

Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 6 (111). С. 53–64.
Cherepovets State University Bulletin, 2022, no. 6 (1101), pp. 53–64.

Научная статья

УДК 621.746.27-52

<https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-6-111-4>

Классификация исходных данных для интеллектуальной системы экспертной оценки визуально определяемых дефектов и повреждений

Владимир Дмитриевич Корниенко¹, Геннадий Андреевич Ежов²,
Михаил Юрьевич Наркевич^{3✉}, Оксана Сергеевна Логунова⁴

^{1,2,3,4}Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова,

Магнитогорск, Россия,

¹volodya.Kornienko2319@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0637-5765>

²knylaz.gg2@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6313-5955>

³narkevich_mu@mail.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-6608-8293>

⁴logunova66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>

Аннотация. Цель исследования заключается в разработке схемы классификации исходных данных (изображений) для создания интеллектуальной системы поддержки при принятии управленческих решений в системе экспертной оценки визуально оцениваемых дефектов и повреждений зданий и сооружений на опасных производственных объектах. Исходные данные собраны в 2021–2022 гг. на одном из ведущих промышленных предприятий черной металлургии в России. В работе использованы методы декомпозиции, анализа и синтеза. В результате проведенного исследования разработана схема классификации исходных данных, что является основой для создания интеллектуальной системы поддержки экспертной оценки визуально оцениваемых дефектов и повреждений зданий и сооружений на опасных производственных объектах.

Ключевые слова: система интеллектуальной поддержки, принятие управленческих решений, технические системы, опасные производственные объекты, дефекты и повреждения

Благодарность. Статья выполнена из средств субсидии федерального бюджета на разработку программ бакалавриата и программ магистратуры по профилю «искусственный интеллект», а также на повышение квалификации педагогических работников образовательных организаций высшего образования в сфере искусственного интеллекта (соглашение №075-15-2021-1039 от 28.09.2021).

Для цитирования: Корниенко В. Д., Ежов Г. А., Наркевич М. Ю., Логунова О. С. Классификация исходных данных для интеллектуальной системы экспертной оценки визуально определяемых дефектов и повреждений // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 6 (111). С. 53–64. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-6-111-4>.

Classification scheme of initial data for intelligent system of expert assessing visually identified defects and damage

Vladimir D. Kornienko¹, Gennady A. Ezhov²,
Mikhail Yu. Narkevich^{3✉}, Oksana S. Logunova⁴
^{1,2,3,4}Nosov Magnitogorsk State Technical University,

Magnitogorsk, Russia

¹volodya.Kornienko2319@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0637-5765>

²kny1az.gg2@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6313-5955>

³narkevich_mu@mail.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-6608-8293>

⁴logunova66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>

Abstract. The purpose of the study is to develop a classification scheme for source data (images) to develop an intelligent support system for making management decisions in the expert evaluation system of visually assessed defects and damage to buildings and structures at hazardous production facilities. The object of the study is the technical condition of buildings and structures at hazardous production facilities, the subject of the study is the classification of initial data for the development of an intelligent system. The initial data were collected in 2021–2022 at one of the leading industrial enterprises of ferrous metallurgy in Russia. The methods of decomposition, analysis and synthesis are used in the research. As a result of the study, the authors presented a classification scheme of the initial data as the basis for developing an intelligent system to support the expert assessment of visually assessed defects and damage to buildings and structures at hazardous production facilities.

Keywords: intellectual support system, decision-making management, technical systems, hazardous production facilities, defects and damage

Acknowledgments. The article was funded by the federal budget subsidy for the development of bachelor's and master's programs of "Artificial intelligence"; for the advanced training of lecturers of higher education organizations in the field of artificial intelligence (agreement no. 075-15-2021-1039 dated 28.09.2021)

For citation: Kornienko V. D., Ezhov G. A., Narkevich M. Yu., Logunova O. S. Classification scheme of initial data for intelligent system of expert assessing visually identified defects and damage. *Cherepovets State University Bulletin*, 2022, no. 6 (111), pp. 53–64 (In Russ.). <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-6-111-4>.

Введение

Рост экономики государства обеспечивается как за счет применения технологий ресурсосбережения¹, так и за счет повышения эффективности функционирования технологических систем и процессов. Значительную долю промышленного сектора экономики России составляют предприятия, эксплуатирующие опасные производственные объекты, от результативности и безопасности функционирования которых зависит состояние национальной экономики и уровень благосостояния населения.

¹ Егорова Д. А., Ермоленко Б. В. Возобновляемая энергетика как инструмент сбережения ценного химического сырья // *Успехи в химии и химической технологии*. 2016. Т. 30. № 9(178). С. 47–49; Веселов А. В., Корниенко В. Д. Новое направление в проектировании и строительстве энергоэффективных малоэтажных жилых домов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2016. № 7–8 (210–211). С. 41–44.

Согласно данным официальной статистики¹ наиболее значительные последствия зафиксированы при авариях, сопровождающихся обрушениями производственных зданий и инженерных сооружений, а также их частей, которые зачастую происходят по причине накопления дефектов и повреждений в элементах и узлах строительных конструкций. При этом около 90 % таких дефектов и повреждений выявляются в ходе периодического визуального обследования специалистами-экспертами, что делает существующую систему зависимой от временных промежутков и человеческого фактора². Таким образом, недостатки существующей экспертной системы оценки предопределяют необходимость разработки и внедрения интеллектуальной системы поддержки при принятии управленческих решений в системе управления опасными производственными объектами в режиме реального времени.

Устранению указанного недостатка способствует создание информационного и программного обеспечения для интеллектуальной поддержки принятия решений о состоянии объектов в самых различных областях:

- оценка состояния земной поверхности по фотографиям³;
- оценка качества изделий и полупродуктов⁴;
- оценка и обнаружение объектов в медицинской области⁵;

¹ Годовые отчеты о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Москва: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). URL: <http://www.gosnadzor.ru/public/> (дата обращения: 30.07.2022).

² Наркевич М. Ю. Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2012. 136 с.

³ Интеллектуальная система принятия решений при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах: определение траектории движения беспилотного летательного аппарата / М. Ю. Наркевич [и др.] // 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 YTCCKK; Белозерский Л. А., Орешкина Л. В. Автоматизация обработки и анализа гистограмм в задачах распознавания космических изображений // Исследование Земли из космоса. 2009. № 3. С. 47–54.

⁴ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660078. Система сбора и анализа информации о качестве продукции 8D. Управление качеством (8D. Управление качеством): № 2019616946; заявл. 17.06.2019; опублик. 30.07.2019; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «АСКОН-Бизнес-решения». Логунова О. С., Мацко И. И., Посохов И. А. Система интеллектуальной поддержки процессов управления производством непрерывнолитой заготовки. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2013. 175 с.

⁵ Lobantsev A. A. et al. Comparative assessment of text-image fusion models for medical diagnostics // Information and Control Systems. 2020. No. 5(108). P. 70–79. DOI 10.31799/1684-8853-2020-5-70-79. Development of automated computer vision methods for cell counting and endometrial gland detection for medical images processing / D. I. Sergeev [et al.] // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. 2020. Vol. 32. No. 3. P. 119–130. DOI 10.15514/ISPRAS-2020-32(3)-11.

– идентификация личности по его лицу и отпечаткам пальцев¹ и др.

И это далеко не полный перечень применения изображений для принятия решений в автоматизированном режиме.

Цель исследования – определение траектории обработки визуальной сложно структурированной информации о техническом состоянии опасных производственных объектов. Частные задачи при оценке качества графической информации визуально оцениваемых дефектов и повреждений зданий и сооружений на опасных производственных объектах видятся в определении их отличительных признаков и классификации.

Основная часть

Основу интеллектуальной системы поддержки при принятии управленческих решений на опасных производственных объектах составляют цифровые изображения, получаемые с помощью беспилотного летательного аппарата². На рис. 1 показаны типовые примеры изображений, которые получены с использованием беспилотных летательных аппаратов.

¹ Alexandrov D. V. Overview of Face Recognition Algorithms for Person Identification // Programnaya Ingeneria. 2022. Vol. 13. No 7. P. 331–343. DOI 10.17587/prin.13.331-343. Козлов Д. А., Карнаухов Д. Д. Исследование процесса распознавания и сравнения отпечатков пальцев // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского университета. 2018. № 2(13). С. 61–71.

² 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.



Рис. 1. Примеры изображений опасных производственных объектов, полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов

Обозначения: а – изображение панелей с разрушающимися швами; б – изображение фрагмента фасада с ржавчиной; в – изображение с кирпичной кладкой; г – изображение фасада с обледенением; д – изображение с типовыми фрагментами; е – изображение объекта с лакокрасочным покрытием; ж – изображения с провалами на кровле; з – изображение дороги с трещинами; и – изображение дороги с посторонними объектами на обочине

В таблице приведен перечень задач, поставленных для исследования на основе приведенных изображений.

Перечень задач и их уточнения для различных видов объектов

№	Основная задача	Подзадача		
		Факт наличия	Оценка доли площади или длины	Подсчет количества разрушений
1	Обнаружение и оценка разрушения соединительных швов между панелями	+	+	–
2	Обнаружение и оценка площади поверхности объекта, покрытого ржавчиной	+	+	–
3	Обнаружение и оценка наклонных трещин на кирпичной кладке (количество, длина)	+	–	+
4	Обнаружение и построения профиля обледенений (сосулек) на крыше объекта	+	–	–
5	Обнаружение отсутствие типовых элементов объектов	+	–	+
6	Обнаружение нарушений лакокрасочных покрытий на поверхности объекта	+	+	–
7	Обнаружение и оценка провалов на кровле объекта	+	+	+
8	Обнаружение разрушений дорожного покрытия	+	–	–
9	Обнаружение на обочине дорог и кровлях крыш посторонних объектов (мусор)	+	–	–

Разработанная схема классификации исходных данных основана на решении ряда задач в области обеспечения промышленной безопасности с использованием изображений элементов опасных производственных объектов: зданий и сооружений одного из ведущих российских промышленных предприятий черной металлургии (рис. 2).

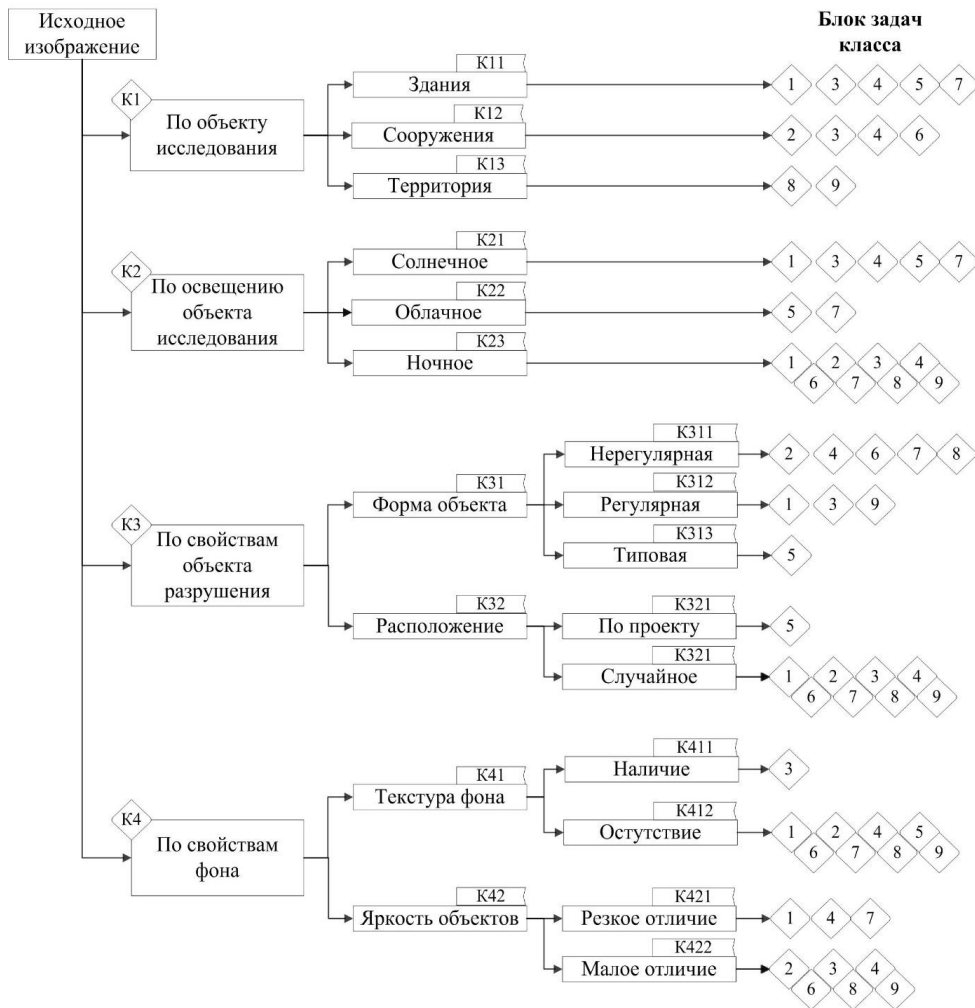


Рис. 2. Предложенная схема классификации исходных данных

Если к свойствам класса отнести траекторию обработки и сегментации изображения, то при выявлении общих задач для каждого класса формируются точки соприкосновения (пересечения) траекторий. На рис. 3 показаны диаграммы Эйлера-Венна при исследовании пересечения классов по выбранным задачам. Диаграмма Эйлера-Венна – наглядное средство для работы с множествами. На этих диаграммах изображаются все возможные варианты пересечения множеств.

Модели общности классов по объединению и пересечению:

– модель по пересечению классов:

$$K_1 = \begin{cases} K_{11} \cap K_{12} = \{Z_2, Z_6\}; \\ K_{11} \cap K_{13} = \emptyset; \\ K_{12} \cap K_{13} = \emptyset; \end{cases} \quad K_2 = \begin{cases} K_{21} \cap K_{22} = \{Z_5\}; \\ K_{21} \cap K_{33} = \{Z_1\}; \\ K_{22} \cap K_{23} = \{Z_3, Z_4\}; \\ K_{21} \cap K_{22} \cap K_{23} = \{Z_7\}; \end{cases}$$

$$K_{31} = \begin{cases} K_{311} \cap K_{312} = \emptyset; \\ K_{312} \cap K_{313} = \emptyset; \\ K_{311} \cap K_{313} = \emptyset; \\ K_{311} \cap K_{312} \cap K_{313} = \emptyset; \end{cases}$$

$$K_{32} = K_{321} \cap K_{322} = \emptyset;$$

$$K_{41} = K_{411} \cap K_{412} = \emptyset; \quad K_{42} = K_{421} \cap K_{422} = \{Z_4\}.$$

– модель по объединению классов:

$$K = K_1(K_{11}; K_{12}; K_{13}) \cup K_2(K_{21}; K_{22}; K_{23}) \cup K_3(K_{31}; K_{32}) \cup K_4(K_{41}; K_{42}) = \\ = \{Z_1; Z_2; Z_3; Z_4; Z_5; Z_6; Z_7; Z_8; Z_9\},$$

где Z_i – одна из решаемых задач под номером i ; K_{jlm} – номер класса/подкласса по диаграмме, приведенной на рис. 3.

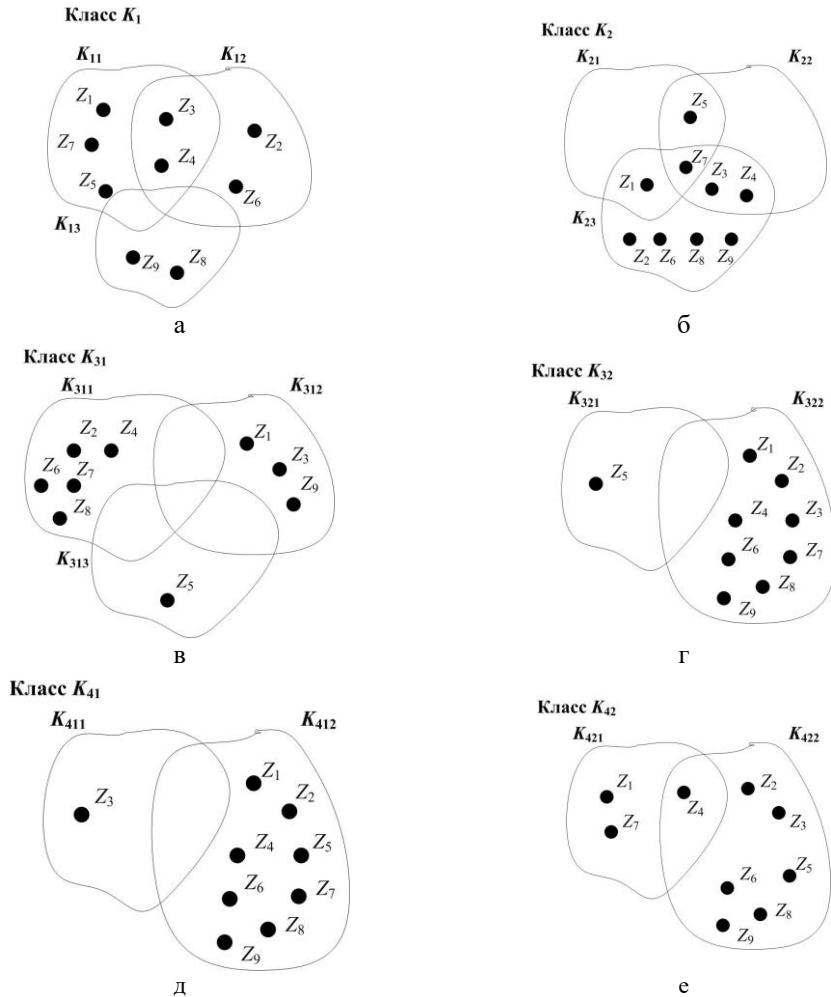


Рис. 3. Диаграммы Эйлера-Венна пересечения классов задач по результатам визуального изучения исходных данных

Предложенная схема классификации позволяет переносить на каждый конкретный объект свойства данного класса и предусматривает траекторию обработки изображения при решении каждой из рассматриваемых типов задач.

Заключение

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты:

- 1) сформирован набор из 1000 изображений опасных производственных объектов согласно перечню задач;
- 2) сформировано четыре основных классификационных признака, определяющих качество собранного информационного обеспечения;

3) выполнено сопоставление классификационных признаков с перечнем решаемых задач;

4) построены диаграммы Эйлера-Венна пересечения классов задач по результатам визуального изучения исходных данных для установления общности (точек возможного пересечения) траекторий по обработке алгоритмов и подготовки их к использованию в системе интеллектуальной поддержки при оценке технического состояния опасных производственных объектов;

5) построены информационные модели пересечения и объединения классов изображений, определяющие переходы при обработке визуальной информации.

Разработанный и апробированный алгоритм можно использовать и в других аналогичных исследованиях. Данный проект будет продолжен с целью совершенствования качества данных о визуально исследуемых объектах.

Список источников

Белозерский Л. А., Орешкина Л. В. Автоматизация обработки и анализа гистограмм в задачах распознавания космических изображений // Исследование Земли из космоса. 2009. № 3. С. 47–54.

Веселов А. В., Корниенко В. Д. Новое направление в проектировании и строительстве энергоэффективных малоэтажных жилых домов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2016. № 7–8 (210-211). С. 41–44.

Годовые отчеты о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Москва: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). URL: <http://www.gosnadzor.ru/public/> (дата обращения: 30.07.2022).

Егорова Д. А., Ермоленко Б. В. Возобновляемая энергетика как инструмент сбережения ценного химического сырья // Успехи в химии и химической технологии. 2016. Т. 30. № 9(178). С. 47–49.

Козлов Д. А., Карнаухов Д. Д. Исследование процесса распознавания и сравнения отпечатков пальцев // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского университета. 2018. № 2(13). С. 61–71.

Логунова О. С., Мацко И. И., Посохов И. А. Система интеллектуальной поддержки процессов управления производством непрерывнолитой заготовки. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2013. 175 с.

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.

Наркевич М. Ю. Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2012. 136 с.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660078. Система сбора и анализа информации о качестве продукции 8D. Управление качеством (8D. Управление качеством): № 2019616946: заявл. 17.06.2019; опубл. 30.07.2019; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «АСКОН-Бизнес-решения».

Alexandrov D. V. Overview of Face Recognition Algorithms for Person Identification // Programnaya Ingeneria. 2022. Vol. 13. No 7. P. 331–343. DOI 10.17587/prin.13.331-343.

Lobantsev A. A. et al. Comparative assessment of text-image fusion models for medical diagnostics // *Information and Control Systems*. 2020. No. 5(108). P. 70–79. DOI 10.31799/1684-8853-2020-5-70-79.

Sergeev D. I. et al. Development of automated computer vision methods for cell counting and endometrial gland detection for medical images processing // *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS*. 2020. Vol. 32. No. 3. P. 119–130. DOI 10.15514/ISPRAS-2020-32(3)-11.

References

Belozerskii L. A., Oreshkina L. V. Avtomatizatsiia obrabotki i analiza gistogramm v zadachakh raspoznavaniia kosmicheskikh izobrazhenii [Automation of processing and analysis of histograms in problems of recognition of space images]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth Research from Space], 2009, no. 3, pp. 47–54.

Veselov A. V., Kornienko V. D. Novoe napravlenie v proektirovanii i stroitel'stve energoeffektivnykh maloetazhnykh zhilykh domov [New direction in the design and construction of energy-efficient low-rise residential buildings]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction materials, the equipment, technologies of XXI century], 2016, no. 7–8 (210-211), pp. 41–44.

Godovye otchety o deiatel'nosti federal'noi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Annual reports on the activities of the federal service for environmental, technological and nuclear supervision]. Moscow: Federal'naiia sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru (Rostekhnadzor) [The Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. Available at: <http://www.gosnadzor.ru/public/> (accessed: 30.07.2022).

Egorova D. A., Ermolenko B. V. Vozobnovliaemaia energetika kak instrument sberezheniia tsenno go khimicheskogo syr'ia [Renewable energy as a tool for saving valuable chemical raw materials]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], 2016, Vol. 30, no. 9 (178), pp. 47–49.

Kozlov D. A., Karnaukhov D. D. Issledovanie protsessa raspoznavaniia i sravneniia otpechatkov pal'tsev [Research of the recognition process and comparison of fingerprints]. *Vestnik molodykh uchennykh i spetsialistov Samarskogo universiteta* [Proceedings of young scientists and specialists of Samara University], 2018, no. 2(13), pp. 61–71.

Logunova O. S., Matsko I. I., Posokhov I. A. *Sistema intellektual'noi podderzhki protsessov upravleniia proizvodstvom nepreryvnolitoi zagotovki* [The system of intellectual support for the production control processes of continuously cast billet]. Magnitogorsk: Magnitogorskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. G. I. Nosova, 2013. 175 p.

Narkevich M. Iu. i dr. Intellektual'naiia sistema priniatiia reshenii pri otsenke kachestva zdaniia i sooruzhenii na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh: opredelenie traektorii dvizheniia 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.

Narkevich M. Iu. *Osnovy metrologii, standartizatsii, sertifikatsii i kontroliia kachestva* [Fundamentals of metrology, standardization, certification and quality control]. Magnitogorsk: Magnitogorskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. G. I. Nosova, 2012. 136 p.

Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM № 2019660078 [Certificate of state registration of the computer program no. 2019660078]. *Sistema sbora i analiza informatsii o kachestve produktii 8D. Upravlenie kachestvom (8D. Upravlenie kachestvom): № 2019616946: zaiavl. 17.06.2019: opubl. 30.07.2019; zaiavitel' Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'iu «ASKON-Biznes-resheniia»* [The system for collecting and analyzing information on the quality of products 8D. Quality Management (8D. Quality Management): no. 2019616946: Appl. 17.06.2019: publ. 30.07.2019; applicant: OOO «ASKON-Biznes-resheniia» (ASCON-Business Solutions)].

Alexandrov D. V. Overview of face recognition algorithms for person identification. *Programnaya Ingeneria*, 2022, Vol. 13, no. 7, pp. 331–343. DOI 10.17587/prin.13.331-343.

Лобантсев А. А., Гусарова Н. Ф., Ватиан А. С. [et al.] Comparative assessment of text-image fusion models for medical diagnostics. *Information and Control Systems*, 2020, no. 5(108), pp. 70–79. DOI 10.31799/1684-8853-2020-5-70-79.

Sergeev D. I., Andreev A. E., Drobintseva A. O. [et al.] Development of automated computer vision methods for cell counting and endometrial gland detection for medical images processing. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS*, 2020, Vol. 32, no. 3, pp. 119–130. DOI 10.15514/ISPRAS-2020-32(3)-11.

Сведения об авторах

Корниенко Владимир Дмитриевич – аспирант; <https://orcid.org/0000-0002-0637-5765>; volodya.Kornienko2319@yandex.ru, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (д. 38, пр-т Ленина, 455000 Магнитогорск, Россия); **Vladimir D. Kornienko** – Postgraduate student; <https://orcid.org/0000-0002-0637-5765>; volodya.Kornienko2319@yandex.ru, Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, Lenin pr., 455000 Magnitogorsk, Russia).

Ежов Геннадий Андреевич – студент; Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (д. 38, пр-т Ленина, 455000 Магнитогорск, Россия); **Gennady A. Ezhov** – Student; <https://orcid.org/0000-0001-6313-5955>, kny1az.gg2@gmail.com; Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, Lenin pr., 455000 Magnitogorsk, Russia).

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, Lenin pr., 455000 Magnitogorsk, Russia).

Оксана Сергеевна Логунова – доктор технических наук, профессор; директор института строительства архитектуры и искусства, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования; <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; Director of the Institute for the Construction of Architecture and Art, Head of the Department of Computer Science and Programming; <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>, logunova66@mail.ru, Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, Lenin pr., 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 01.10.2022; одобрена после рецензирования 20.10.2022; принята к публикации 14.11.2022.

The article was submitted 01.10.2022; Approved after reviewing 20.10.2022; Accepted for publication 14.11.2022.