

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW PAPER

УДК 69.05

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177

Методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом влияния экологических и других видов рисков

Валерий Иванович Теличенко, Азарий Абрамович Лapidус,
Михаил Юрьевич Слесарев, Мозаффари Мохаммад Али

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлены методы экологической оптимизации воздействий, в том числе: графический метод создания области допустимых воздействий путем решения задач линейного программирования; модель идентификации опасных воздействий симплексным методом; метод формирования устойчивых систем управления экологической безопасностью строительства.

Материалы и методы. Методология экологического менеджмента и риск-менеджмента базируется в основном на международных стандартах менеджмента (Environmental management & Risk management). На простых численных примерах проиллюстрированы возможности математического моделирования нагрузок на окружающую среду на этапах жизненного цикла строительных объектов. Рассмотрены линейные уравнения действия с ограничениями и с двумя переменными факторами влияния. Если перейти к линейным зависимостям с тремя переменными факторами влияния, то они будут описывать плоскость в трехмерном пространстве воздействия; система линейных ограничений представляет собой многогранник как область допустимых воздействий в трехмерном пространстве воздействия.

Результаты. Исследования, проведенные графическим методом построения области допустимых воздействий при решении экологических задач линейного программирования, показали его эффективность и наглядность в сравнении с результатами, полученными расчетным путем. Наиболее эффективной является разработка систем управления экологической безопасностью строительства, связанных с источниками отходов, а также управления составом и обработкой потоков отходов с целью содействия предотвращению образования отходов, а также рекуперации и переработки отходов строительной отрасли.

Выводы. Важным направлением развития методов является повышение эффективности использования ресурсов и снижение затрат на строительство и эксплуатацию объектов. Для этого будут применяться новые технологии и материалы, а также оптимизироваться процессы строительства и эксплуатации объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: углеродное воздействие, экологический менеджмент, экологический риск, риск-менеджмент, система экологического менеджмента, экологический аспект, чрезвычайная ситуация, объект капитального строительства

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Теличенко В.И., Лapidус А.А., Слесарев М.Ю., Али М.М. Методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом влияния экологических и других видов рисков // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 166–177. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177

Автор, ответственный за переписку: Михаил Юрьевич Слесарев, Slesarev@mgsu.ru.

Methods for managing the life cycle of capital construction objects considering the impact of environmental and other types of risks

Valeriy I. Telichenko, Azariy A. Lapidus, Mikhail Yu. Slesarev,
Mozaffari Mohammad Ali

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The methods of environmental impact optimization are presented, including: a graphical method for creating an area of acceptable impacts by solving linear programming problems; a model for the identification of hazardous impacts by the simplex method; a method of forming sustainable management systems of ecological safety of construction.

Materials and methods. The methodology of environmental and risk management is based mainly on international management standards (Environmental management & Risk management). Using simple numerical examples, the possibilities of mathematical modelling of environmental loads at the stages of the life cycle of construction facilities are illustrated. The paper considers linear equations of action with constraints and with two variable factors of influence. If we pass to linear dependencies with three variable factors of influence, then they will describe a plane in the three-dimensional space of influence. The system of linear constraints represents a polyhedron as the area of permissible impacts in the three-dimensional impact space.

Results. Studies conducted by the graphical method of constructing the area of permissible impacts when solving environmental problems of linear programming showed its effectiveness and clarity, compared to the results obtained by computational method. The most effective is the development of environmental safety management systems for construction related to waste sources, as well as the management of the composition and treatment of waste streams, in order to promote the prevention of waste generation, as well as the recovery and recycling of waste from the construction industry.

Conclusions. An important area of development of methods is to increase the efficiency of resource use and reduce the cost of construction and operation of facilities. For this purpose, new technologies and materials will be used, as well as the processes of construction and operation of facilities will be optimized.

KEYWORDS: carbon impact, environmental management, environmental risk, risk management, environmental management system, environmental aspect, emergency situation, capital construction facility

FOR CITATION: Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu., Ali M.M. Methods for managing the life cycle of capital construction objects considering the impact of environmental and other types of risks. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):166-177. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177

Corresponding author: Mikhail Yu. Slesarev, Slesarev@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Целью исследований по научным специальностям ВАК 2.10.2 «Экологическая безопасность (технические науки)» и 2.1.14. «Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)» является проведение экологической оценки углеродного и азотного следа техническими объектами в условиях страны. Могут ставиться задачи:

1. Формирование баз данных показателей объектов капитального строительства (ОКС) с географической привязкой к экосистемам.
2. Типизация ОКС по уровню воздействия выбросов на окружающую среду.
3. Экологическая оценка углеродного следа исследуемых ОКС.
4. Экологическая оценка азотного следа ОКС.
5. Экологическая оценка углеродного и азотного следа ОКС в условиях разных стран в особо охраняемых природных территориях.
6. Оценка соответствия ОКС «зеленым стандартам» по выбросам парниковых газов.

Цель настоящего исследования — обзор методов управления жизненным циклом (ЖЦ) ОКС с учетом влияния экологических и других видов рисков.

Главный вопрос, рассматриваемый в статье, как будут развиваться методы с учетом влияния экологических и других видов рисков.

Задачи исследования: 1) обзор международных и отечественных нормативных документов о методах; 2) анализ инновационных методов с учетом влияния экологических и других видов рисков в диссертациях по данному направлению.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методология экологического менеджмента и риск-менеджмента базируется в основном на международных стандартах менеджмента:

1. Environmental management:

- ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use. (ИСО 14001:2015. Системы экологического менеджмента — Требования и руководство по применению). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14004. Environmental management systems — General guidelines on implementation. (ИСО 14004. Системы экологического менеджмента. Общие руководящие указания по внедрению). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14005. Environmental management systems — Guidelines for the phased implementation of an environmental management system, including the use of environmental performance evaluation. (ИСО 14005. Системы экологического менеджмента — Руководящие принципы поэтапного внедрения системы экологического менеджмента, включая использование оценки результативности экологической деятельности). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14006. Environmental management systems. Guidelines for incorporating ecodesign. (ИСО 14006. Системы экологического менеджмента. Рекомендации по внедрению экодизайна). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 14020. Environmental labels and declarations. General principle. (ИСО 14020. Экологические этикетки и декларации. Общий принцип). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14021. Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling). (ИСО 14021. Экологические этикетки и декларации — самопровозглашенные экологические требования (экологическая маркировка II типа)). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14024. Environmental labels and declarations — Type I environmental labelling — Principles and procedures. (ИСО 14024. Экологические этикетки и декларации — Экологическая маркировка типа I — Принципы и процедуры). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14025. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures. (ИСО 14025. Экологические этикетки и декларации — Экологические декларации типа III — Принципы и процедуры). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14031. Environmental management. Environmental performance evaluation. Guidelines. (ИСО 14031. Экологический менеджмент. Оценка экологической эффективности. Руководство). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14033. Environmental management. Quantitative environmental information. Guidelines and examples. (ИСО 14033. Экологический менеджмент. Количественные экологические данные. Руководство и примеры). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

2. Risk management:

• ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. (ИСО 14040. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14044. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. (ИСО 14044. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14045. Environmental management. Eco-efficiency assessment of product systems. Principles, requirements and guidelines. (ИСО 14045. Экологический менеджмент. Оценка экологической эффективности продуктовых систем. Принципы, требования и руководящие указания). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14046. Environment management. Water footprint. Principles, requirements and guidelines. (ИСО 14046. Экологический менеджмент. Водный след. Принципы, требования и руководящие указания). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO/TR14062. Environmental management. Integrating environmental aspects into product design and development. (ИСО/TR 14062. Экологический менеджмент. Интегрирование экологических аспек-

тов в дизайн и разработку продукции). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14063. Environmental management. Environmental communication. Guidelines and examples. (ИСО 14063. Экологический менеджмент. Обмен экологической информацией. Рекомендации и примеры). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO/TS 14067. Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and communication. (ИСО/ТС 14067. Парниковые газы. Углеродный след продукции. Требования и руководящие принципы количественной оценки и коммуникации). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 19011. Guidelines for auditing management systems. (ИСО 19011. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 26000. Guidance on social responsibility. (ИСО 26000. Руководство по социальной ответственности). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 31000. Risk management. Principles and guidelines. (ИСО 31000. Управление рисками. Принципы и руководящие указания). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 50001. Energy management systems. Requirements with guidance for use. (ИСО 50001. Системы энергоменеджмента. Требования с руководством по использованию). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO Guide 73:2009. Risk management — Vocabulary — Guidelines for use in standards. (ИСО 73:2009. Менеджмент риска — Термины и определения). URL: <https://www.iso.org/home.html>.

Методы управления с учетом влияния экологических и других видов рисков могут базироваться на стандартах экологического менеджмента и риск-менеджмента, активно внедряемых в нашей стране более 25 лет. В перечень этих стандартов входят национальные стандарты России ГОСТ Р ИСО:

• ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению;

• ГОСТ Р ИСО 14002–2022. Системы экологического менеджмента. Руководство по применению ИСО 14001 для рассмотрения экологических аспектов и условий в рамках экологической тематической области. Часть 1. Общие положения;

• ГОСТ Р ИСО 14004–2017. Системы экологического менеджмента. Общие руководящие указания по внедрению;

• ГОСТ Р ИСО 14005–2019. Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по применению гибкого подхода поэтапного внедрения системы экологического менеджмента;

• ГОСТ Р ИСО 14006–2013. Системы экологического менеджмента. Руководящие указания

по включению экологических норм при проектировании;

- ГОСТ Р ИСО 14007–2020. Экологический менеджмент. Руководящие указания по определению экологических затрат и выгод;
- ГОСТ Р ИСО 14008–2019. Денежная оценка воздействия на окружающую среду и соответствующих экологических аспектов;
- ГОСТ Р ИСО 14009–2021. Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по учету движения материалов в процессах проектирования и разработки;
- ГОСТ Р ИСО 14010–98. Руководящие указания по экологическому аудиту. Основные принципы.

И другие стандарты экологического менеджмента и риск-менеджмента на всех стадиях, включая изыскания, проектирование, строительство, эксплуатацию, реновацию и утилизацию объекта. Перечисленные стандарты касаются нормирования следующих процедур управления на ЖЦ: «Разработка и внедрение систем экологического менеджмента», «Требования и руководство по применению систем экологического менеджмента», «Общие руководящие указания по внедрению систем экологического менеджмента», «Руководящие указания по применению гибкого подхода поэтапного внедрения системы экологического менеджмента», «Руководящие указания по включению экологических норм при проектировании», «Руководящие указания по учету движения материалов в процессах проектирования и разработки», «Руководящие указания по экологическому аудиту. Основные принципы» и другие нормы и правила [1].

Методы экологической оптимизации воздействий включают в том числе: графический метод создания области допустимых воздействий путем решения задач линейного программирования [2]; модель идентификации опасных воздействий симплексным методом [2]; метод формирования устойчивых систем управления экологической безопасностью строительства [2–5]. На простых численных примерах проиллюстрированы возможности математического моделирования нагрузок на окружающую среду на этапах ЖЦ строительных объектов. В указанных работах рассмотрены линейные уравнения действия с ограничениями и с двумя переменными факторами влияния. При переходе к линейным зависимостям с тремя переменными факторами влияния они будут описывать плоскость в трехмерном пространстве воздействия; система линейных ограничений представляет собой многогранник как область допустимых воздействий в трехмерном пространстве воздействия.

Наиболее эффективной является разработка систем управления экологической безопасностью ОКС, связанных с источниками, определениями и категориями отходов, а также составом и обработкой потоков отходов, с целью содействия предот-

вращению образования отходов, созданию и внедрению механизмов предотвращения образования и минимизации отходов, а также рекуперации и вторичной переработки системы утилизации отходов строительной промышленности.

Гипотеза обеспечиваемого инновациями экологически безопасного развития ОКС заключается в интерпретации изменения параметров окружающей среды под воздействием объекта в форме однородного дифференциального уравнения, описывающего траекторию «движения» системы «объект – среда» в многопараметрическом информационном пространстве среды жизнедеятельности [2].

В соответствии со Стратегией социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [6] в диссертациях 2.1.14. «Управление жизненным циклом объектов строительства» и 2.10.2. «Экологическая безопасность» решаются различные исследовательские задачи, связанные с использованием моделирования и искусственного интеллекта.

Т.В. Майорова в кандидатской диссертации «Методический инструментальный оценки эффективности экологического менеджмента в условиях реализации концепции низкоуглеродного развития» [7] разработала соответствующую методику.

Г.Е. Артамонов в кандидатской диссертации «Экологическая оценка углеродного и азотного следа по выбросам газов объектов тепловой энергетики в условиях Российской Федерации» [8] применил иерархический кластерный анализ.

Автор А.Г. Терешин в докторской диссертации исследовал «Глобальные и региональные аспекты взаимосвязей в системе “энергетический комплекс — окружающая среда”» [9].

В кандидатской диссертации «Информационное моделирование жизненного цикла объекта капитального строительства» [10] А.В. Мищенко разработал информационную модель в строительной отрасли с применением информационной модели.

Елшами Мохамед Мостафа Махмуд в кандидатской диссертации «Управление жизненным циклом автомобильных дорог на этапе эксплуатации на основе моделей искусственных нейронных сетей» [11] разработал и на основе полученных экспериментальных данных провел обучение разработанных моделей искусственных нейронных сетей [11]. Выполнено обучение моделей искусственных нейронных сетей, разработанных с использованием программ: Neural Tools и MATLAB для прогнозирования эксплуатационных характеристик и интегрального уровня сохранности автомобильной дороги [11].

В кандидатской диссертации [12] А.О. Рыбакова разработала модель классификации модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ).

А.А. Шашков в кандидатской диссертации «Формирование организационной структуры про-

екта при крупноблочном возведении АЭС» [13] предложил диаграмму распределения трудовых затрат на возведение ЖБК реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод формирования устойчивых систем управления на основе решений оптимизирующей экологической задачи показал теоретическую возможность формирования устойчивых систем строительства, однако требуется экспериментальное подтверждение достоверности этого вывода.

Информационное моделирование в строительной отрасли в условиях стохастических воздействий изменения климата, дефицита пресной воды, нехватки рабочей силы и санкционного разрыва многих логистических связей — это сложная и многогранная проблема, которая требует комплексного подхода и интеграции многих аспектов [14]. Одним из ключевых аспектов информационного моделирования ЖЦ цикла объекта является учет стохастических воздействий изменения климата [15]. Это может включать моделирование изменений температуры, осадков, ветра и других факторов, которые могут повлиять на строительство и эксплуатацию объекта. Другой важный аспект — учет дефицита пресной воды [16]. В условиях ограниченного доступа к водным ресурсам необходимо учитывать потребности объекта в воде и принимать меры по ее эффективному использованию и утилизации. Также важным аспектом служит учет нехватки рабочей силы. При ограниченном доступе к квалифицированным специалистам следует оптимизировать процессы строительства и эксплуатации объекта, а также использовать новые технологии и материалы, которые могут сократить потребность в рабочей силе [17]. Наконец, санкционный разрыв многих логистических связей может привести к проблемам с поставками материалов и оборудования. Поэтому важно учитывать этот фактор при планировании и управлении строительством объекта [18]. Все эти аспекты в условиях стохастических воздействий изменения климата, дефицита пресной воды, нехватки рабочей силы и санкционного разрыва многих логистических связей являются сложными и многогранными проблемами, которые требуют комплексного подхода и интеграции многих аспектов.

Один из ключевых аспектов оптимизации строительных проектов — учет экологических факторов [14]. Экологическая безопасность на ЖЦ строительных объектов определяется исходя из факторов, таких как выбор материалов, энергоэффективность здания, использование возобновляемых источников энергии, минимизация отходов и выбросов вредных веществ [15]. Для определения экологической безопасности на ЖЦ строительных объектов применяются различные методы и инструменты, такие

как экологическая оценка проектов, системы управления качеством и экологическим менеджментом, анализ рисков и т.д. [16]. Важным аспектом определения экологической безопасности на ЖЦ строительных объектов является учет изменений климата и других экологических факторов. Это позволяет принимать меры по адаптации объектов к изменяющимся условиям. Оптимизация строительных проектов и определение экологической безопасности на ЖЦ строительных объектов — сложные проблемы, которые требуют комплексного подхода и интеграции многих аспектов [17, 18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из анализа следует, что одно из самых перспективных направлений в развитии исследований по научным специальностям ВАК 2.10.2 «Экологическая безопасность (технические науки)» и 2.1.14. «Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)» — разработка научно обоснованных организационно-технических решений, обеспечивающих эффективное управление ЖЦ для минимизации рисков менеджмента.

Сложность задачи оптимизации строительных проектов определяется их спецификой. Высокая ресурсоемкость, подвижность используемых ресурсов (персонал, техника и др.) значительно усложняют задачу оптимизации и требуют учета факторов пространственного и временного моделирования [18].

В рассмотренных исследованиях представлены методы экологической оптимизации воздействий: графический метод создания области допустимых воздействий путем решения задач линейного программирования; модель идентификации опасных воздействий симплексным методом; метод формирования устойчивых систем управления экологической безопасностью строительства. На численных примерах проиллюстрированы возможности математического моделирования нагрузок на окружающую среду на этапах ЖЦ строительных объектов [19].

Рассмотрены линейные уравнения действия с ограничениями и с двумя переменными факторами влияния. Если перейти к линейным зависимостям с тремя переменными факторами влияния, то они будут описывать плоскость в трехмерном пространстве воздействия; система линейных ограничений представляет собой многогранник как область допустимых воздействий в трехмерном пространстве воздействия, показана его эффективность и наглядность в сравнении с результатами, полученными расчетным путем [20].

Наиболее эффективной является разработка систем управления экологической безопасностью строительства, связанных с источниками отходов, а также управления составом и обработкой потоков отходов с целью предотвращения образования отходов строительной отрасли [21].

Методы влияния экологических и других видов рисков будут продолжать развиваться в будущем. В настоящее время существуют различные подходы к управлению ЖЦ объектов, включая методы управления проектами, системы управления качеством и экологическим менеджментом [22, 23]. Одним из ключевых направлений развития методов является интеграция экологических аспектов. Это позволит минимизировать воздействие на окружающую среду и снизить риски возникновения экологических катастроф. Кроме того, будут разрабатываться новые методы управления рисками, которые позволят более точно оцени-

вать возможные угрозы и принимать меры по их предотвращению [24]. Например, использование технологий искусственного интеллекта и анализа больших данных может помочь в определении наиболее вероятных рисков и выборе оптимальных стратегий управления ими [24]. Также важным направлением развития методов служит повышение эффективности использования ресурсов и снижение затрат на строительство и эксплуатацию объектов. Для этого будут применяться новые технологии и материалы, а также оптимизироваться процессы строительства и эксплуатации объектов [22, 23].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Slesarev M.Y., Telichenko V.I.* Prospects for the development of the regulatory framework of information systems for “green” standardization // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2020. Vol. 16. Issue 4. Pp. 92–102. DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-4-92-102
2. *Слесарев М.Ю.* Формирование систем экологической безопасности строительства. М. : МГСУ, 2012. 350 с.
3. *Slesarev M., Pankratov E., Fedorov V.* Mathematical model of innovative sustainability “green” construction object // *MATEC Web of Conferences*. 2016. Vol. 86. P. 01022. DOI: 10.1051/mateconf/20168601022
4. *Слесарев М.Ю.* Стохастическое прогнозирование динамики экологических процессов мегаполисов // *Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании* : сб. мат. Междунар. науч. конф. 2015. С. 270–272. EDN TSSLGR.
5. *Slesarev M.* Environmental graphic method for creating area of permissible impact // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. P. 022055. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022055
6. *Суворова М.О.* Управление жизненным циклом объектов капитального строительства для достижения углеродной нейтральности строительного производства : дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2023. 165 с. EDN AVWPSS.
7. *Майорова Т.В.* Методический инструмент оценки эффективности экологического менеджмента в условиях реализации концепции низкоуглеродного развития : дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2017. 171 с. EDN DYUPGZ.
8. *Артамонов Г.Е.* Экологическая оценка углеродного и азотного следа по выбросам газов объектов тепловой энергетики в условиях Российской Федерации : дис. ... канд. наук. М., 2023. 163 с.
9. *Терешин А.Г.* Глобальные и региональные аспекты взаимосвязей в системе «энергетический комплекс — окружающая среда» : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2010. 306 с.
10. *Мищенко А.В.* Информационное моделирование жизненного цикла объекта капитального строительства : дис. ... канд. наук. Воронеж, 2023. 162 с. EDN HGAUQD.
11. *Елшамы Мохамед Мостафа Махмуд.* Управление жизненным циклом автомобильных дорог на этапе эксплуатации на основе моделей искусственных нейронных сетей : дис. ... канд. наук. Ростов н/Д, 2022. 150 с.
12. *Рыбакова А.О.* Использование информационных моделей модульных элементов на этапе архитектурно-строительного проектирования объектов капитального строительства : дис. ... канд. наук. М., 2023. 201 с. EDN DHJXLQ.
13. *Шашков А.А.* Формирование организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС : дис. ... канд. наук. М., 2023. 197 с.
14. *Zaehle S., Friend A.D., Friedlingstein P., Dentener F., Peylin P., Schulz M.* Carbon and nitrogen cycle dynamics in the O-CN land surface model: 2. Role of the nitrogen cycle in the historical terrestrial carbon balance // *Global Biogeochemical Cycles*. 2010. Vol. 24. Issue 1. DOI: 10.1029/2009gb003522
15. *Gregory J.M., Jones C.D., Cadule P., Friedlingstein P.* Quantifying carbon cycle feedbacks // *Journal of Climate*. 2009. Vol. 22. Issue 19. Pp. 5232–5250. DOI: 10.1175/2009jcli2949.1
16. *Feddema J., Oleson K., Bonan G., Mearns L., Washington W., Meehl G. et al.* A comparison of a GCM response to historical anthropogenic land cover change and model sensitivity to uncertainty in present-day land cover representations // *Climate Dynamics*. 2009. Vol. 25. Issue 6. Pp. 581–609. DOI: 10.1007/s00382-005-0038-z
17. *Gerber S., Hedin L.O., Oppenheimer M., Pacala S.W., Shevliakova E.* Nitrogen cycling and feedbacks in a global dynamic land model // *Glob-*

al Biogeochemical Cycles. 2010. Vol. 24. Issue 1. DOI: 10.1029/2008gb003336

18. Yang X., Wittig V., Jain A.K., Post W. Integration of nitrogen cycle dynamics into the Integrated Science Assessment Model for the study of terrestrial ecosystem responses to global change // Global Biogeochemical Cycles. 2009. Vol. 23. Issue 4. DOI: 10.1029/2009gb003474

19. Yokohata T., Webb M.J., Collins M., Williams K.D., Yoshimori M., Hargreaves J.C. et al. Structural similarities and-differences in climate responses to CO₂ increase between two perturbed physics ensembles // Journal of Climate. 2010. Vol. 23. Issue 6. Pp. 1392–1410. DOI: 10.1175/2009jcli2917.1

20. Yurova A.Yu., Volodin E.M., Agren G.I., Chertov O.G., Komarov A.S. Effects of variations in simulated changes in soil carbon contents and dynamics on future climate projections // Global Change Biology. 2010. Vol. 16. Issue 2. Pp. 823–835. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01992.x

21. Bobrovnik A.B., Slesarev M.Yu., Shershneva M.V. Thermodynamic Foundations for the Use of

Gypsum and Magnesia Stone for the Neutralization of Heavy Metal Ions // Materials Science Forum. 2023. Vol. 1088. Pp. 79–87. DOI: 10.4028/p-e5cx04

22. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю. Искусственный интеллект в технологии создания инноваций // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : тез. докл. VIII-го Междунар. симпозиума. 2023. С. 104–106. EDN MWSNSP.

23. Теличенко В.И., Лapidус А.А., Слесарев М.Ю. Анализ и синтез образов экологически ориентированных инновационных технологий строительного производства // Вестник МГСУ. 2023. № 18 (8). С. 1298–1305. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305. EDN RNDOCL.

24. Теличенко В.И., Лapidус А.А., Слесарев М.Ю. Риски интеграции технологий искусственного интеллекта в «зеленые» стандарты // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 8. С. 102–108. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.08.102-108. EDN ARDRBK.

Поступила в редакцию 25 декабря 2023 г.

Принята в доработанном виде 14 января 2024 г.

Одобрена для публикации 18 февраля 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Валерий Иванович Теличенко — доктор технических наук, профессор, президент, заслуженный деятель науки Российской Федерации; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5618-7033, President@mgsu.ru;

Азарий Абрамович Лapidус — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016, ORCID: 0000-0001-7846-5770; Lapidusaa@mgsu.ru;

Михаил Юрьевич Слесарев — доктор технических наук, профессор кафедры технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 6464-2922, Scopus: 657608631, ResearcherID: B-3423-2016, ORCID: 0000-0003-4528-2817; Slesarev@mgsu.ru;

Мозаффару Мохаммад Али — аспирант кафедры технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; m.mozaffari2021@gmail.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The purpose of research on scientific specialties НАС 2.10.2 “Environmental safety (technical sciences)” and 2.1.14. “Management of life cycle of construction objects (technical sciences)” is to carry out environmental assessment of carbon and nitrogen footprint by technical objects in the conditions of the country. Objectives may include:

1. Formation of databases of indicators of capital construction facilities (CCF) with geographical reference to ecosystems.

2. Typing of CCF by the level of environmental impact of emissions.

3. Ecological assessment of the carbon footprint of the investigated CCF.

4. Ecological assessment of the nitrogen footprint of CCF.

5. Ecological assessment of carbon and nitrogen footprint of CCF under different country conditions in specially protected areas.

6. Assessment of the CCF compliance with “green standards” on greenhouse gas emissions.

The purpose of this study is to review the methods of life cycle management (LC) of CCF taking into account the impact of environmental and other types of risks.

The main question addressed in the paper is how methods will evolve to take into account the impact of environmental and other types of risks.

Research objectives: 1) review of international and domestic regulatory documents on methods; 2) analysis of innovative methods taking into account the impact of environmental and other types of risks in dissertations in this area.

MATERIALS AND METHODS

Environmental management and risk management methodology is mainly based on international management standards:

1. Environmental management:

• ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use. (ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements and guidance for use). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14004. Environmental management systems — General guidelines on implementation. (ISO 14004. Environmental management systems. General guidelines on implementation). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14005. Environmental management systems — Guidelines for the phased implementation of an environmental management system, including the use of environmental performance evaluation. (ISO 14005. Environmental management systems — Guidelines for the phased implementation of an environmental management system, including the use of environmental performance evaluation). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14006. Environmental management systems. Guidelines for incorporating ecodesign. (ISO 14006. Environmental management systems. Guidelines for incorporating eco-design). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14020. Environmental labels and declarations. General principle. (ISO 14020. Environmental labels and declarations. General principle). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14021. Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling). (ISO 14021. Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14024. Environmental labels and declarations — Type I environmental labeling — Principles and procedures. (ISO 14024. Environmental labels and declarations — Type I environmental labeling — Principles and procedures). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14025. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures. (ISO 14025. Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14031. Environmental management. Environmental performance evaluation. Guidelines. (ISO 14031. Environmental management. Environmental performance evaluation. Guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14033. Environmental management. Quantitative environmental information. Guidelines and examples. (ISO 14033. Environmental management. Quantitative environmental data. Guidelines and examples). URL: <https://www.iso.org/home.html>

2. Risk management:

• ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. (ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14044. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. (ISO 14044. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14045. Environmental management. Eco-efficiency assessment of product systems. Principles, requirements and guidelines (ISO 14045. Environmental management. Eco-efficiency assessment of product systems. Principles, requirements and guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14046. Environmental management. Water footprint. Principles, requirements and guidelines. (ISO 14046. Environmental management. Water footprint. Principles, requirements and guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO/TR14062. Environmental management. Integrating environmental aspects into product design and development. (ISO/TR 14062. Environmental management. Integrating environmental aspects into product design and development). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO 14063. Environmental management. Environmental communication. Guidelines and examples. (ISO 14063. Environmental management. Environmental information exchange. Guidelines and examples). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

• ISO/TS 14067. Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and communication. (ISO/TS 14067.

Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and communication). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 19011. Guidelines for auditing management systems. (ISO 19011. Guidelines for auditing management systems). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 26000. Guidance on social responsibility. (ISO 26000. Guidance on social responsibility). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 31000. Risk management. Principles and guidelines. (ISO 31000. Risk management. Principles and guidelines). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO 50001. Energy management systems. Requirements with guidance for use. (ISO 50001. Energy management systems. Requirements with guidance for use). URL: <https://www.iso.org/home.html>;

- ISO Guide 73:2009. Risk management — Vocabulary — Guidelines for use in standards. (ISO 73:2009. Risk management — Terms and definitions). URL: <https://www.iso.org/home.html>.

Management methods taking into account the impact of environmental and other types of risks can be based on environmental management and risk management standards that have been actively implemented in our country for more than 25 years. The list of these standards includes national standards of Russia GOST R ISO:

- GOST R ISO 14001–2016. Environmental management systems. Requirements and guidelines for application;

- GOST R ISO 14002–2022. Environmental management systems. Guidance on the application of ISO 14001 for the consideration of environmental aspects and conditions within an environmental topic area. Part 1. General provisions;

- GOST R ISO 14004–2017. Environmental management systems. General guidelines for implementation;

- GOST R ISO 14005–2019. Environmental management systems. Guidelines for application of flexible approach of phased implementation of environmental management system;

- GOST R ISO 14006–2013. Environmental management systems. Guidelines for inclusion environmental standards in design;

- GOST R ISO 14007–2020. Environmental management. Guidelines for determining environmental costs and benefits;

- GOST R ISO 14008–2019. Monetary assessment of environmental impact and relevant environmental aspects;

- GOST R ISO 14009–2021. Environmental management systems. Guidelines for accounting of material flow in design and development processes;

- GOST R ISO 14010–98. Guidelines for environmental audit. Basic principles.

And other standards of environmental management and risk management at all stages, including survey, de-

sign, construction, operation, renovation and utilization of the facility. The listed standards refer to the standardization of the following management procedures in the life cycle: “Development and Implementation of Environmental Management Systems”, “Requirements and Guidelines for the Application of Environmental Management Systems”, “General Guidelines for the Implementation of Environmental Management Systems”, “Guidelines for the Application of a Flexible Approach for the Phased Implementation of an Environmental Management System”, “Guidelines for the Incorporation of Environmental Norms in Design”, “Guidelines for the Accounting of Material Flow in Processes”, “Guidelines for the Incorporation of Environmental Norms in Processes” and other norms and regulations. “Basic Principles” and other norms and regulations [1].

Methods of environmental impact optimization include, among others: a graphical method of creating the area of permissible impacts by solving linear programming problems [2]; a model of hazardous impact identification by simplex method [2]; a method of forming sustainable management systems for environmental safety of construction [2–5]. Simple numerical examples illustrate the possibilities of mathematical modelling of environmental loads at the stages of the life cycle of construction projects. In these works, linear action equations with constraints and with two variable influence factors are considered. When passing to linear relationships with three variable influence factors, they will describe a plane in the three-dimensional impact space; the system of linear constraints represents a polyhedron as a region of permissible impacts in the three-dimensional impact space.

The most effective is the development of environmental safety management systems for CCF related to sources, definitions and categories of waste, as well as the composition and treatment of waste streams, in order to promote waste prevention, the establishment and implementation of waste prevention and minimization mechanisms, and the recovery and recycling of the construction industry waste management system.

The hypothesis of ecologically safe development of CCF provided by innovations consists in the interpretation of changes in environmental parameters under the influence of the object in the form of a homogeneous differential equation describing the trajectory of “movement” of the system “object – environment” in the multi-parameter information space of the living environment [2].

In accordance with the Strategy for Low Greenhouse Gas Emissions Socio-Economic Development of Russia until 2050 [6], various research problems related to the use of modelling and artificial intelligence are addressed in these 2.1.14. “Construction Project Life Cycle Management” and 2.10.2. “Environmental Safety”.

T.V. Mayorova in her PhD thesis “Methodological tools for assessing the effectiveness of environmental management in the implementation of the concept of

low-carbon development” [7] developed the relevant methodology.

G.E. Artamonov in his PhD thesis “Ecological assessment of carbon and nitrogen footprint of gas emissions from thermal power facilities in the conditions of the Russian Federation” [8] applied hierarchical cluster analysis [8].

The author A.G. Tereshin in his doctoral thesis investigated “Global and regional aspects of interrelations in the system «energy complex – environment»” [9].

In his Ph.D. thesis, “Information modelling of the life cycle of the capital construction object” [10] A.V. Mishchenko developed an information model in the construction industry with the application of information model.

Elshami Mohamed Mostafa Mahmoud in his PhD thesis “Life cycle management of motorways at the operational stage on the basis of artificial neural network models” [11] developed and trained the developed artificial neural network models on the basis of experimental data [11]. Training of artificial neural network models developed using the following programmes: Neural Tools and MATLAB for predicting the operational characteristics and integral level of road safety [11].

In her PhD thesis [12], A.O. Rybakova developed a classification model for modular elements of maximum availability (MEMG).

A.A. Shashkov in his Ph.D. thesis “Formation of the project organizational structure for large-block construction of NPP” [13] proposed a diagram of labour cost distribution for the NPP reactor building reinforced concrete construction depending on the share of reinforced blocks used.

RESEARCH RESULTS

The method of formation of sustainable management systems on the basis of solutions to the optimizing environmental problem has shown the theoretical possibility of forming sustainable building systems, but experimental confirmation of the validity of this conclusion is required.

Information modelling in the construction industry under the conditions of stochastic impacts of climate change, fresh water scarcity, labour shortage and sanctions breakdown of many logistic links is a complex and multifaceted problem that requires a comprehensive approach and integration of many aspects [14]. One of the key aspects of information modelling of the facility life cycle is to take into account the stochastic impacts of climate change [15]. This may include modelling changes in temperature, precipitation, wind and other factors that may affect the construction and operation of a facility. Another important aspect is to consider freshwater scarcity [16]. With limited access to water resources, it is necessary to consider the water requirements of the facility and take measures for its efficient utilization and disposal. Consideration of la-

bour shortage is also an important aspect. With limited access to skilled labour, the construction and operation processes of the facility should be optimized, and new technologies and materials that can reduce the need for labour should be used [17]. Finally, the sanctions breakdown of many logistical links can lead to problems with the supply of materials and equipment. Therefore, it is important to take this factor into account when planning and managing the construction of the facility [18]. All these aspects under the stochastic impacts of climate change, fresh water scarcity, labour shortages and sanctions breakdown of many logistic linkages are complex and multifaceted problems that require a comprehensive approach and integration of many aspects.

One of the key aspects of optimizing construction projects is the consideration of environmental factors [14]. Environmental safety in the life cycle of construction projects is determined based on factors such as material selection, energy efficiency of the building, use of renewable energy sources, minimization of waste and emissions of harmful substances [15]. Various methods and tools such as environmental assessment of projects, quality and environmental management systems, risk analysis, etc. are used to determine the environmental safety in the life cycle of construction projects [16]. An important aspect of determining environmental safety in the life cycle of construction projects is the consideration of climate change and other environmental factors. This allows taking measures to adapt objects to changing conditions. Optimization of construction projects and determination of environmental safety in the life cycle of construction projects are complex problems that require a comprehensive approach and integration of many aspects [17, 18].

CONCLUSION AND DISCUSSION

It follows from the analysis that one of the most promising directions in the development of research in the scientific specialties of HAC 2.10.2 “Environmental safety (technical sciences)” and 2.1.14. “Management of the life cycle of construction objects (technical sciences)” is the development of scientifically sound organizational and technical solutions that ensure effective management of the life cycle to minimize management risks.

The complexity of the task of optimization of construction projects is determined by their specificity. High resource intensity, mobility of used resources (personnel, machinery, etc.) significantly complicate the optimization problem and require consideration of spatial and temporal modelling factors [18].

The reviewed studies present methods of environmental impact optimization: a graphical method of creating the area of permissible impacts by solving linear programming problems; a model of hazardous impact identification by simplex method; a method of forming sustainable management systems for environmental

safety of construction. Numerical examples illustrate the possibilities of mathematical modelling of environmental loads at the stages of the life cycle of construction projects [19].

Linear action equations with constraints and with two variable influence factors are considered. If we pass to linear dependencies with three variable influence factors, they will describe a plane in the three-dimensional action space; the system of linear constraints represents a polyhedron as a region of permissible influences in the three-dimensional action space, its efficiency and clarity in comparison with the results obtained by calculation are shown [20].

The most effective is the development of construction environmental safety management systems related to waste sources, as well as the management of the composition and treatment of waste streams in order to prevent the formation of construction industry waste [21].

Methods for influencing environmental and other types of risks will continue to evolve in the future. Cur-

rently, there are various approaches to managing the life cycle of facilities, including project management methods, quality management systems, and environmental management [22, 23]. One of the key areas of method development is the integration of environmental aspects. This will minimize the environmental impact and reduce the risks of environmental disasters. In addition, new methods of risk management will be developed, which will make it possible to assess possible threats more accurately and take measures to prevent them [24]. For example, the use of artificial intelligence technologies and big data analysis can help in identifying the most probable risks and selecting optimal strategies to manage them [24]. In addition, an important direction in the development of methods is to improve the efficiency of resource utilization and reduce the cost of construction and operation of facilities. For this purpose, new technologies and materials will be used, as well as the processes of construction and operation of facilities will be optimized [22, 23].

REFERENCES

1. Slesarev M.Y., Telichenko V.I. Prospects for the development of the regulatory framework of information systems for “green” standardization. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2020; 16(4):92-102. DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-4-92-102
2. Slesarev M.Yu. *Formation of systems of ecological safety of construction*. Moscow, MGSU, 2012; 350. (rus.).
3. Slesarev M., Pankratov E., Fedorov V. Mathematical model of innovative sustainability “green” construction object. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 86:01022. DOI: 10.1051/mateconf/20168601022
4. Slesarev M.Yu. Stochastic forecasting of dynamics of ecological processes of the megalopolises. *Integration, partnership and innovation in construction science and education : collection of materials from the International Scientific Conference*. 2015; 270-272. EDN TSSLGR. (rus.).
5. Slesarev M. Environmental graphic method for creating area of permissible impact. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:022055. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022055
6. Suvorova M.O. *Life cycle management of capital construction facilities to achieve carbon neutrality of construction production : dissertation of the candidate of technical sciences*. Belgorod, 2023; 165. EDN AVWPSS. (rus.).
7. Mayorova T.V. *Methodological tools for evaluating the effectiveness of environmental management in the context of the implementation of the concept of low carbon development : dissertation of the candidate of technical sciences*. Ekaterinburg, 2017; 171. EDN DYUPGZ. (rus.).
8. Artamonov G.E. *Ecological assessment of the carbon and nitrogen footprint of gas emissions from thermal energy facilities in the conditions of the Russian Federation : dissertation of the candidate of sciences*. Moscow, 2023; 163. (rus.).
9. Tereshin A.G. *Global and regional aspects of interconnections in the energy complex — environment system : dissertation of the doctor of technical sciences*. Moscow, 2010; 306. (rus.).
10. Mishchenko A.V. *Information modeling of the life cycle of a capital construction facility : dissertation of the candidate of sciences*. Voronezh, 2023; 162. EDN HGAUQD. (rus.).
11. Elshami Mohamed Mostafa Mahmoud. *Management of the life cycle of highways at the operational stage based on models of artificial neural networks : dissertation of the candidate of sciences*. Rostov-on-Don, 2022; 150. (rus.).
12. Rybakova A.O. *The use of information models of modular elements at the stage of architectural and construction design of capital construction facilities : dissertation of the candidate of sciences*. Moscow, 2023; 201. EDN DHJXLQ. (rus.).
13. Shashkov A.A. *Formation of the organizational structure of the project during large-block construction of nuclear power plants : dissertation of the candidate of sciences*. Moscow, 2023; 197. (rus.).
14. Zaehle S., Friend A.D., Friedlingstein P., Dentener F., Peylin P., Schulz M. Carbon and nitrogen cycle dynamics in the O-CN land surface model: 2. Role of the nitrogen cycle in the historical terrestrial carbon

balance. *Global Biogeochemical Cycles*. 2010; 24(1). DOI: 10.1029/2009gb003522

15. Gregory J.M., Jones C.D., Cadule P., Friedlingstein P. Quantifying carbon cycle feedbacks. *Journal of Climate*. 2009; 22(19):5232-5250. DOI: 10.1175/2009jcli2949.1

16. Feddema J., Oleson K., Bonan G., Mearns L., Washington W., Meehl G. et al. A comparison of a GCM response to historical anthropogenic land cover change and model sensitivity to uncertainty in present-day land cover representations. *Climate Dynamics*. 2009; 25(6):581-609. DOI: 10.1007/s00382-005-0038-z

17. Gerber S., Hedin L.O., Oppenheimer M., Pacala S.W., Shevliakova E. Nitrogen cycling and feedbacks in a global dynamic land model. *Global Biogeochemical Cycles*. 2010; 24(1). DOI: 10.1029/2008gb003336

18. Yang X., Wittig V., Jain A.K., Post W. Integration of nitrogen cycle dynamics into the integrated science assessment model for the study of terrestrial ecosystem responses to global change. *Global Biogeochemical Cycles*. 2009; 23(4). DOI: 10.1029/2009gb003474

19. Yokohata T., Webb M.J., Collins M., Williams K.D., Yoshimori M., Hargreaves J.C. et al. Structural similarities and-differences in climate responses to CO₂ increase between two perturbed physics ensembles. *Journal of Climate*. 2010; 23(6):1392-1410. DOI: 10.1175/2009jcli2917.1

20. Yurova A.Yu., Volodin E.M., Agren G.I., Chertov O.G., Komarov A.S. Effects of variations in simulated changes in soil carbon contents and dynamics on future climate projections. *Global Change Biology*. 2010; 16(2):823-835. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01992.x

21. Bobrovnik A.B., Slesarev M.Yu., Shersheva M.V. Thermodynamic foundations for the use of gypsum and magnesia stone for the neutralization of heavy metal ions. *Materials Science Forum*. 2023; 1088:79-87. DOI: 10.4028/p-e5cx04

22. Telichenko V.I., Slesarev M.Yu. Artificial intelligence in the technology of creating innovations. *Actual problems of computer modeling of structures and structures : abstracts of the VIII-th International Symposium*. 2023; 104-106. EDN MWSNSP. (rus.).

23. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu. Analysis and synthesis of images of environmentally oriented innovative technologies of construction production. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2023; 18(8):1298-1305. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305. EDN RNDOCL. (rus.).

24. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu. Risks of integrating artificial intelligence technologies into “green” standards. *Industrial and Civil Engineering*. 2023; 8:102-108. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.08.102-108. EDN ARDRBK. (rus.).

Received December 25, 2023.

Adopted in revised form on January 14, 2024.

Approved for publication on February 18, 2024.

B I O N O T E S : **Valery I. Telichenko** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, President; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5618-7033; President@mgsu.ru;

Azariy A. Lapidus — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016; ORCID: 0000-0001-7846-5770; Lapidusaa@mgsu.ru;

Mikhail Yu. Slesarev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the Government of the Russian Federation Education Prize, Professor of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 6464-2922, Scopus: 657608631, ResearcherID: B-3423-2016, ORCID: 0000-0003-4528-2817; Slesarev@mgsu.ru;

Mozaffari Mohammad Ali — postgraduate student of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; m.mozaffari2021@gmail.com.

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that they have no conflicts of interest.