективных методов оценки технического состояния объектов¹.

Внедрение перспективных методов оценки технического состояния элементов опасных производственных объектов (зданий, сооружений и технических устройств) должно вписываться в систему менеджмента качества предприятия, построенную на основе международного стандарта ISO 9001:2015 “Quality management systems” и национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования». Активное внедрение процессов цифровизации в настоящее время вызвано повышением требований к качеству экспертной оценки элементов ОПО, основными направлениями перспективного развития исследования являются²:

– адаптация теории и практики трансформации системы управления качеством элементов опасного производственного объекта (ОПО) к оценке состояния объектов гражданского строительства³;

ектов»: (в редакции Федерального закона от 18 декабря 2006 г. № 232-ФЗ): постатейный. Москва: Юстицинформ, 2007. 151 с. EDN: QXKZYB; ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Введ. 2011–12–08. Москва: Стандартинформ, 2014. 55 с.; Свод правил по проектированию и строительству (СП 13-102-2003). Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034118> (дата обращения: 07.02.2022).

¹ Наркевич М. Ю. и др. Анализ эффективности существующей системы оценки качества материалов, изделий и конструкций на опасных производственных объектах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2021. Т. 19, № 2. С. 103–111. DOI 10.18503/1995-2732-2021-19-2-103-111. EDN: DRMMHZ; Денисов А. В. и др. Регистрация объектов в государственном реестре опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. 2000. № 6. С. 6–9. EDN: JVEVSL; Бойченко М. Б., Гулых К. В., Зевакина О. А. Экспертиза зданий и сооружений опасных производственных объектов // Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 8-2(20). С. 35–39. EDN: WIONHB; Хаертинова З. М. Обеспечение безопасности опасных производственных объектов. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2020. 84 с. EDN: YZHSOP.

² ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Введ. 2011–12–08. Москва: Стандартинформ, 2014. 55 с.

³ Наркевич М. Ю. и др. Прикладная цифровая платформа для оценки динамики качества опасных производственных объектов на металлургическом предприятии: структура и алгоритмы // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 5(110). С. 29–48. DOI 10.23859/1994-0637-2022-5-110-3. EDN: ELUMKD; Степанова И. С., Воротников А. М. Новые возможности для гражданского общества, представляемые цифровыми платформами,

– разработка эффективных алгоритмов обработки информации по фото- и видеопотокам, полученным техническими средствами для непрерывного мониторинга поверхности объектов¹;

– создание моделей цифровых двойников для построения и исследования нового состояния элементов ОПО².

Цель исследования – обеспечение интеллектуализации в алгоритмах принятия решений о принадлежности ОПО заданному техническому состоянию в условиях новых вызовов, обеспечивающих переход от традиционных методов сбора информации к новым цифровым технологиям.

на примере цифровой платформы «Арктика 2035» // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2020. № 1 (1). С. 51–57. DOI 10.51823/74670_2020_1_51. EDN: FQGZKO; Molchanova K. M., Trushkina N. V., Katerna O. K. Digital platforms and their application in the aviation industry // Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management. 2020. No. 3 (3). P. 83–98. DOI 10.46783/smart-scm/2020-3-8. EDN: CDZYUY; Литвин И. Ю. Развитие цифровых платформ и организационные методы цифрового инжиниринга в российской промышленности // Инновационное развитие экономики. 2022. № 3–4 (69–70). С. 65–69. DOI 10.51832/2223798420223-465. EDN: CLQFVP.

¹ Литвин И. Ю. Развитие цифровых платформ и организационные методы цифрового инжиниринга в российской промышленности // Инновационное развитие экономики. 2022. № 3–4 (69–70). С. 65–69. DOI 10.51832/2223798420223-465. EDN: CLQFVP; Наркевич М. Ю. и др. Анализ эффективности существующей системы оценки качества материалов, изделий и конструкций на опасных производственных объектах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2021. Т. 19, № 2. С. 103–111. DOI 10.18503/1995-2732-2021-19-2-103-111. EDN: DRMMHZ; Наркевич М. Ю. и др. Интеллектуальная система принятия решений при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах: определение траектории движения беспилотного летательного аппарата // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2022. Т. 20, № 1. С. 50–60. DOI 10.18503/1995-2732-2022-20-1-50-60. EDN: YTCCRK; Narkevich M. Yu., 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, 14–16 октября 2021 года. Vol. 939. Tashkent: IOP Science, 2021. P. 012030. DOI 10.1088/1755-1315/939/1/012030. EDN: GBCJUM.

² Литвин И. Ю. Развитие цифровых платформ и организационные методы цифрового инжиниринга в российской промышленности // Инновационное развитие экономики. 2022. № 3–4 (69–70). С. 65–69. DOI 10.51832/2223798420223-465. EDN: CLQFVP; Narkevich M. Yu., 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, 14–16 октября 2021 года. Vol. 939. Tashkent: IOP Science, 2021. P. 012030. DOI 10.1088/1755-1315/939/1/012030. EDN: GBCJUM; 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.

Постановка задачи и описание объекта исследования

В работе¹ предложен метод гармонизации показателей принадлежности опасного производственного объекта (ОПО) к заданному техническому состоянию, полученных в результате сбора информации по традиционной и новой технологиям. В качестве инструментальной основы использованы традиционные органолептические методы и новые технические средства, установленные на беспилотных воздушных судах. Суть предлагаемого метода гармонизации состоит в том, что требуется выполнить дополнение системы базовых показателей таким образом, чтобы сохранить их смысл согласно нормативным документам и дополнить новыми знаниями, полученными при использовании новых инструментов прикладной цифровой платформы. Основу метода составляют: лингвистическая переменная для интегративного гармонизированного показателя, продукционные правила принятия решений, принцип суперпозиции показателей, составляющий основу гармонизации.

Одним из объектов является здание главного корпуса участка гнутых профилей листопркатного цеха (ЛПЦ) № 8, находящееся на промышленной площадке ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и входящее в состав ОПО «Цех по производству проката № 8», зарегистрированного в государственном реестре ОПО (II класс опасности).

Общий вид двух производственных помещений внутри здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 представлен на рис. 1.

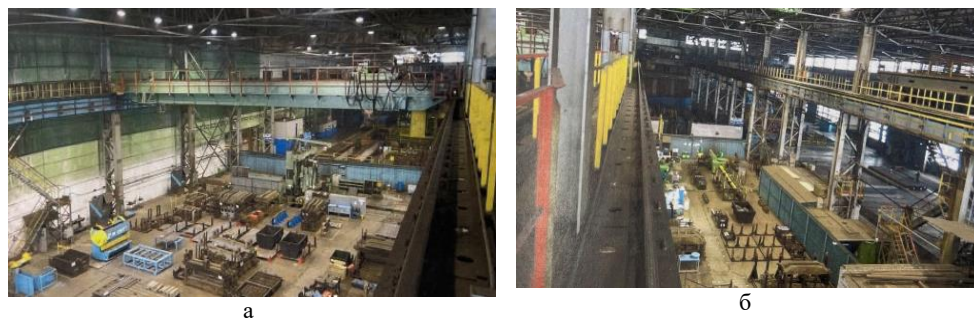


Рис. 1. Общий вид производственных помещений внутри здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8: а – общий вид пролета «К–Л»; б – общий вид пролета «Л–М»

В здании главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 размещено профилегибочное оборудование, агрегаты продольной резки, агрегат горячего оцинкования, трубозлектросварочный агрегат, осуществляющие следующие технологические процессы: прием и подготовку заготовок, транспортировку заготовок к профилегибочным станкам, процесс профилирования, сортировку, приемку, упаковку, хранение и отгрузку готовой продукции.

¹ 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.

Общие сведения об объекте приведены в табл. 1.

Таблица 1

Общие сведения об объекте экспертной оценки

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1. Общие сведения		
1.1	Организация-проектировщик, год разработки проектной документации	Магнитогорский ГИПРОМЕЗ, 1972–1973 гг.
1.2	Строительно-монтажная организация	Трест «Магнитострой»
1.3	Год ввода в эксплуатацию	1975 г.
1.4	Нормативный срок эксплуатации здания, установленный проектной документацией	Не установлен
1.5	Площадь застройки	60860,0 м ²
1.6	Строительный объем объекта	1123850,0 м ³
1.7	Количество этажей	1
1.8	Конструктивная система	Каркасная
1.9	Наличие грузоподъемного оборудования	Краны мостовые электрические
1.10	Категория здания по пожарной и взрывопожарной опасности	Г – умеренная пожароопасность
1.11	Уровень ответственности	Повышенный
2. Параметры эксплуатационной среды		
2.1	Освещение	Естественное и искусственное
2.2	Отопление	Воздушное конвекторами
2.3	Вентиляция	Приточно-вытяжная
2.4	Степень агрессивности среды	Неагрессивная

Требуется установить соответствие состояния здания главного корпуса ЛПЦ № 8 на ОПО ПАО «ММК» требованиям нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации на основе показателей экспертной оценки.

Результаты применения метода гармонизации для оценки технического состояния здания

Согласно работе [15] метод гармонизации содержит 3 уровня.

Уровень 1. Определение лингвистической переменной и ее терм, разделение показателей качества на две группы: базовые и цифровые.

1.1. Согласно техническому заданию на проведение оценки качества элемента ОПО определяем основные нормативные документы, содержащие требования и показатели:

- Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ;
- Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ;

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» (Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 г. № 461);

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» (Приказ Ростехнадзора от 20.10.2020 г. № 420);

– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах» (Приказ Ростехнадзора от 01.12.2020 г. № 478);

– СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений»;

– СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции»;

– СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»;

– СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»;

– СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии»;

– СП 56.13330.2011 «Производственные здания»;

– СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;

– СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции»;

– «Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам», 2001.

1.2. Согласно идентифицированным документам определяем:

– лингвистическая переменная U_0 – техническое состояние здания главного корпуса ЛПЦ № 8 на ОПО ПАО «ММК»;

– лингвистическая переменная 1-го уровня – решение, полученное на основе базовых показателей качества X_{Bi} .

В результате проведения исследования выбраны основные показатели качества (в соответствии с обнаруженными дефектами и повреждениями).

Определим нечеткое множество в виде

$$X_B = \{X_{B1}, X_{B2}, X_{B3}\},$$

где X_{B1} – величина снижения прочности бетона несущих железобетонных конструкций, доли от проектного значения; X_{B2} – величина раскрытия трещин в подкрановых балках, мм; X_{B3} – величина относительного прогиба несущих конструкций балок, элементов покрытия $\times 10^{-2}$, мм.

Лингвистическая переменная 1-го уровня – решение, полученное на основе цифровых показателей качества X_{Di} .

Экспертом определен состав цифровых показателей качества в виде

$$X_D = \{X_{D1}, X_{D2}, X_{D3}\},$$

где X_{D1} – наличие или отсутствие определенных трещин на цифровом изображении подкрановых балок; X_{D2} – скорость роста протяженности трещин подкрановых балок, м/год; X_{D3} – скорость раскрытия трещин подкрановых балок, мм/год.

1.3. Назначим экспертно ранги предпочтения для каждой термы, используя смысловые значения базовых и цифровых показателей качества (см. табл. 2).

Таблица 2

**Ранги предпочтения для каждой термы лингвистической переменной
для базовых и цифровых показателей качества**

Статус	Ранг
Исправное состояние	5
Работоспособное состояние	4
Ограниченно работоспособное состояние	3
Недопустимое состояние	2
Аварийное состояние	1

1.4. Закрепим за каждой термой перечень мероприятий для проведения на элементах ОПО.

Уровень 2. Получение решения для компонент 1-го уровня для базовых и цифровых показателей качества.

2.1. Для каждого показателя качества с использованием экспертных оценок определим ключевые точки изменения технического состояния объекта согласно положениям СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».

Для лингвистической переменной Y_1 :

$$\mu_{X_{B1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,95}{0,05}; \frac{0,50}{0,15}; \frac{0,09}{0,25}; \frac{0,00}{0,30} \right\},$$

$$\mu_{X_{B1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,95}{0,10}; \frac{0,90}{0,30}; \frac{0,60}{0,50}; \frac{0,00}{1,00} \right\},$$

$$\mu_{X_{B1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,90}{0,40}; \frac{0,80}{0,60}; \frac{0,37}{0,80}; \frac{0,00}{1,20} \right\}.$$

Для лингвистической переменной Y_2 :

$$\mu_{X_{D1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,00}{0,00}; \frac{0,00}{1,20} \right\},$$

$$\mu_{X_{D1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{0,20}; \frac{0,60}{0,40}; \frac{0,40}{0,60}; \frac{0,00}{1,00} \right\},$$

$$\mu_{X_{B1}} = \left\{ \frac{1,00}{0,00}; \frac{0,80}{0,10}; \frac{0,60}{0,20}; \frac{0,10}{0,40}; \frac{0,00}{0,50} \right\}.$$

2.2. Выполним аппроксимацию функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию для базовых (см. рис. 3) и цифровых (см. рис. 4) показателей качества, отобразив на них экспертные точки, соответствующие фактическим значениям базовых и цифровых показателей качества.

При аппроксимации функций принадлежности объекта к заданному техническому состоянию получены следующие зависимости:

$$\mu_{x_{B1}} = 77,333x_{B1}^3 - 35,127x_{B1}^2 + 0,2446x_{B1} + 1,0049,$$

$$\mu_{x_{B2}} = 1,764x_{B2}^3 - 3,1458x_{B2}^2 + 0,4004x_{B2} + 0,9804,$$

$$\mu_{x_{B3}} = 2,813x_{B3}^3 - 6,287x_{B3}^2 + 3,0066x_{B3} + 0,5822,$$

$$\mu_{x_{D1}} = \begin{cases} 1, & x_{D2} = 0; \\ 0, & x_{D2} > 0, \end{cases}$$

$$\mu_{x_{D2}} = -x_{D2} + 1,$$

$$\mu_{x_{D3}} = 9,3137x_{D3}^3 - 6,2605x_{D3}^2 - 1,194x_{D3} + 0,9937,$$

где $\mu_{x_{B1}}$, $\mu_{x_{B2}}$, $\mu_{x_{B3}}$ – значения оценок для базовых показателей качества элемента ОПО; $\mu_{x_{D1}}$, $\mu_{x_{D2}}$, $\mu_{x_{D3}}$ – количественные значения оценок для цифровых показателей качества элемента ОПО; x_{B1} , x_{B2} , x_{B3} – значения базовых показателей качества; x_{D1} , x_{D2} , x_{D3} – значения цифровых показателей качества.

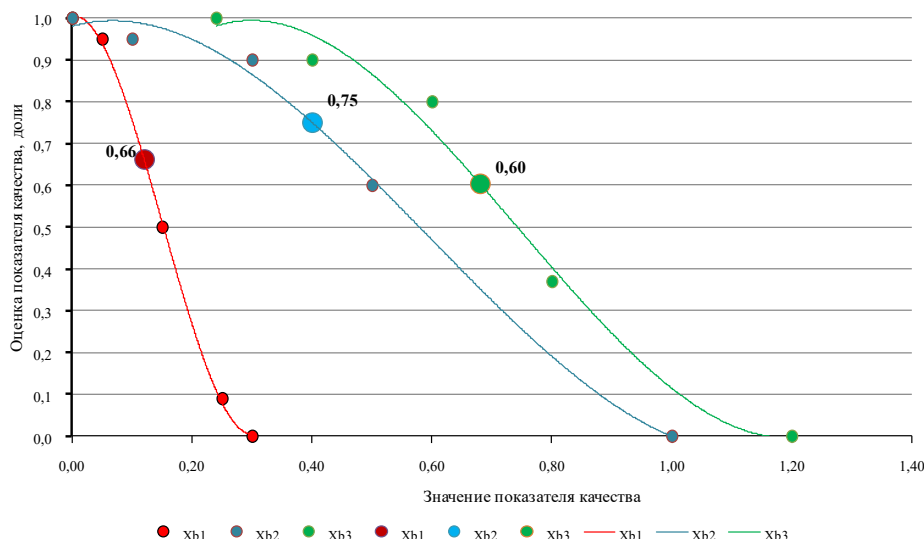


Рис. 3. Аппроксимация функций принадлежности по базовым показателям качества X_{B1} , X_{B2} , X_{B3}

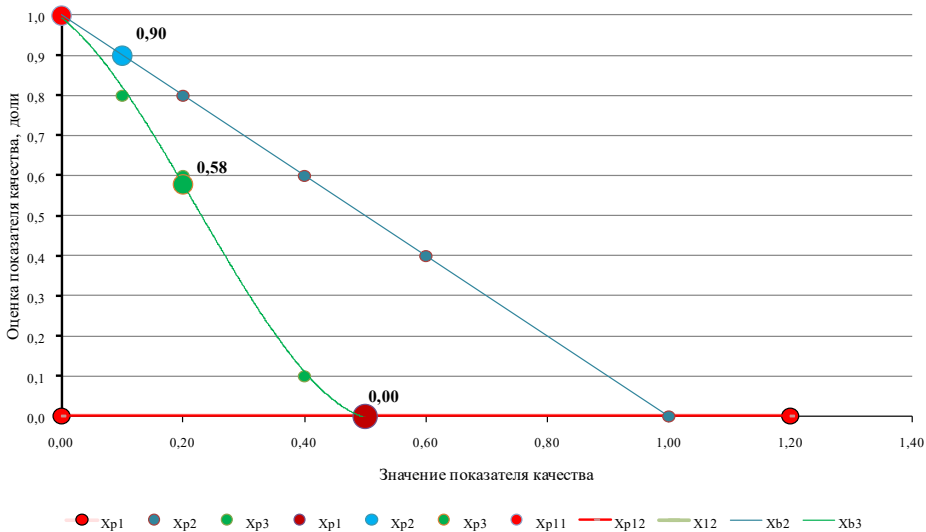


Рис. 4. Аппроксимация функций принадлежности по цифровым показателям качества X_{D1} , X_{D2} , X_{D3}

2.3. Воспользуемся правилами принятия решений для компонент Y_1 (табл. 3) и Y_2 (см. табл. 4) согласно выражениям (1)–(6).

Таблица 3

Определение статуса для компоненты Y_1

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{B1}	0,12	0,66	[0,50÷0,95]	4	Работоспособное
X_{B2}	0,40	0,75	[0,60÷0,90]	3	Ограниченно работоспособное
X_{B3}	0,68	0,60	[0,37÷0,80]	3	Ограниченно работоспособное

Таблица 4

Определение статуса для компоненты Y_2

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Диапазон оценки	Решение о статусе	Описание статуса
X_{D1}	0,50	0,00	>0,00	4	Работоспособное
X_{D2}	0,10	0,90	(0,80÷1,00]	5	Исправное
X_{D3}	0,20	0,58	(0,00÷0,40]	3	Ограниченно работоспособное

2.4. Применим правила принятия решений для показателей качества элементов ОПО, выбранных в ходе экспертной оценки с указанием степени принадлежности ко всем состояниям.

Полученные параметры по базовым показателям качества сведены в табл. 5, по цифровым – в табл. 6.

Таблица 5

Определенные параметры по базовым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{B1}	0,12	0,66	4	4	3
X_{B2}	0,40	0,75	3	3	
X_{B3}	0,68	0,60	3	3	

Таблица 6

Определенные параметры по цифровым показателям качества

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Общее решение
X_{D1}	0,50	0,00	4	4	3
X_{D2}	0,10	0,90	5	5	
X_{D3}	0,20	0,58	3	3	

Уровень 3. Использование принципа суперпозиции для гармонизации решения, полученного на основе базовых показателей с учетом квалиметрических значений цифровых показателей.

3.1. Используем принцип суперпозиции, построенный согласно предпочтению рангов каждой из компонент Y_1 и Y_2 с учетом равенства рангов результирующих терм Y_1 и Y_2 ; итоговый статус принятия решений остается неизменным: 3.

3.2. Формулируем вывод о значении лингвистической переменной с указанием степени принадлежности каждого показателя к статусу опасности (см. табл. 7) и идентифицируем список мероприятий для проведения на элементах ОПО.

Таблица 7

Степень принадлежности показателей качества к статусу опасности

Наименование показателя	Значение показателя	Значение оценки	Решение о статусе	Решение о ранге	Описание статуса
X_{B1}	0,12	0,66	4	4	Работоспособное
X_{B2}	0,40	0,75	3	3	Ограниченно работоспособное
X_{B3}	0,68	0,60	3	3	Ограниченно работоспособное
X_{D1}	0,50	0,00	4	4	Работоспособное
X_{D2}	0,1	0,9	5	5	Исправное
X_{D3}	0,20	0,58	3	3	Ограниченно работоспособное

3.3. Устанавливаем итоговый вывод о соответствии (не в полной мере соответствии, несоответствии) элемента ОПО требованиям качества в соответствии с нормативными правовыми актами и стандартами Российской Федерации, исходя из сопоставления принятого решения ($Status_i$) возможности эксплуатации.

Соотношение статуса с решением о возможности эксплуатации элемента ОПО (объекта экспертной оценки) исходя из требований нормативных правовых актов и стандартов Российской Федерации представлено в табл. 8.

Таблица 8

Соотношение статуса с решением о возможности эксплуатации элемента ОПО

Описание статуса	Ранг	Решение
Исправное состояние	5	Соответствует
Работоспособное состояние	4	
Ограниченно работоспособное состояние	3	Не в полной мере соответствует
Недопустимое состояние	2	Не соответствует
Аварийное состояние	1	

На основании проведенной оценки качества функционирования здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8, находящегося на промышленной площадке ПАО «ММК», сделан вывод о неполном соответствии требованиям нормативных правовых актов и стандартов РФ. Функционирование здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8 возможно при условии выполнения мероприятий, компенсирующих несоответствия.

3.4. Назначаем управляющее воздействие, направленное на изменение показателей качества технического состояния элемента ОПО.

Необходимо управляющее воздействие, направленное на изменение показателей качества технического состояния здания: восстановление или усиление конструкций. До выполнения мероприятий накладываются соответствующие ограничения на эксплуатацию здания главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ № 8.

Выводы

1. Опробован алгоритм, позволивший установить перечень мероприятий, которые должны привести опасный производственный объект в заданное техническое состояние за счет интеграции цифровых и экспертных методов мониторинга, контроля и управления в рамках СМК.

2. В процессе исследования получены количественно-качественные результаты экспертно-аналитической текущей оценки качества функционирования элементов ОПО.

3. Результаты работы показывают высокий уровень достоверности и адекватности предлагаемых управленческих решений.

Список источников

Бойченко М. Б., Гулых К. В., Зевакина О. А. Экспертиза зданий и сооружений опасных производственных объектов // Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 8–2 (20). С. 35–39. EDN: WIONHB.

ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Введ. 2011–12–08. Москва: Стандартинформ, 2014. 55 с.

Денисов А. В. и др. Регистрация объектов в государственном реестре опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. 2000. № 6. С. 6–9. EDN: JVEVSL.

Кичигин Н. В., Пономарев М. В., Пуряева А. Ю. Комментарий к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»: (в редакции Федерального закона от 18 декабря 2006 г. № 232-ФЗ): постатейный. Москва: Юстицинформ, 2007. 151 с. EDN: QXKZYB.

Литвин И. Ю. Развитие цифровых платформ и организационные методы цифрового инжиниринга в российской промышленности // Инновационное развитие экономики. 2022. № 3–4 (69–70). С. 65–69. DOI 10.51832/2223798420223-465. EDN: CLQFVP.

Наркевич М. Ю. и др. Анализ эффективности существующей системы оценки качества материалов, изделий и конструкций на опасных производственных объектах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2021. Т. 19, № 2. С. 103–111. DOI 10.18503/1995-2732-2021-19-2-103-111. EDN: DRMMHZ.

Наркевич М. Ю. и др. Интеллектуальная система принятия решений при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах: определение траектории движения беспилотного летательного аппарата // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2022. Т. 20, № 1. С. 50–60. DOI 10.18503/1995-2732-2022-20-1-50-60. EDN: YTCCRK.

Наркевич М. Ю. и др. Прикладная цифровая платформа для оценки динамики качества опасных производственных объектов на металлургическом предприятии: структура и алгоритмы // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 5(110). С. 29–48. DOI 10.23859/1994-0637-2022-5-110-3. EDN: ELUMKD.

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.

Свод правил по проектированию и строительству (СП 13-102-2003). Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034118> (дата обращения: 07.02.2022).

Степанова И. С., Воротников А. М. Новые возможности для гражданского общества, предоставляемые цифровыми платформами, на примере цифровой платформы «Арктика 2035» // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2020. № 1 (1). С. 51–57. DOI 10.51823/74670_2020_1_51. EDN: FQGZKO.

Хаертдинова З. М. Обеспечение безопасности опасных производственных. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2020. 84 с. EDN: YZHSOP.

Molchanova K. M., Trushkina N. V., Katerna O. K. Digital platforms and their application in the aviation industry // Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management. 2020. No. 3 (3). P. 83–98. DOI 10.46783/smart-scm/2020-3-8. EDN: CDZYUY.

Narkevich M. Yu. 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, 14–16 октября 2021 года. Vol. 939. Tashkent: IOP Science, 2021. P. 012030. DOI 10.1088/1755-1315/939/1/012030. EDN: GBCJUM.

Reference

Boichenko M. B., Gulykh K. V., Zevakina O. A. Ekspertiza zdaniy i sooruzheniy opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov [Expertise of buildings and structures of hazardous industrial facilities]. *Simvol nauki: mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal* [Symbol of Science], 2016, no. 8–2 (20), pp. 35–39. EDN: WIOHHB.

Denisov A. V. Registratsiya ob'ektov v gosudarstvennom reestre opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov [Registration of objects in the state register of hazardous industrial facilities]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Occupational Safety in Industry], 2000, no. 6, pp. 6–9. EDN: JVEVSL.

GOST 31937-2011. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. Vved. 2011–12–08* [GOST 31937-2011 (Russian National Standard) Buildings and Structures. Rules for inspection and technical condition monitoring]. Moscow: Standartinform, 2014. 55 p.

Khaertdinova Z. M. *Obespechenie bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh* [Safety of hazardous industrial facilities]. Izhevsk: Izhevskaya GSKhA, 2020. 84 p.

Kichigin N. V., Ponomarev M. V., Puryaeva A. Yu. *Kommentarii k Federal'nomu zakonu ot 21 iyulya 1997 g. № 116-FZ “O promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov”*: (v redatsii Federal'nogo zakona ot 18 dekabrya 2006 g. № 232-FZ): postateinyi [Commentary to the Federal Law dated July 21, 1997 No. 116-FZ “On industrial safety of hazardous industrial facilities”: (as amended by the Federal Law dated December 18, 2006 No. 232-FZ)]. Moscow: Iustitsinform, 2007. 151 p. EDN: QXKZYB.

Litvin I. Yu. Razvitiye tsifrovyykh platform i organizatsionnye metody tsifrovogo inzhiniringa v rossiiskoi promyshlennosti [Development of digital platforms and organizational methods of digital engineering in the Russian industry]. *Innovatsionnoye razvitiye ekonomiki* [Innovative development of economy], 2022, no. 3–4 (69–70), pp. 65–69. DOI 10.51832/2223798420223-465. EDN: CLQFVP.

Molchanova K. M., Trushkina N. V., Katerna O. K. Digital platforms and their application in the aviation industry. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*, 2020, no. 3(3), pp. 83–98. DOI 10.46783/smart-scm/2020-3-8

Narkevich M. Yu. Analiz effektivnosti sushchestvuyushchei sistemy otsenki kachestva materialov, izdeliy i kon-struktov na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh [Analysis of efficiency of the existing quality assessment system for materials, products, and structures at hazardous production facilities]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2021, vol. 19, no. 2, pp. 103–111. DOI 10.18503/1995-2732-2021-19-2-103-111. EDN DRMMHZ.

Narkevich M. Yu. i dr. Intellektual'naya sistema priniatiya reshenii pri otsenke kachestva zdaniy i sooruzheniy na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh: opredeleniye traektorii dvizheniya bespilotnogo letatel'nogo apparata [An intelligent decision support system for assessing the quality of buildings and structures at hazardous industrial facilities: determining the trajectory of the unmanned aircraft]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2022, vol. 20, no. 1, pp. 50–60. DOI 10.18503/1995-2732-2022-20-1-50-60

Narkevich M. Yu. i dr. Prikladnaya tsifrovaya platforma dlya otsenki dinamiki kachestva opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov na metallurgicheskom predpriyatii: struktura i algoritmy [Applied digital platform for assessing the dynamics of the quality of hazardous industrial facilities at a metallurgical enterprise: structure and algorithms]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin], 2022, no. 5 (110), pp. 29–48. DOI 10.23859/1994-0637-2022-5-110-3

Narkevich M. Yu., 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, 14–16 October 2021*. Tashkent: IOP Science, 2021, vol. 939. P. 012030. DOI 10.1088/1755-1315/939/1/012030

Narkevich M. Yu., Logunova O. S. Garmonizatsiia bazovykh i tsifrovyykh pokazatelei prinadlezhnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov zadannomu tekhnicheskomu sostoianiiu [Harmonizing basic and numerical quality indicators of hazardous production facility belonging to a specified condition]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin], 2023, no. 3 (114), pp. 133–147. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2023-3-114-1>

Stepanova I. S., Vorotnikov A. M. Novye vozmozhnosti dlia grazhdanskogo obshchestva, predstavliaemye tsifrovymi plat-formami, na primere tsifrovoi platformy “Arktika 2035” [New opportunities provided by digital platforms for civil society, by the example of the digital platform “Arctic 2035”]. *Arktika 2035: aktual'nye voprosy, problemy, resheniia* [Arctic 2035: current issues, problems, solutions], 2020, no. 1 (1), pp. 51–57. DOI 10.51823/74670_2020_1_51

Svod pravil po proektirovaniu i stroitel'stvu (SP 13-102-2003). Pravila obsledovaniia nesushchikh stroitel'nykh konstruksii zdani i sooruzhenii [Code of Practice for Design and Construction (SP 13-102-2003). Inspection requirements for loadbearing structures of buildings and facilities]. *Elektronnyi fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov* [Electronic fund of legal and normative-technical documents]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200034118> (accessed: 07.02.2022).

Сведения об авторах

Наркевич Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой проектирования и строительства зданий, <https://orcid.org/0000-0001-6608-8293>, narkevich_mu@mail.ru; Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (д. 38, пр-т Ленина, 455000 Магнитогорск, Россия); **Mikhail Yu. Narkevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Head of the Department of Design and Construction of Buildings; <https://orcid.org/0000-0001-6608-8293>, narkevich_mu@mail.ru; Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, pr. Lenina, 455000 Magnitogorsk, Russia).

Оксана Сергеевна Логунова – доктор технических наук, профессор; <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>, logunova66@mail.ru, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (д. 38, пр-т Ленина, 455000 Магнитогорск, Россия); **Oksana S. Logunova** – Doctor of Technical Sciences, Professor; <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>, logunova66@mail.ru, Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, pr. Lenina, 455000 Magnitogorsk, Russia).

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.06.2023; одобрена после рецензирования 26.06.2023; принята к публикации 31.07.2023.

The article was submitted 05.06.2023; Approved after reviewing 26.06.2023; Accepted for publication 31.07.2023.