

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика

Научная статья

УДК 338.3

<https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.4.5>

ВЗАИМОСВЯЗИ ЦИФРОВИЗАЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Михаил Сергеевич Вагин^{1*}, Елена Сергеевна Палкина²

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, (д. 10–14 лит. М, ул. Лоцманская, Санкт-Петербург, 190121, Российская Федерация)

¹ vaginms@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0002-3833-4623>

² elena_palkina@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4702-3512>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация. Введение. Современные условия функционирования промышленности характеризуются необходимостью повышения устойчивой экономической эффективности предприятий на фоне цифровой трансформации и усиления конкуренции. Актуальность приобретает интеграция инструментов бережливого производства и цифровизации, обладающая потенциалом синергетического эффекта. **Цель.** Провести системный анализ влияния инструментов бережливого производства и цифровых технологий на ключевые показатели экономической эффективности промышленного предприятия и выявить эффекты интеграции. **Материалы и методы.** Методологическую основу составили труды отечественных и зарубежных авторов. Применены методы системного и сравнительного анализа, а также практический подход на основе данных кейс-стадий, аналитических отчетов и прикладных исследований. **Результаты и обсуждение.** Установлено, что такие инструменты бережливого производства, как стандартизация, 5S, VSM, SMED и визуализация, оказывают направленное влияние на производственные и ресурсные метрики: производительность труда, фондо- и материалоотдачу, себестоимость и рентабельность. Цифровые технологии (IoT, Big Data, AI, цифровые двойники) усиливают этот эффект, обеспечивая автоматизацию процессов, оперативное управление и адаптивность системы. Интеграция подходов позволяет сформировать цифровое бережливое производство как новую парадигму управления. **Заключение.** Совместное применение бережливого производства и цифровизации обеспечивает устойчивый рост показателей экономической эффективности и формирует адаптивные производственные системы, способные к развитию в условиях цифровой экономики.

Ключевые слова: экономическая эффективность, производительность труда, рентабельность, цифровое бережливое производство, синергетический эффект

Для цитирования: Вагин М. С., Палкина Е. С. Взаимосвязи цифровизации бережливого производства и показателей экономической эффективности промышленного предприятия // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2025. № 4(109). С. 54–61. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.4.5>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.05.2025;

одобрена после рецензирования 24.06.2025;

принята к публикации 01.07.2025.

Research article

CORRELATION BETWEEN THE DIGITALIZATION OF LEAN MANUFACTURING AND THE ECONOMIC PERFORMANCE INDICATORS OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Mikhail S. Vagin^{1*}, Elena S. Palkina²

^{1,2} State Marine Technical University (10-14 lit. M, Lotsmanskaja str., St. Petersburg, 190121, Russian Federation)

¹ vaginms@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0002-3833-4623>

² elena_palkina@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4702-3512>

* Corresponding author

Abstract. Introduction. The current conditions of industrial operations are characterized by the need to enhance sustainable economic performance of enterprises amid digital transformation and increasing competition. The integration of lean manufacturing tools and digital technologies is becoming increasingly relevant due to its potential for generating synergistic effects. **Goal.** The study aims to conduct a systematic analysis of the impact of lean manufacturing tools and digital technologies on the key economic performance indicators of industrial enterprises and to identify the effects of their integration. **Materials and methods.** The methodological basis of the study includes works by Russian and international scholars. The research applies methods of systems and comparative analysis, as well as a practical approach based on data from case studies, analytical reports, and applied industrial research. **Results and discussion.** It has been established that lean manufacturing tools such as standardization, 5S, VSM, SMED, and visualization have a targeted impact on key production and resource metrics, including labor productivity, capital productivity, material efficiency, cost, and profitability. Digital technologies (IoT, Big Data, AI, and digital twins) enhance these effects by enabling process automation, real-time decision-making, and system adaptability. The integration of these approaches allows the formation of digital lean manufacturing as a new manage-

ment paradigm. **Conclusion.** The combined implementation of lean manufacturing and digitalization ensures sustainable growth in economic performance and fosters the development of adaptive production systems capable of thriving in the digital economy.

Keywords: economic efficiency, labor productivity, profitability, digital lean manufacturing, synergistic effect

For citation: Vagin MS, Palkina ES. Correlation between the digitalization of lean manufacturing and the economic performance indicators of an industrial enterprise. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2025;4(109):54-61. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.4.5>

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 22.05.2025;

approved after reviewing 24.06.2025;

accepted for publication 01.07.2025.

Введение / Introduction. Современные условия промышленного развития характеризуются возрастающей необходимостью обеспечения устойчивой экономической эффективности предприятий. На фоне растущей конкуренции, дефицита ресурсов и ускоряющейся цифровой трансформации производственных систем особую актуальность приобретают подходы, направленные на оптимизацию внутренних процессов, сокращение потерь и повышение результативности использования ресурсов. В данном контексте значительный интерес представляет совместное применение концепции бережливого производства (БП) и инструментов цифровизации (Ц), обладающее потенциалом формирования синергетического эффекта.

Бережливое производство, опирающееся на принципы устранения всех видов потерь и обеспечения максимальной ценности для потребителя, ориентировано на рациональное использование трудовых, материальных и фондовых ресурсов. В свою очередь, цифровые технологии, такие как: интернет вещей (IoT), большие данные (Big Data), искусственный интеллект (AI), цифровые двойники и другие, – создают возможности для автоматизации процессов, повышения оперативности и точности управленческих решений, а также ускорения обратной связи в реальном времени.

Особую научную и практическую значимость приобретает изучение не только индивидуального, но и совокупного воздействия указанных подходов на экономическую эффективность деятельности промышленного предприятия.

Целью настоящей работы является системный анализ влияния инструментов бережливого производства и цифровизации на ключевые показатели экономической эффективности, а также выявление интеграционных и синергетических эффектов, возникающих при их совместном применении.

Материалы и методы исследований / Materials and methods of research. Методологической основой исследования послужили научные труды отечественных и зарубежных авторов в области бережливого производства, цифровизации и оценки экономической эффективности, что позволило провести критический анализ существующих подходов и выделить ключевые направления интеграции.

В рамках системного подхода и сравнительного анализа были выявлены взаимосвязи между инструментами бережливого производства и цифровизации, а также их влияние на показатели экономической эффективности промышленного предприятия.

Практический подход был реализован через обобщение данных прикладных исследований, аналитических отчётов и кейс-стадий промышленных предприятий, что позволило определить синергетические эффекты и сформировать концепцию цифрового бережливого производства.

Результаты исследований и их обсуждение / Research results and their discussion. Экономическая эффективность (ЭЭ) представляет собой ключевую характеристику результативности функционирования промышленного предприятия и отражает степень рационального использования производственных ресурсов. В общем виде она определяется как отношение достигнутого экономического результата к объёму использованных факторов производства. Таким образом, экономическая эффективность выражает способность системы достигать максимальных результатов при минимальных затратах, что особенно актуально в условиях необходимости ресурсосбережения и повышения конкурентоспособности.

Для количественной оценки ЭЭ существует целый ряд экономических показателей, позволяющих охарактеризовать эффективность применения различных видов ресурсов. В качестве основных показателей экономической эффективности нами рассматриваются производительность труда, фондотдача, материалотдача, себестоимость и рентабельность как наиболее применяемые в промышленной практике для оценки результативности использования ресурсов. Они позволяют объективно фиксировать изменения при внедрении новых управленческих и технологических решений.

Производительность труда характеризует результативность использования трудовых ресурсов и рассчитывается как объём произведённой продукции на одного работника или на единицу затра-

ченного рабочего времени. Рост данного показателя свидетельствует о снижении трудозатрат на единицу выпуска и, соответственно, о росте эффективности трудовой деятельности.

Фондоотдача отражает эффективность использования основных производственных фондов. Данный показатель показывает, какой объем продукции приходится на одну единицу (например, рубль) стоимости основных фондов, тем самым характеризуя капитальную продуктивность.

Материалоотдача используется для оценки эффективности использования материальных ресурсов, демонстрируя отношение объема произведенной продукции к объему использованного сырья и материалов. Повышение этого показателя свидетельствует о снижении материалоёмкости производства.

Себестоимость продукции представляет собой совокупные затраты на её производство и реализацию. Снижение себестоимости указывает на оптимизацию затрат и более рациональное использование ресурсов.

Рентабельность отражает относительный уровень прибыльности деятельности предприятия, соотнося прибыль с объемом затрат или выручки. Увеличение рентабельности означает повышение экономической результативности и устойчивости предприятия.

Бережливое производство ориентировано на рационализацию использования ключевых ресурсов посредством устранения потерь и повышения эффективности процессов. В то же время цифровизация способствует ускорению производственных циклов, повышению производительности и сокращению времени оборота ресурсов. Совокупное влияние этих факторов проявляется в снижении себестоимости продукции и улучшении рентабельности деятельности промышленного предприятия.

Внедрение бережливого производства на промышленном предприятии направлено на системное устранение потерь, повышение прозрачности и стандартизации процессов, а также вовлечение персонала в постоянное совершенствование. Практика показывает, что реализация концепции бережливого производства опирается на конкретные инструменты, каждый из которых оказывает различное воздействие на ключевые аспекты экономической эффективности. По данным исследования, проведенного в российских промышленных компаниях, около 80 % организаций, реализующих бережливые преобразования, применяют от трёх до семи различных инструментов [1].

В рамках настоящего анализа рассмотрены пять наиболее распространённых и апробированных инструментов бережливого производства: стандартизация работы, организация рабочего пространства (5S), картирование потока создания ценности (Value Stream Mapping – VSM), визуализация, быстрая переналадка оборудования (Single-Minute Exchange of Dies – SMED). Каждый из них способствует улучшению тех или иных экономических показателей, посредством сокращения временных, трудовых, материальных и организационных потерь (рисунок 1).

Каждый из инструментов бережливого производства демонстрирует направленное влияние на конкретные экономические метрики, а их совместное применение позволяет достичь комплексного эффекта за счёт многоуровневой оптимизации производственной системы.

Цифровизация промышленного производства выступает важнейшим фактором трансформации экономических моделей деятельности предприятий [7]. Интеграция цифровых технологий в производственные и управленческие процессы позволяет достичь значительных улучшений в сфере операционной эффективности, ускорения процессов, снижения издержек и повышения устойчивости бизнеса. Современные цифровые инструменты, такие как: интернет вещей (Internet of Things, IoT), технологии анализа больших данных (Big Data), искусственный интеллект (Artificial Intelligence, AI), предиктивная аналитика и цифровые двойники (Digital Twins), – оказывают разностороннее влияние на экономическую эффективность производственных систем.

Каждая из указанных технологий направлена на устранение рутинных операций, повышение точности управленческих решений и снижение потерь, возникающих в результате неопределённости, простоев или неэффективного распределения ресурсов (рисунок 2).

В совокупности данные инструменты формируют цифровую основу для повышения экономической результативности предприятия за счёт более точного и оперативного управления ресурсами, оптимизации производственных циклов и повышения адаптивности к внешним и внутренним изменениям.

Хотя бережливое производство и цифровизация могут внедряться на предприятии независимо друг от друга, их интеграция в единую систему управления позволяет достигать значительно более выраженного экономического эффекта. Совместное применение этих подходов создает условия для формирования синергетического взаимодействия, при котором результирующий эффект превосходит сумму индивидуальных вкладов каждой из методологий.



Рис. 1. Влияние бережливого производства на показатели экономической эффективности производственного предприятия / Fig. 1. The impact of lean manufacturing on economic performance indicators of a manufacturing enterprise

*Источник: составлено авторами по данным [2-4] / Source: compiled by the authors according to data [2-4]



Рис. 2. Влияние цифровизации на показатели экономической эффективности промышленного предприятия / Fig. 2. The impact of digitalization on economic performance indicators of an industrial enterprise

*Источник: составлено авторами по данным [8-9] / Source: compiled by the authors according to data [8-9]

С позиции управления эффективностью предприятия бережливое производство выполняет функцию организационной подготовки и структурирования процессов: устраняются неценностные операции, стан-

дартизируются действия, обеспечивается потоковое выполнение [10, 11, 13]. Это создает благоприятную основу для внедрения цифровых технологий, которым необходимы стабильные воспроизводимые процессы и структурированные данные [14]. В свою очередь, цифровизация усиливает бережливые принципы, обеспечивая автоматизированную фиксацию отклонений, ускоренную обратную связь, прогнозное принятие решений и управление в реальном времени (зона VI на рисунке 3) [16].



*приведен перечень наиболее востребованных и применяемых инструментов

Рис. 3. Взаимосвязь цифровизации, бережливого производства и экономической эффективности производственного предприятия / Fig. 3. The correlation between digitalization, lean manufacturing, and economic performance of a manufacturing enterprise

*Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Интеграция бережливых и цифровых инструментов, позволяет создавать устойчивые производственные системы с высоким уровнем адаптивности, формируя на промышленном предприятии новый подход – цифровое бережливое производство (ЦБП), – нелинейно влияющий на показатели экономической эффективности деятельности промышленного предприятия (рисунок 4) [5, 6, 15].

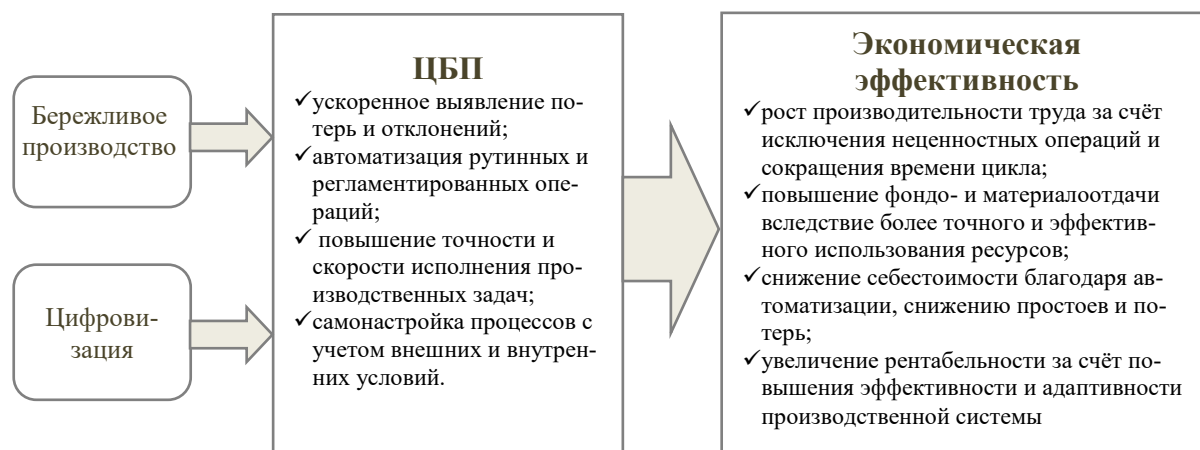


Рис. 4. Формирование интеграционной парадигмы цифрового бережливого производства /

Fig. 4. Formation of the integrative paradigm of digital lean manufacturing

*Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Результатом этой интеграции становится устойчивое повышение экономической эффективности: наблюдается рост производительности труда, увеличение фондо- и материалоотдачи, снижение себестоимости за счёт автоматизации и сокращения потерь, а также повышение рентабельности благодаря общей оптимизации и адаптивности производства [12]. Таким образом, ЦБП выступает не просто суммой двух подходов, а качественно новым уровнем организационно-технологической зрелости предприятия.

Заключение / Conclusion. Проведённый анализ подтверждает высокую значимость комплексного подхода к повышению экономической эффективности промышленного предприятия за счёт интеграции инструментов бережливого производства и цифровизации. Выявлено, что ключевые элементы бережливого производства, такие как: стандартизация, 5S, VSM, SMED и визуализация, – оказывают направленное влияние на производственные и ресурсные показатели, снижая потери и увеличивая отдачу от использования трудовых, материальных и фондовых ресурсов. В свою очередь, цифровизация (IoT, Big Data, AI, Digital Twins и др.) усиливает эти эффекты, обеспечивая оперативность управления, автоматизацию процессов и возможность адаптивного реагирования на изменения.

Совместное применение бережливого производства и цифровизации формирует новый интегративный подход – цифровое бережливое производство, способное трансформировать традиционные производственные модели в устойчивые, самоадаптирующиеся системы. Цифровое бережливое производство демонстрирует, как взаимосвязанные организационные и технологические компоненты обеспечивают синергетический эффект – нелинейный рост ключевых показателей: производительности труда, фондо- и материалоотдачи, снижение себестоимости и рост рентабельности. Таким образом, цифровое бережливое производство следует рассматривать как новую парадигму управления производственной эффективностью, способную обеспечить устойчивое развитие предприятий в условиях цифровой экономики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Балашова Е. С., Громова Е. А. Бережливое производство в российской промышленности как инновационная стратегия развития // Инновационная наука. 2015. № 8-1(8). С. 12–14.
2. Глухов В. В., Балашова Е. С. Организация производства. Бережливое производство. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2007. 236 с.
3. Голубев С. С., Чеботарев С. С. Информационные технологии как ключевой механизм устойчивого развития оборонных промышленных предприятий в современных условиях // Экономические стратегии. 2018. Т. 20. № 3(153). С. 68–81.
4. Давыдова Н. С., Ключков Ю. П. Бережливое производство на предприятиях машиностроения: теория и практика внедрения. М.: Российская академия естествознания, 2012. 111 с.
5. Digital Lean: Double the Impact of Your Lean Initiatives in 2025. SCW.AI. URL: <https://scw.ai/blog/digital-lean-double-the-impact-of-your-lean-initiatives-in-2025> (дата обращения: 2.03.2025).
6. Digital Transformation in Industry: Trends, Management, Strategies / eds. V. Kumar, J. Rezaei, V. Akberdina, E. Kuzmin. Cham: Springer, 2021. No. 44. 368 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-73261-5>.
7. Ковальчук Ю. А., Степнов И. М. Цифровая экономика: трансформация промышленных предприятий // Инновации в менеджменте. 2017. № 1(11). С. 32–43.
8. Кобзев В. В., Бабкин А. В., Скоробогатов А. С. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях новой реальности // π-Economy. 2022. Т. 15, № 5. С. 7–27. <https://doi.org/10.18721/JE.15501>.
9. Левенцов В. А., Левенцов А. Н. Бережливое производство и проблемы его цифровизации // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 1. С. 20–25. <https://doi.org/10.17513/snt.39493>.
10. Литовская Ю. В., Иванова Н. Е., Пономарева О. С. Бережливое производство и цифровые технологии как основа организации эффективного производства // Экономика и предпринимательство. 2022. № 10. С. 1241–1244.
11. Палкина Е. С., Постников Р. А. Цифровая трансформация производственной системы в судостроении: проблемы и способы их решения // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27. № 6. С. 107–123.
12. Rossini M., Cifone F. D., Kassem B., Costa F. Being Lean: How to Shape Digital Transformation in the Manufacturing Sector // Journal of Manufacturing Technology Management. 2021. Vol. 32. No. 9. P. 1–25. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2020-0467>.
13. Сибел Т. Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2021. 253 с.
14. Смирнов С. А., Сорокин Г. С. Применение бережливого производства в российских компаниях // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2022. № 4(42). С. 55–67.
15. Флек М. Б., Угнич Е. А. Управление предприятием в условиях цифровой трансформации: монография. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2020. 235 с.

16. Тимиргалеева Р. Р., Гришин И. Ю. Цифровая трансформация регионального хозяйственного комплекса // Концепт: научно-методический электронный журнал. 2018. № 12. С. 165–172. URL: <http://e-koncept.ru/2018/184064.htm> (дата обращения: 11.05.2025).

REFERENCES

1. Balashova ES, Gromova EA. Lean manufacturing in Russian industry as an innovative development strategy. *Innovatsionnaya Nauka*. 2015;8-1(8):12-14. (In Russ.)
2. Glukhov VV, Balashova ES. Organization of production. Lean manufacturing. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University; 2007. 236 p. (In Russ.)
3. Golubev SS, Chebotarev SS. Information technologies as a key mechanism for sustainable development of defense industrial enterprises in modern conditions. *Ekonomicheskie Strategii*. 2018;20(3):68-81. (In Russ.)
4. Davydova NS, Klochkov YuP. Lean manufacturing in machine-building enterprises: theory and practice of implementation. Moscow: Russian Academy of Natural Sciences; 2012. 111 p. (In Russ.)
5. Digital Lean: Double the Impact of Your Lean Initiatives in 2025. SCW.AI [Internet]. Available from: <https://www.scw.ai/blog/digital-lean-double-the-impact-of-your-lean-initiatives-in-2025> [Accessed 2 March 2025].
6. Kumar V, Rezaei J, Akberdina V, Kuzmin E, editors. Digital transformation in industry: trends, management, strategies. Cham: Springer; 2021. Vol. 44. 368 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-73261-5>.
7. Kovalchuk YuA, Stepnov IM. Digital economy: transformation of industrial enterprises. *Innovatsii v Menedzhmente*. 2017;1(11):32-43. (In Russ.)
8. Kobzev VV, Babkin AV, Skorobogatov AS. Digital transformation of industrial enterprises in the new reality. *π-Economy*. 2022;15(5):7-27. <https://doi.org/10.18721/JE.15501>. (In Russ.)
9. Leventsov VA, Leventsov AN. Lean manufacturing and problems of its digitalization. *Sovremennye Naukoemkie Tekhnologii*. 2023;(1):20-25. <https://doi.org/10.17513/snt.39493>. (In Russ.)
10. Litovskaya YuV, Ivanova NE, Ponomareva OS. Lean manufacturing and digital technologies as the basis for organizing efficient production. *Ekonomika i Predprinimatelstvo*. 2022;(10):1241-1244. (In Russ.)
11. Palkina ES, Postnikov RA. Digital transformation of the production system in shipbuilding: problems and solutions. *Bulletin of Transbaikal State University*. 2021;27(6):107-123. (In Russ.)
12. Rossini M, Cifone FD, Kassem B, Costa F. Being Lean: How to Shape Digital Transformation in the Manufacturing Sector. *J Manuf Technol Manag*. 2021;32(9):1-25. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2020-0467>.
13. Sibel T. Digital transformation: how to survive and succeed in the new era. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber; 2021. 253 p. (In Russ.)
14. Smirnov SA, Sorokin GS. Application of lean manufacturing in Russian companies. *Evrasiyskaya Integratsiya: Ekonomika, Pravo, Politika*. 2022;4(42):55-67. (In Russ.)
15. Flek MB, Ugnich EA. Enterprise management in the context of digital transformation: monograph. Rostov-on-Don: DSTU; 2020. 235 p. (In Russ.)
16. Timirgaleeva RR, Grishin IYu. Digital transformation of the regional economic complex. *Koncept: Nauchno-metodicheskiy Elektronnyy Zhurnal*. 2018;(12):165-172. Available from: <http://e-koncept.ru/2018/184064.htm> [Accessed 11 May 2025]. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Михаил Сергеевич Вагин – соискатель кафедры инновационной экономики Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, Researcher ID: NZN-7142-2025.

Елена Сергеевна Палкина – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры инновационной экономики Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, Scopus ID: 56809413000, Researcher ID: C-3699-2015.

ВКЛАД АВТОРОВ

Михаил Сергеевич Вагин

Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

Подготовка и редактирование текста, развитие методологии, участие в научном дизайне, итоговые выводы.

Елена Сергеевна Палкина

Научное руководство, формулирование цели исследования, формирование окончательного варианта.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mikhail S. Vagin – Applicant at the Department of Innovation Economics, Saint Petersburg State Marine Technical University, Researcher ID: NZN-7142-2025.

Elena S. Palkina – Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Professor at the Department of Innovation Economics, Saint Petersburg State Marine Technical University, Scopus ID: 56809413000, Researcher ID: C-3699-2015.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Mikhail S. Vagin

Conducting the research – collection, interpretation, and analysis of the obtained data. Preparation and editing of the text, development of the methodology, participation in scientific design, final conclusions.

Elena S. Palkina

Scientific supervision, formulation of the research objective, development of the final version.