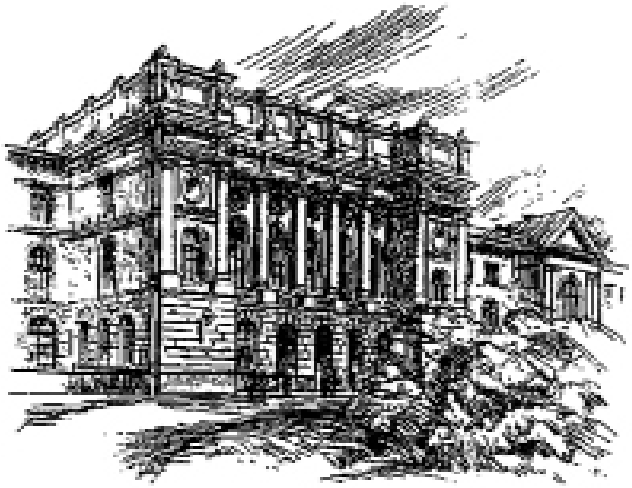
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ISSN 2782-6015

π-ECONOMY

Том 19, № 4, 2026

Санкт-Петербург
2026

π-ECONOMY

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Акаев А.А., иностр. член РАН, д-р физ.-мат. наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
Квинт В.Л., иностр. член РАН, д-р экон. наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
Смешко О.Г., д-р экон. наук, Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, Санкт-Петербург, Россия.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – Глухов В.В., д-р экон. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия;

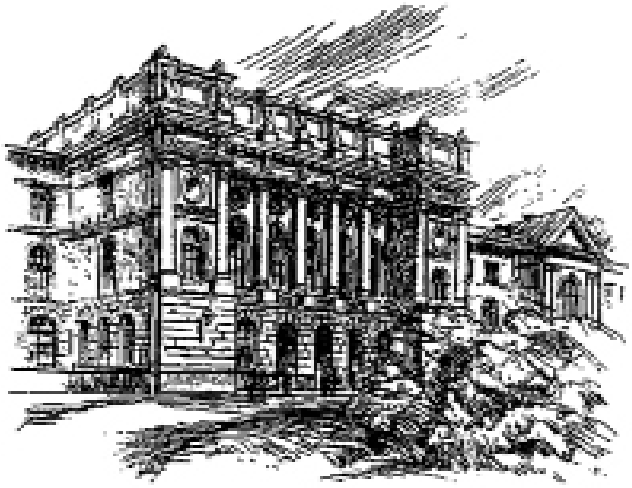
Заместитель главного редактора – Бабкин А.В., д-р экон. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия;

Адаменко А.А., д-р экон. наук, профессор, декан факультета «Финансы и кредит» Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия;
Аллаева Г.Ж., д-р экон. наук, доцент, заведующая кафедрой «Экономика и менеджмент промышленности» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан;
Басарева В.Г., д-р экон. наук, профессор, главный научный сотрудник, Сибирский Федеральный Научный Центр Агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия;
Булатова Н.Н., д-р экон. наук, профессор, Восточно-Сибирский гос. университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия;
Буркальцева Д.Д., д-р экон. наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия;
Бухвальд Е.М., д-р экон. наук, профессор, Институт экономики РАН, Москва, Россия;
Васильева З.А., д-р экон. наук, профессор, директор Института управления бизнес-процессами, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия;
Вертакова Ю.В., д-р экон. наук, профессор, Курский филиал федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего образования «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Курск, Россия;
Гамидуллаева Л.А., д-р экон. наук, доцент, заведующая кафедрой «Менеджмент и государственное управление» Пензенского государственного университета, Пенза, Россия;
Журавлев Д.М., д-р экон. наук, директор НИИ Социальных систем Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;
Ильина И.Е., д-р экон. наук, Российский научно-исследовательский институт экономики, политики и права в научно-технической сфере, Москва, Россия;
Качалов Р.М., д-р экон. наук, профессор, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия;
Кирильчук С.П., д-р экон. наук, профессор, заведующая кафедрой «Экономика предприятия» Института экономики и управления Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия;
Корягин С.И., д-р техн. наук, профессор, Инженерно-технический институт Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининград, Россия;
Лычагин М.В., д-р экон. наук, профессор, Институт экономики и организации производства СО РАН, Новосибирск, Россия; Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия;
Малышев Е.А., д-р экон. наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет / SMTU, Санкт-Петербург, Россия;
Мамраева Д.Г., канд. экон. наук, Карагандинский университет им. акад. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан;
Махмудова Г.Н., д-р экон. наук, Ташкентский государственный экономический университет, Ташкент, Узбекистан;
Мерзликина Г.С., д-р экон. наук, профессор, Волгоградский гос. технический университет, Волгоград, Россия;
Нехорошева Л.Н., д-р экон. наук, профессор, Белорусский гос. экономический университет, Минск, Республика Беларусь;
Очилов А.О., д-р экон. наук, профессор, Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан;
Писарева О.М., канд. экон. наук, Институт информационных систем, Государственный университет управления, Москва, Россия;
Плотников В.А., д-р экон. наук, профессор кафедры общей экономической теории и истории Санкт-Петербургского государственного экономического университета, Санкт-Петербург, Россия;
Пшеничников В.В., канд. экон. наук, доцент, Воронежский гос. аграрный университет им. Императора Петра I, Воронеж, Россия;
Тронина И.А., д-р экон. наук, доцент, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орел, Россия;
Умаров А.Т., канд. экон. наук, декан, Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Узбекистан;
Чупров С.В., д-р экон. наук, профессор, Байкальский гос. университет, Иркутск, Россия;
Шкарупета Е.В., зам. гл. ред., д-р экон. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия;
Юдина Т.Н., д-р экон. наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

Сетевое издание публикует научные статьи и обзоры на русском и английском языках в области региональной и отраслевой экономики, управления экономическими системами, математических методов экономики.
С 2002 года входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, где публикуются основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.
Сетевое издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-52146 от 11 декабря 2012 г.
Сведения о публикациях представлены в Реферативном журнале ВИНИТИ РАН, в международной справочной системе «Ulrich`s Periodical Directory», в базах данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), Google Scholar, EBSCO, ProQuest, ROAD, DOAJ.
Учредитель и издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.
Редакция журнала
д-р экон. наук, профессор В.В. Глухов – председатель редколлегии; д-р экон. наук, профессор А.В. Бабкин – зам. председателя редколлегии; А.А. Родионова – секретарь редакции; А.А. Кононова – компьютерная вёрстка; И.Е. Лебедева – редактирование английского языка; Ф.К.С. Бастиан – редактор.
Адрес редакции: Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
Телефон редакции: +7 (812) 552-62-16, e-mail редакции: economy@spbstu.ru
Дата выхода: 31.08.2026

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2026

THE MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION



ISSN 2782-6015

π-ECONOMY

Vol. 19, no. 4, 2026

Saint Petersburg
2026

π-ECONOMY

EDITORIAL COUNCIL

A.A. Akaev – foreign member of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc. (phys.-math.), Lomonosov Moscow State University, Russia;
V.L. Kvint – foreign member of the Russian Academy of Sciences (USA), Lomonosov Moscow State University, Russia;
O.G. Smeshko – Dr.Sc. (econ.), St. Petersburg University of Management Technologies and Economics, Russia.

EDITORIAL BOARD

V.V. Gluhov – Dr.Sc. (econ.), prof., head of the editorial board, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia;
A.V. Babkin – Dr.Sc. (econ.), prof., deputy head of the editorial board, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia;
A.A. Adamenko – Dr.Sc. (econ.), prof., Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Russia;
G.J. Allaeva – Dr.Sc. (econ.), Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Uzbekistan;
V.G. Basareva – Dr.Sc. (econ.), prof., Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Russia;
E.M. Buhval'd – Dr.Sc. (econ.), prof., Institute of Economics Russian Academy of Sciences, Russia;
N.N. Bulatova – Dr.Sc. (econ.), prof., East-Siberian State University of Technology and Management, Russia;
D.D. Burkaltceva – Dr.Sc. (econ), V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russia;
S.V. Chuprov – Dr.Sc. (econ.), prof., Baikal State University, Russia;
L.A. Gamidullaeva – Dr.Sc. (econ.), Penza State University, Russia;
I.E. Ilina – Dr.Sc. (econ.), Russian Research Institute of Economics, Politics and Law in Science and Technology, Russia;
R.M. Kachalov – Dr.Sc. (econ.), prof., Central Economics and Mathemaytics Institute Russian Academy of Sciences, Russia;
S.P. Kirilchuk – Dr.Sc. (econ.), prof., V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russia;
S.I. Koryagin – Dr.Sc. (tech.), prof., Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia;
M.V. Lychagin – Dr.Sc. (econ.), prof., Novosibirsk State University, Russia;
G.N. Makhmudova – Dr.Sc. (econ.), Tashkent State University of Economics, Uzbekistan;
E.A. Malyshev – Dr.Sc. (econ.), prof., SMTU, Russia;
D.G. Mamraeva – Assoc. Prof. Dr., PhD, Karaganda University named after academician Y.A. Buketov, Kazakhstan;
G.S. Merzlikina – Dr.Sc. (econ.), prof., Volgograd State Technical University, Russia;
L.N. Nehorosheva – Dr.Sc. (econ.), prof., Belarus State Economic University, Republic of Belarus;
A.O. Ochilov – Dr.Sc. (econ.), prof., Karshi State University, Uzbekistan;
O.M. Pisareva – Assoc. Prof. Dr., State University of Management, Russia;
V.A. Plotnikov – Dr.Sc. (econ.), prof., St. Petersburg State University of Economics, Russia;
V.V. Pshenichnikov – Assoc. Prof. Dr., Voronezh State Agricultural University, Russia;
E.V. Shkarupeta – Dr.Sc. (econ.), prof., Voronezh State Technical University, Russia;
I.A. Tronina – Dr.Sc. (econ.), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State University named after I.S., Russia;
A.T. Umarov – Assoc. Prof. Dr., National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Uzbekistan;
Z.A. Vasilyeva – Dr.Sc. (econ.), prof., Siberian Federal University, Russia;
U.V. Vertakova – Dr.Sc. (econ.), prof., Financial University under the Government of the Russian Federation, Russia;
T.N. Yudina – Dr.Sc. (econ.), Lomonosov Moscow State University, Russia;
D.M. Zhuravlev – Dr.Sc. (econ.), Lomonosov Moscow State University, Russia.

The online journal publishes research papers and reviews in Russian and English on regional and industrial economics, management of economic systems, mathematical methods in economics.
The journal is included in the List of Leading Peer-Reviewed Scientific Journals and other editions to publish major findings of PhD theses for the research degrees of Doctor of Sciences and Candidate of Sciences.
The publications are presented in the VINITI RAS Abstract Journal and Ulrich's Periodical Directory International Database, EBSCO, ProQuest, Google Scholar, ROAD, DOAJ.
The journal is registered with the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications (ROSKOMNADZOR). Certificate ПИ № ФС77-52146 issued December 11, 2012.

Editorial office
Dr.Sc., Professor V.V. Gluhov – Head of the editorial board; Dr.Sc., Professor A.V. Babkin – Deputy head of the editorial board; A.A. Rodionova – editorial manager; A.A. Kononova – computer layout; I.E. Lebedeva – English translation; Ph.Ch.S. Bastian – editor.

Address: 195251 Polytekhnicheskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.

+7 (812) 552-62-16, e-mail: economy@spbstu.ru

Release date: 31.08.2026

© Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2026

Содержание

Цифровая экономика: теория и практика

Косолапова Н.А., Христова С.М. Промышленные данные: от традиционного актива к ключевому ресурсу..... 7

Положенцева Ю.С., Булатников В.В. Управление бизнес-процессами организации на основе инструментария оценки цифровой зрелости: кластерно-ориентированный подход..... 26

Али А., Здольникова С.В. Оценка внедрения технологий искусственного интеллекта на промышленном предприятии в условиях Индустрии 5.0 (на примере компаний Пакистана).... 45

Региональная и отраслевая экономика

Палаш С.В., Палаш М.С. Государственная промышленная политика и институты развития: элементы оценки системных взаимосвязей..... 66

Михайлова А.В. Креативный сектор как источник малых пространственных эффектов: методический подход к оценке для ресурсного макрорегиона..... 84

Мвамба М. Межрегиональная кооперация как инструмент снижения пространственной дифференциации: управленческие механизмы и факторы успеха..... 102

Управление инновациями

Шкарупета Е.В., Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В., Михайлов П.А. Инновационное развитие высокотехнологичной промышленности и оценка цифровой зрелости экономических систем..... 114

Люкевич И.Н., Вега Бонилла Дж.С., Меликян А.В. Факторы успеха и ограничения масштабирования институциональных инноваций..... 137

Экономика и менеджмент предприятий и комплексов

Поляков Р.К. Анализ исследований самоорганизации экономических кластеров на основе библиометрического обзора..... 157

Флек М.Б., Угнич Е.А. Воспроизводство человеческого капитала промышленного предприятия в условиях распространения технологий искусственного интеллекта..... 180

Экономико-математические методы и модели

Антонов А.С., Ильин И.В., Лёвина А.И. Самообучающаяся агентная модель адаптивного планирования мультимодальных перевозок..... 198

Contents

Digital economy: theory and practice

Kosolapova N.A., Khristova S.M. Industrial data: from a traditional asset to a key resource..... 7

Polozhentseva Iu.S., Bulatnikov V.V. Managing an organization's business processes based on a digital maturity assessment toolkit: a cluster-oriented approach..... 26

Ali A., Zdolnikova S.V. Assessment of the implementation of artificial intelligence technologies at an industrial enterprise in the context of Industry 5.0 (the case of Pakistani companies)..... 45

Regional and branch economy

Palash S.V., Palash M.S. State industrial policy and development institutions: elements of assessment of systemic interrelations..... 66

Mikhailova A.V. Creative sector as a source of small spatial effects: a methodological approach for a resource-based microregion..... 84

Mwamba M. Interregional cooperation as a tool for reducing spatial differentiation: governance mechanisms and success factors..... 102

Innovations management

Shkarupeta E.V., Kirilchuk S.P., Nalivaichenko E.V., Mikhailov P.A. Innovative development of high-tech industry and assessment of the digital maturity of economic systems..... 114

Lyukevich I.N., Vega Bonilla G.S., Melikyan A.V. Success factors and scaling constraints of institutional innovations..... 137

Economy and management of enterprise and complexes

Polyakov R.K. Analysis of research on self-organization of economic clusters based on a bibliometric review..... 157

Flek M.B., Ugnich E.A. Human capital reproduction of an industrial enterprise in the context of the distribution of artificial intelligence technologies..... 180

Economic & mathematical methods and models

Antonov A.S., Ilyin I.V., Levina A.I. Self-learning agent model for adaptive planning of multimodal transportation..... 198

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 7–25.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 7–25.

Цифровая экономика: теория и практика
Digital economy: theory and practice

Научная статья
УДК 330.111.4: 004.6
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19401
EDN: https://elibrary/DXEOTT

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ДАННЫЕ: ОТ ТРАДИЦИОННОГО АКТИВА К КЛЮЧЕВОМУ РЕСУРСУ

Н.А. Косолапова, С.М. Христова ✉

Южный федеральный университет,
Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ khriistova@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена растущим интересом исследователей и практиков к вопросу отнесения данных к активу, ресурсу и фактору производства. Такой тренд определяется, с одной стороны, возрастанием роли данных для хозяйственной деятельности в целом, с другой – постепенной институционализацией термина «экономика данных». Необходимо отметить, что при значительной вариативности трактовок (как новый этап экономического развития, как часть цифровой трансформации, как система хозяйствования) большинство исследователей отмечает характерное свойство: данные рассматриваются как ключевой актив и ресурс экономики. Особый интерес представляет использование данных именно в промышленности ввиду ее масштабной цифровизации и системообразующей роли для экономики страны, тогда как ресурсная база выступает основой функционирования предприятий. Цель исследования состоит в том, чтобы определить, как данные в качестве ресурса используются в деятельности предприятия и в чем состоят особенности такого процесса, а также понять, как на практике представители промышленности подходят к данным в своей деятельности, насколько данные – это ключевой ресурс, какие факторы влияют на такое соотнесение. Методы исследования включают анализ и синтез, системный и сравнительный подходы, анкетирование управленческого звена промышленных предприятий Ростовской области, статистический (обработку полученных результатов) и эконометрический (построение бинарной logit-модели на основе данных анкеты) методы. Результаты исследования демонстрируют, что данные в современных условиях действительно используются на промышленных предприятиях как ресурс, косвенно участвуя в процессе создания продукта или услуги, усиливая эффективность использования других ресурсов. Выявлены специфика промышленных данных как ресурса, эффект от их использования для предприятия, определена необходимость формирования операционного и стратегического контуров для использования данных как ресурса в деятельности предприятий. Подчеркнуто, что руководители промышленных предприятий, участвовавшие в опросе, с большей вероятностью относят данные к ключевому ресурсу, если степень готовности их предприятий к инвестициям в данные высокая, а также при системном использовании данных для принятия управленческих решений. Научная новизна текущего исследования заключается в подходе к данным как к ресурсной базе промышленности с акцентом на непосредственном участии данных в создании продуктов и услуг, а также в эмпирической оценке мнений представителей промышленности о данных как о ключевом ресурсе промышленного предприятия. Практическая значимость исследования определяется возможностью применения полученных выводов менеджментом предприятий для пересмотра подходов к данным как к экономическому активу, для перехода от фрагментарного сбора данных к их комплексному использованию в производстве через бизнес-процессы предприятия и формирование стратегии их применения с целью оптимизации производственной деятельности. Ключевой вывод исследования сводится к тому, что данные используются как ресурс в деятельности промышленных предприятий, но до конца

© Косолапова Н.А., Христова С.М., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

их потенциал не использован из-за непонимания в практике полезности данных для производства, отсутствия методологической базы для их оценки и учета их вклада в стоимость продукции предприятий, что также находит свое отражение в теоретическом плане – в отсутствии подхода к данным как к ресурсной базе промышленности. В связи с этим направления дальнейших исследований должны охватывать разработку методологических аспектов включения данных в ресурсную базу промышленности, формирование ресурсного подхода к данным, определение стоимости и ценности данных, развитие систем управления данными на предприятии, а также ужесточение институциональных механизмов регулирования прав собственности и создание рынков данных.

Ключевые слова: данные как ресурс, промышленные данные, ресурсная база промышленности, свойства данных, цифровизации промышленности, экономика данных, цифровая экономика, цифровизация

Для цитирования: Косолапова Н.А., Христова С.М. (2026) Промышленные данные: от традиционного актива к ключевому ресурсу. π-Economy, 19 (4), 7–25. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19401

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19401

INDUSTRIAL DATA: FROM A TRADITIONAL ASSET TO A KEY RESOURCE

N.A. Kosolapova, S.M. Khristova ✉

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ khriistova@yandex.ru

Abstract. The relevance of the study is due to the growing interest of researchers and practitioners in the issue of attributing data to an asset, resource, and production factor. This trend is determined, on the one hand, by the increasing role of data for economic activity in general, and, on the other, by the gradual institutionalization of the term “data economy”. It should be noted that with significant variability of interpretations (as a new stage of economic development, as part of the digital transformation, as a management system), most researchers note a characteristic property: data is considered as a key asset and resource of the economy. Of particular interest is the use of data in industry in view of its large-scale digitalization and its system-forming role for the country’s economy, while the resource base is the basis for the functioning of enterprises. The purpose of the study is to determine how data as a resource is used in the company’s activities and what are the features of such a process, as well as to understand how industry representatives approach data in their activities in practice, to what extent data is a key resource, and what factors influence such correlation. The research methods include analysis and synthesis, systematic and comparative approaches, questioning the management level of industrial enterprises in the Rostov region, statistical (processing the results obtained) and econometric (building a binary logit model based on the questionnaire data) methods. The results of the study demonstrate that data in modern conditions is actually used in industrial enterprises as a resource, indirectly participating in the process of creating a product or service, enhancing the efficiency of using other resources. The specifics of industrial data as a resource, the effect of their use for the enterprise are revealed, the need for the formation of operational and strategic contours for the use of data as a resource in the activities of enterprises is determined. It is emphasized that the heads of industrial enterprises who participated in the survey are more likely to attribute data to a key resource if the degree of readiness of their enterprises to invest in data is high, as well as with the systematic use of data for managerial decision-making. The scientific novelty of the current study lies in the approach to data as a resource base for industry, with an emphasis on the direct involvement of data in the creation of products and services, as well as in the empirical assessment of industry representatives' opinions on evaluating data as a key resource of an industrial enterprise. The practical significance of the study is determined by the possibility of applying the conclusions obtained by the management of enterprises to revise approaches to data as an economic asset, to move from fragmentary data collection to their integrated use in production through the

© Kosolapova N.A., Khristova S.M., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

business processes of the enterprise and the formation of a strategy for their application in order to optimize production activities. The key conclusion of the study is that data is used as a resource in the activities of industrial enterprises, but their potential has not been fully exploited due to a lack of understanding in practice of the usefulness of data for production, the lack of a methodological basis for evaluating them and accounting for their contribution to the cost of enterprises, which is also reflected in the theoretical plan – the lack of an approach to data as a resource base for industry. In this regard, the areas of further research should cover the development of methodological aspects of data inclusion in the industrial resource base, the formation of a resource approach to data, the determination of the value and value of data, the development of data management systems in the enterprise, as well as the tightening of institutional mechanisms for regulating property rights and the creation of data markets.

Keywords: data as a resource, industrial data, industrial resource base, data properties, industrial digitalization, data economy, digital economy, digitalization

Citation: Kosolapova N.A., Khristova S.M. (2026) Industrial data: from a traditional asset to a key resource. π-Economy, 19 (4), 7–25. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19401

Введение

Актуальность исследования

Развитие промышленности в условиях цифровой трансформации актуализировало вопрос о признании данных как отдельной экономической категории. Рост объема данных, которые накопили промышленные предприятия, их высокая роль, связанная с обеспечением инновационного и эффективного производства, стали условиями, которые определяют рассмотрение данных как элемента ресурсной базы современного промышленного предприятия. Авторы считают возможным говорить о формировании ресурсной парадигмы как отдельного направления исследований, так как идет активная теоретическая дискуссия о рассмотрении данных как ресурса общего (универсального, применимого в различных процессах без угрозы потери ценности или зависимости от конкретного контрагента [1]) или специфического (чья ценность реализуется только в строго определенном контексте [2]) назначения, ресурса и/или фактора производства [3], при этом с практической точки зрения данные меняют подход к принятию разноуровневых решений и бизнес-модели промышленных предприятий. В связи с чем объектом настоящего исследования выступают промышленные данные, которые становятся новым ресурсом, участвующим в процессе создания продуктов и услуг.

Литературный обзор

В течение последних лет проблематика использования данных в деятельности компаний и предприятий как стратегического актива или ресурса нашла отражение в работах как отечественных, так и зарубежных исследователей. Они отмечают, что использование больших данных становится инструментом повышения точности принятия управленческих решений, что оказывает влияние на рыночную стоимость и инвестиционную привлекательность предприятий [4]. В зарубежной литературе данный тезис развивается применительно к промышленности: обосновывается, что данные позволяют извлекать скрытую ценность знаний, повышая конкурентоспособность промышленности в условиях глобализации [5]. Особо акцентируется внимание на управленческом аспекте в отношении данных как стратегического ресурса; реализация потенциала информационных активов возможна лишь при условии формирования общекорпоративной модели работы с данными [6].

Ключевая идея настоящего исследования заключается в смещении фокуса анализа с технологических аспектов данных (то есть данных как продукта цифровой трансформации) на данные как элемент ресурсной базы промышленного предприятия. Также в работе делается акцент на данные как на ресурс не только с теоретической точки зрения, но и с практической. Отмечается, насколько данные как ресурс воспринимаются представителями российской промышленности. В отличие от существующих работ, рассматривающих данные преимущественно

через призму цифровой трансформации, настоящее исследование фокусируется на том, что данные представляют собой ресурс для промышленных предприятий.

В отечественном научном пространстве развивается дискуссия о статусе данных. Часть авторов фокусирует внимание на обосновании необходимости выделения цифрового капитала данных как особого вида капитала [7]. Позиция других сосредоточена на необходимости признания данных в качестве полноценного экономического актива, и акцент смещается на сложность стоимостной оценки больших данных как основную проблему в определении статуса данных как экономической категории [8]. По вопросу товарной природы данных предлагается комплексный взгляд, согласно которому, данные одновременно функционируют как ресурс, продукт и товар, однако прагматика рыночного оборота вступает в противоречие с теоретическими конструкциями [9]. В дополнение к этому системно анализируются правовые аспекты коммерциализации данных, включая регуляторные барьеры и риски [10].

В то же время практико-ориентированные исследования демонстрируют разрыв между потенциальными возможностями больших данных и их реальным использованием в предпринимательской деятельности. Интерес бизнес-структур к данным связан преимущественно с анализом потребительского поведения [11]. Особо подчеркивается необходимость законодательного закрепления единого определения больших данных для повышения конкурентоспособности национальной экономики, что позволит повысить ликвидность данных и создать условия для формирования биржевой инфраструктуры их оборота [12].

Результаты исследований зарубежный ученых характеризуются более выраженной институциональной проработкой статуса данных и акцентом на эмпирических исследованиях. В первую очередь необходимо отметить, что ключевым событием стало официальное признание данных фактором производства в Китае, что создало прецедент для пересмотра классических производственных функций [3]. Теоретическое осмысление данной трансформации представлено в концептуальной модели, предлагающей рассматривать рынки данных через призму зрелости жизненного цикла данных [2].

В контексте промышленного производства выделяется ряд работ, фокусирующихся на специфике промышленных данных, посвященных разработке теоретической основы для принятия решений в интеллектуальном производстве, демонстрирующей практическую применимость технологий больших данных для извлечения скрытой ценности [3, 12]. Вопрос капитализации данных и ее влияния на совокупную факторную производительность предприятий исследуется в работе [13], где выявлены положительные эффекты через механизмы роста человеческого капитала и инновационной активности.

Проблематика управления данными как активом нашла отражение в исследовании [14], где выделены типы компаний по степени зрелости использования данных и обоснована необходимость адаптивной ИТ-инфраструктуры и культуры обмена данными. Этот тезис коррелирует с выводами, подчеркивающими приоритетность формирования единой корпоративной модели данных перед внедрением технологических решений в производство [6]. Специфика промышленных экосистем данных и пространств данных рассматривается с позиций инфраструктуры для суверенного обмена [15]. Кроме того, исследователями отмечается дефицит методологий в рамках однотипных производственных процессов, что указывает на необходимость разработки отраслевых стандартов [16]. В современном дискурсе о необходимости методологического обеспечения оценки цифровой зрелости существенным представляется подход, предложенный отечественными исследователями и заключающийся в концептуализации цифровой зрелости как эволюционного процесса – от автоматизации до полной цифровой трансформации, где оценка базируется на методе иерархического комплексирования интегральных показателей с учетом коэволюционного потенциала, конвергентности и резильентности экосистем [17].

В контексте формирования ресурсного потенциала обрабатывающей промышленности обосновывается положение о том, что информация выступает ключевым измерением в системе управления промышленными активами [18]. Авторы доказывают, что интеграция данных и применение аналитики больших данных преобразуют информационные потоки из побочного продукта производственных операций в самостоятельный экономический ресурс, непосредственно определяющий эффективность использования основных фондов. В нефтегазовом секторе вопросы управления данными рассматриваются в контексте цифровой трансформации и применения блокчейн-технологий для обеспечения достоверности данных [19].

Проблема практического использования промышленных данных в экономической деятельности требует интеграции управленческих и экономических подходов, это обосновывается тем, что трансформация данных в экономическую ценность возможна лишь при системном проектировании дата-ориентированных сервисов, предполагающем согласованность концептуальных, технических, экономических и организационных решений, для экономической оценки данных предлагается модель «данные как актив» (Data as an Asset, DaaA) [20].

Важным аспектом научной дискуссии остается проблема границ экономической интерпретации данных. В работе [21] обосновывается, что сведение управления данными исключительно к рыночно-экономическим моделям сужает понимание их роли, требуя учета институциональных и регуляторных контекстов формирования оборота данных. Этот тезис коррелирует с выводами, которые на основе систематизации архитектур больших данных в обрабатывающей и добывающей промышленности фиксируют разрыв между технологическими возможностями и их фактической интеграцией в производственные процессы [22].

Таким образом, синтез рассмотренных работ выявляет системный пробел в современной научной картине: во-первых, отсутствует сформированный подход, позиционирующий данные именно как ресурс промышленного сектора; во-вторых, сохраняется дефицит эмпирических исследований, отражающих реальную оценку данного потенциала управленческим звеном промышленных предприятий, а также факторов, детерминирующих их готовность к институционализации данных в качестве ключевого элемента ресурсной базы промышленности. Существующие работы либо фокусируются на технологических аспектах, либо рассматривают данные в макроэкономическом или правовом ключе, оставляя за рамками уровень промышленного предприятия.

Цель исследования

Цель настоящего исследования состоит в систематизации подходов к рассмотрению данных в качестве ресурса промышленных предприятий и в эмпирической оценке факторов, влияющих на восприятие данных как ключевого ресурса представителями управленческого звена предприятий.

Для достижения поставленной цели выделены следующие исследовательские задачи:

– определить специфику промышленных данных как ресурса и эффект от их использования в деятельности промышленных предприятий;

– разработать концептуальную рамку использования данных как ресурса, включающую необходимые управленческие действия со стороны топ-менеджмента для формирования операционного и стратегического контуров работы с данными;

– оценить степень включенности промышленных данных в производственный процесс с точки зрения представителей управленческого звена промышленности на основе результатов эмпирического исследования на примере Ростовской области;

– выявить факторы, определяющие вероятность отнесения топ-менеджментом промышленных предприятий данных к ключевому ресурсу, посредством построения и интерпретации бинарной logit-модели.

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составили общенаучные методы системного и сравнительного анализа и синтеза, абстрагирования и обобщения, которые использовались для концептуализации категории «промышленные данные как ресурс» и выявления специфики их применения в промышленном производстве. Теоретическую базу работы составил ретроспективный анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, посвященных экономике данных, данным как активу и ресурсу. Систематизация категориального аппарата и выявление концептуальных пробелов в существующих подходах обеспечили формирование концептуального каркаса исследования и обосновали необходимость эмпирической верификации восприятия данных управленческим звеном промышленных предприятий.

Теоретический базис позволил определить инструменты формирования информационной базы исследования – онлайн-анкету, созданную с использованием платформы Yandex Forms и адресованную представителям управленческого звена промышленных предприятий. Ее содержание охватывало идентификационные параметры организации и респондента (отраслевая специализация, должность, масштаб деятельности), а также текущие практики и перспективы генерации, хранения и использования данных. Измерение исследуемых переменных базировалось на номинальных и порядковых шкалах.

Эмпирическая часть исследования реализована с помощью анкетирования представителей управленческого звена промышленных предприятий Ростовской области. В результате пилотного тестирования (сентябрь 2025 г., $N = 8$) было выявлено, что доработка опроса не требуется. Основной этап анкетирования проводился в две волны (сентябрь – октябрь 2025 г. и февраль – март 2026 г.), что обеспечило итоговую выборку в размере 75 респондентов ($N = 75$), охватывавшую 12% от общего числа промышленных предприятий рассматриваемого региона. Структура выборки характеризуется преобладанием крупных организаций (86,67%) и средних предприятий (13,33%), а также отраслевой концентрацией в сегментах машиностроения и металлообработки (56,25%), химической и нефтехимической промышленности (21,88%) и легкой промышленности (21,88%). Профессиональный профиль респондентов охватывал руководителей функциональных подразделений (28,13%), ключевых производственных и аналитических служб (28,13%), членов топ-менеджмента (21,87%) и высшего руководства (21,87%).

Для анализа результатов анкетирования были использованы как традиционные статистические методы, так и эконометрическое моделирование (построение бинарной logit-модели). Зависимой переменной (data) выступил бинарный индикатор, фиксирующий отнесение респондентами данных к ключевому ресурсу предприятия (1 – ключевым ресурсом являются данные, 0 – ключевым ресурсом являются материальные активы, трудовые ресурсы, бренд, цифровые технологии и т.д.). В качестве независимых факторов в модель включены пять переменных, отражающих институциональные и управленческие условия функционирования данных в рамках предприятий (табл. 1).

Специфика эмпирического распределения зависимой переменной (33 наблюдения со значением «1» и 42 – со значением «0») потребовала применения процедуры балансировки классов. С учетом методологической критики в экономической литературе в отношении техник искусственного увеличения выборки в настоящем исследовании использован метод случайного исключения девяти наблюдений нулевого класса с использованием языка программирования Python. Интерпретация полученных оценок проводилась с опорой на теоретические положения исследования.

Результаты и обсуждение

Современный этап экономического развития характеризуется повсеместным распространением цифровых технологий, эффективность которых детерминирована наличием и качеством

Таблица 1. Кодирование переменных для построения logit-модели
Table 1. Encoding of variables for building a logit model

Первоначальные переменные	Окончательные переменные
Investments – «Как Вы можете оценить готовность вашего предприятия инвестировать в данные?» (0 – низкая, 1 – средняя, 2 – высокая)	Базовая категория – «низкая», значит: *Investments_middle* (1 – средняя, 0 – все остальное)
	Investments_high (1 – высокая, 0 – все остальное)
Utility – «Считаете ли Вы, что данные в вашей компании полезны для других предприятий, могут быть использованы в их деятельности?» (1 – полностью согласен; 2 – скорее согласен; 3 – и да, и нет / затрудняюсь ответить; 4 – скорее не согласен; 5 – полностью не согласен)	Базовая категория – «полностью не согласен» *Utility_yes* (1 – полностью согласен, 0 – все остальное)
	Utility_MostYes (1 – скорее согласен, 0 – все остальное)
	Utility _YesNo (1 – и да, и нет, 0 – все остальное) *Utility_MostNo* (1 – скорее не согласен, 0 – все остальное)
Safety – Доступ к особо важным и конфиденциальным данным строго регламентирован, а его нарушения отслеживаются и пресекаются (1 – полностью согласен; 2 – скорее согласен; 3 – и да, и нет / затрудняюсь ответить; 4 – скорее не согласен; 5 – полностью не согласен)	Базовая категория – «полностью не согласен» *Safety_Yes* (1 – полностью согласен, 0 – все остальное)
	Safety_MostYes (1 – скорее согласен, 0 – все остальное)
	Safety_YesNo (1 – и да, и нет, 0 – все остальное)
	Safety_MostNo (1 – скорее не согласен, 0 – все остальное)
Integration – Данные из различных систем (например, CRM, ERP, производственных систем) интегрированы между собой, что позволяет формировать единую картину по бизнес-процессам (1 – полностью согласен; 2 – скорее согласен; 3 – и да, и нет / затрудняюсь ответить; 4 – скорее не согласен; 5 – полностью не согласен)	Базовая категория – «полностью не согласен» *Integration_Yes* (1 – полностью согласен, 0 –все остальное)
	Integration_MostYes (1 – скорее согласен, 0 – все остальное)
	Integration_YesNo (1 – и да, и нет, 0 – все остальное)
	Integration_MostNo (1 – скорее не согласен, 0 – все остальное)
Decisionmaking – Руководство компании регулярно использует данные и аналитику для принятия стратегических решений (1 – полностью согласен; 2 – скорее согласен; 3 – и да, и нет / затрудняюсь ответить; 4 – скорее не согласен; 5 – полностью не согласен)	Базовая категория – «полностью не согласен» *Decisionmaking_Yes* (1 – полностью согласен, 0 – все остальное)
	Decisionmaking_MostYes (1 – скорее согласен, 0 – все остальное)
	Decisionmaking _YesNo (1 – и да, и нет, 0 – все остальное)
	Decisionmaking_MostNo (1 – скорее не согласен, 0 – все остальное)

Источник: разработано авторами.

данных [23]. Такая зависимость прослеживается на всех уровнях производственной системы: от отдельных станков до глобальных производственных сетей, поскольку в производстве машины и оборудование взаимодействуют друг с другом благодаря данным[1], что формирует принципиально новую технологическую среду, где данные становятся «посредником» взаимодействия между классическими ресурсами. Данные улучшают рыночное позиционирование, устанавливая новые каналы обратной связи с клиентами и повышая эффективность координации внутри цепочки создания стоимости, что напрямую влияет на повышение конкурентоспособности предприятия [24]. Кроме того, активное использование данных в производственной деятельности является показателем цифровой зрелости предприятия, выраженной «в степени (уровне) использования его цифровых способностей и возможностей за счет применения цифровых технологий во всех видах деятельности с целью повышения его экономической эффективности» [17].

[1] Чуранов В. (2024) *Какие возможности даст промышленности переход в Экономику данных*. [online] Available at: https://companies.rbc.ru/news/znGdGu3xi0/kakie-vozmozhnosti-dast-promyishlennosti-perehod-v-ekonomiku-dannyih/ [Accessed 27.10.2025]. (in Russian)

Дополнением такого интереса к данным с экономико-управленческой позиции выступает формирование новой парадигмы – экономики данных как нового этапа экономического развития. «Экономика данных логично приводит к появлению отдельных категорий в данном контексте на макро-, мезо- и микроуровнях. На макроуровне данные становятся фактором геоэкономического влияния и национальной безопасности, что проявляется в формировании специальных правовых режимов их обращения. Мезоуровень отражает отраслевую и региональную специфику использования данных. На микроуровне речь идет о формировании рынка данных» [25]. Именно на микроуровне промышленного предприятия данные приобретают статус полноценного производственного ресурса.

Если в контексте институциональной экономики большие данные являются ресурсом общего назначения (универсальным информационным активом) [1], то в координатах производственных процессов – ресурсом, ценность которого заключается в их важности для принятия управленческих решений на всех уровнях, так как они содержат актуальные сведения о состоянии как отдельных элементов технологических процессов, так и в целом производственных систем [11]. Данная характеристика принципиальна для промышленности, где оперативность принятия решений напрямую влияет на производственные результаты, меняя состав специфичных активов.

В данном ключе справедливо подчеркнуть, что в текущем исследовании речь идет именно о промышленных данных (данных со станков, оборудования и т.д., полученных в ходе производственной деятельности [26]) как о подмножестве больших данных[2]. Подобная конкретизация предметной области обусловлена отраслевой спецификой промышленных данных, которые отражают параметры реальных производственных циклов и определяют инновационный потенциал предприятия. Во-первых, «одной из ключевых стратегических возможностей в сфере производства является овладение мастерством обработки производственных данных»[3], поскольку оно позволяет предприятиям оптимизировать процессы, ускорять инновации и создавать уникальный стратегический актив – пул данных о специфике своих операций, что в совокупности формирует устойчивое конкурентное преимущество. А во-вторых, учитывая, что «неопределенность в экономике и в мире, вызванная глобальными тенденциями, скорее всего сохранится, инновационные способы применения данных в производстве могут стать стабилизирующим фактором для мировой промышленности»[4].

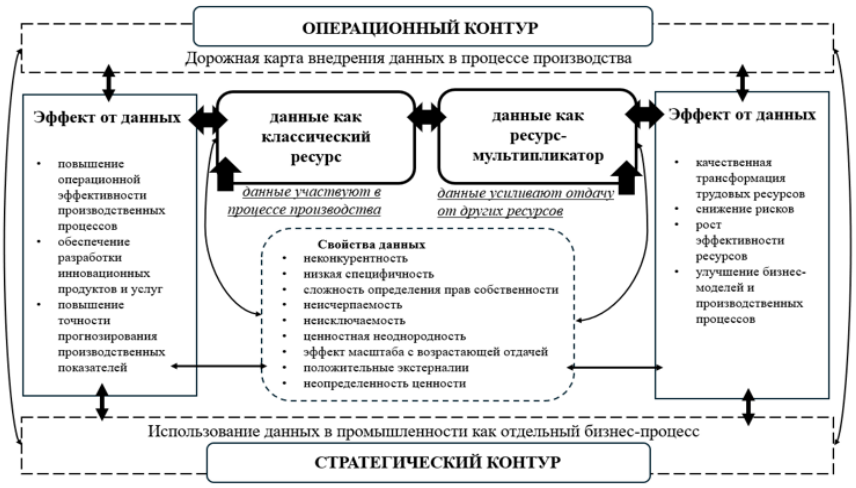
Процесс преобразования данных в актив напрямую ведет к повышению инновационной эффективности [13], что подтверждается эмпирическими исследованиями цифровизации промышленного сектора. Использование данных компаниями «открывает перед бизнесом и индивидуальными пользователями новые возможности для оптимизации процессов принятия решений, повышения операционной эффективности и инновационного развития» [4]. Так, данные перестают быть «побочным продуктом» производственной деятельности и становятся ценным активом, требующим разработки концептуальной модели использования данных как ресурса в промышленности. Также данные как экономическую категорию можно рассмотреть в следующих направлениях: как ресурс (как основу для создания продуктов и товаров); как фактор производства (при непосредственном участии в производственном процессе); как продукт (как результат обработки, анализа и структурирования данных); как товар (как объект купли-продажи) [9].

Использование данных в промышленности именно как ресурса можно рассмотреть с двух позиций: данные как классический ресурс и данные как ресурс-мультипликатор. При этом в обеих позициях данные обладают специфическими чертами, не присущими традиционным

[2] Tech Ex. Технологическая биржа (2025) *Промышленные данные: зачем Минпромторг регулирует их оборот*. [online] Available at: https://techexchange.ru/start/news/41/?ysclid=mgby1sc2h5377838141 [Accessed 27.10.2025]. (in Russian)

[3] Всемирный экономический форум (2022) *Путь к передовому производству на основе данных*. [online] Available at: https://d-economy.ru/analitic/put-k-peredovomu-proizvodstvu-na-osnove-dannyh/ [Accessed 17.04.2026]. (in Russian)

[4] Там же.



Источник: разработано авторами.

Рис. 1. Данные как ресурс в системе промышленного предприятия

Fig. 1. Data as a resource in an industrial enterprise system

ресурсам. Использование данных как ресурса отражается в производственном процессе с точки зрения полученного эффекта от данного процесса, а достижение максимально возможного результата от использования данных состоит в необходимости формирования подходов внутри предприятия на стратегическом (использование данных как отдельный бизнес-процесс) и операционном (поэтапная дорожная карта внедрения данных как ресурса в производственный процесс) уровнях (рис. 1). Данные, на наш взгляд, можно рассматривать как классический ресурс, косвенно участвующий в производственном процессе (если ресурс прямо вовлечен в производственный процесс, то он уже становится фактором производства), и как ресурс-мультипликатор, усиливающий отдачу от других ресурсов. В сложившихся условиях данные интерпретируются как полноценный актив, управляемый на протяжении жизненного цикла, что позволяет организациям извлекать из данных экономическую, информационную, операционную и регуляторную выгоду [27].

Эффект от данных в промышленном производстве дифференцируется в зависимости от их функциональной роли в системе. При использовании данных в качестве классического ресурса эффект проявляется в повышении операционной эффективности производственных процессов, в обеспечении базы для разработки инновационных продуктов и услуг, а также в повышении точности прогнозирования производственных показателей. В роли ресурса-мультипликатора, когда данные направлены на усиление отдачи от других ресурсов, эффект носит трансформационный характер: происходят качественная трансформация трудовых ресурсов, снижение рисков, общий рост эффективности ресурсов, а также фундаментальное улучшение бизнес-моделей и производственных процессов.

Столь выраженная дифференциация эффектов обусловлена свойствами данных, которые принципиально отличают их от традиционных ресурсов:

– неконкурентностью: разные субъекты могут использовать их снова и снова без ограничений;

– низкой специфичностью: по сравнению с другими ресурсами данные обладают меньшей степенью специфичности, т.е. их можно использовать в более широком диапазоне производственных операций [8];

– сложностью определения прав собственности и их передачей;

– большим объемом, но низкой плотностью ценности: данные генерируются в огромных объемах, однако ценная информация составляет лишь малую часть, что требует сложной обработки и анализа [3];

– неисчерпаемостью: данные не потребляются в процессе использования, их можно применять многократно в разных процессах без износа;

– неисключаемостью [2]: данные можно копировать практически бесплатно и передавать неограниченному числу пользователей без потери качества у первоначального владельца (если эти данные не носят коммерческой тайны, в обратно случае они являются исключаемыми [8]);

– ценностной неоднородностью: ценность данных нелинейна и сильно зависит от контекста использования [2];

– эффектом от масштаба с возрастающей отдачей: отдача от данных может возрастать с ростом их объема и комбинаций (синергетический эффект) [2, 6];

– положительными экстерналиями: ценность данных для одного пользователя может возрастать по мере того, как эти же или связанные данные используются другими;

– неопределенностью ценности: отсутствие стандартных метрик делает объективную оценку данных до их использования крайне сложной [2].

Обозначенные свойства пронизывают оба контура использования данных в промышленности, формируя уникальные управленческие императивы. В операционном контуре свойства данных определяют архитектуру дорожной карты внедрения данных в процессе производства, где необходимо учитывать неконкурентность и неисчерпаемость данных при проектировании производственных систем, ценностную неоднородность – при приоритезации источников данных, эффект масштаба с возрастающей отдачей – при планировании объемов сбора и обработки информации. А основой для эффективного управления продуктами и принятия решений служат именно данные как стратегический актив [6].

Однако отмеченные свойства больших данных порождают и существенные управленческие вызовы, к которым можно отнести следующее: качество (шум, неполнота, неоднородность); безопасность и конфиденциальность (риски утечек, кибератаки); интеграцию данных (сложности объединения разнородных источников); масштабируемость решений (необходимость адаптации под разные отрасли); интерпретируемость моделей («черный ящик» в машинном обучении) [5].

Стратегический контур отражает использование данных в промышленности как отдельный бизнес-процесс, что принципиально отличает данный подход от традиционного рассмотрения данных как вспомогательного элемента производственной деятельности. «Представление данных как естественного ресурса, который находится повсюду и доступен для использования, приводит к необходимости накопления данных и рассмотрению их как актива для дальнейшего превращения в ценность» [7]. В этом контексте свойства данных формируют основания для создания устойчивых конкурентных преимуществ, выходящих за рамки отдельных производственных задач. Управление данными как стратегическим активом предполагает выделение специализированных организационных структур, разработку долгосрочных программ развития и интеграцию аналитических возможностей в систему стратегического планирования предприятия.

Переход от операционного использования данных к их системному управлению требует преодоления ограниченной парадигмы, сводящей информацию исключительно к рыночному активу. Сведение данных к статусу экономического блага сводит задачи управления исключительно к количественному наращиванию данных и обмену ими, тогда как решение системных проблем (например, конфиденциальности данных) требует выхода за рамки рыночной логики и не достигается автоматически через увеличение объемов данных [22]. Такая концептуальная позиция находит свое теоретическое обоснование в предложенной модели, где стратегический контур,

идентифицируемый как «использование данных в промышленности как отдельный бизнес-процесс», институционально обособляется от операционной деятельности для решения задач, выходящих за рамки рыночного обмена. Если операционный контур ориентирован на максимизацию непосредственной производственной эффективности, то стратегический контур аккумулирует функции обеспечения суверенитета данных, формирования этических и регуляторных императивов, управления рисками несанкционированного доступа и утечек информации, а также проектирования долгосрочной архитектуры данных как стратегического актива предприятия.

Практическая имплементация комплексной модели управления наталкивается на системный методологический дефицит: в современной промышленности отсутствует единая система работы с данными, а существующие подходы характеризуются высокой разнородностью, что обуславливает острую необходимость в четких пошаговых методиках с опорой на эталонные архитектуры [16]. Цифровая трансформация промышленности требует внедрения системы управления данными, в которой Интернет вещей обеспечивает целостность и качество данных [19]. При этом качество данных – одно из ключевых условий успеха любых цифровых продуктов и услуг, где ценность для клиента создается именно на основе анализа данных [20], что особенно актуально для операционного контура, где данные непосредственно участвуют в производственных процессах.

Получается, что одним из центральных вопросов становится управление данными, которое способно обеспечить организацию согласованными, качественными и релевантными данными [6]. Интересно, что управление традиционными ресурсами промышленности во многом зависит от работы с данными [18] как со стратегическим активом, позволяющим принимать верные управленческие решения. Двухконтурная модель позволяет систематизировать работу с данными, разграничивая операционные задачи (непосредственное использование данных в производстве) и стратегические (формирование данных как отдельного бизнес-процесса).

«В условиях стремительного роста информационных потоков использование данных и предиктивной аналитики открывает беспрецедентные возможности для снижения издержек и повышения эффективности производственной деятельности. Однако данные сами по себе не несут ценности. Только будучи интегрированными в реальные бизнес-процессы компании, они способны раскрыть свой потенциал и принести максимальную пользу» [28]. Данная интеграция осуществляется именно через взаимодействие операционного и стратегического контуров: стратегический контур определяет направления использования данных как отдельного бизнес-процесса, а операционный контур обеспечивает их непосредственное внедрение в производственную деятельность.

Примечательно, что успех консолидации данных в организации определяется не отсутствием технических и организационных барьеров, а осознанным пониманием их реального масштаба [14]. Так, одним из ключевых барьеров выступает институциональная разрозненность в отношении данных с точки зрения законодательства, решением которого является формирование «пространства данных» (data space) – децентрализованной инфраструктуры, реализующей суверенитет данных, которая служит основой для индустриальных экосистем данных, позволяя организациям безопасно обмениваться данными, выходя за рамки традиционных двусторонних связей [15].

Так, представленная концептуальная модель использования данных как ресурса в системе промышленного предприятия, основанная на взаимодействии операционного и стратегического контуров, позволяет комплексно охватить многогранную природу данных, учесть их специфические экономико-технологические свойства и обеспечить системный подход к управлению данными как фактором повышения конкурентоспособности промышленного производства.

Отметим ключевые результаты исследования, полученные в рамках проведенного анкетирования среди управленческого звена промышленных предприятий Ростовской области. Так,



Источник: разработано авторами.

Рис. 2. Данные, которые собираются и не собираются промышленными предприятиями по мнению респондентов

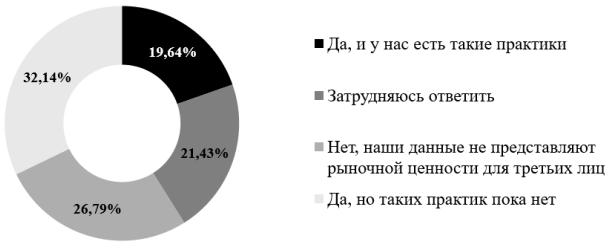
Fig. 2. Data collected and not collected by industrial enterprises according to respondents

одной из проблем промышленных предприятий в контексте экономики данных является то, что большое количество данных собирается, но не используется в основной деятельности, несмотря на тот факт, что они могут представлять собой серьезное конкурентное преимущество и могут быть полезны предприятию с точки зрения оптимизации. Например, на 2021 г. отмечалось, что «в целом промышленные компании пока не используют все возможности для развития бизнеса, которые дают данные»[5]. В рамках проведенного анкетирования можно отметить, что промышленные данные входят в перечень тех данных, которые собираются и используются предприятиями в наибольшей степени. Но несмотря на это, 43% респондентов отмечают, что промышленные данные собираются, но не применяются (рис. 2). Это в очередной раз доказывает, что промышленность не до конца реализует свой потенциал и ресурсную базу в контексте данных как элемента ресурсной базы современного промышленного предприятия.

Достаточно дискуссионным является вопрос о том, могут ли данные являться товаром (в частности, ресурсом, который можно продать). Особую остроту такая проблема приобретает в контексте развития промышленности, так как промышленные данные в большинстве случаев обладают коммерческой тайной. В контексте проведенного исследования большинство респондентов (32,14%) действительно считает, что данные могут быть самостоятельным продуктом или услугой, но при этом таких практик не имеется. В то же время 26,79% респондентов уверены, что их данные не представляют никакой ценности для других предприятий (рис. 3). На самом деле, это в большей степени говорит о том, что данные – это достаточно ценный ресурс и актив, но обладающий субъективной ценностью. Ведь ценность для конкретного предприятия и в конкретных случаях может быть разной [29], что и усложняет разработку методологических подходов к товарной оценке данных.

Построенная бинарная logit-модель обладает хорошим качеством: количество «предсказанных» случаев – 58 (87,88%); R-квадрат Макфаддена – 0,59; AUC-ROC – 0,97. Результаты оценки модели демонстрируют статистически значимое влияние отдельных организационно-управленческих факторов на восприятие респондентами данных в качестве ключевого ресурса промышленного предприятия (табл. 2). Установлено, что инвестиционная зрелость и степень интеграции данных в принятие стратегических управленческих решений оказывают наиболее выраженное воздействие на формирование соответствующей парадигмы.

[5] Ctrl2Go Solutions (2026) *Данные в промышленности: как правильно собирать и извлекать из них выгоду*. [online] Available at: https://ctrl2go.solutions/blog/dannye-v-promashlennosti-kak-ispolzovat/ [Accessed 17.04.2026]. (in Russian)



Источник: разработано авторами.

Рис. 3. Распределение ответов респондентов на вопрос «Считаете ли вы, что некоторые данные вашей компании могут быть самостоятельным продуктом или услугой и продаваться на рынке?»

Fig. 3. Distribution of responses to the question: Do you think that some of your company's data can be an independent product or service and sold on the market?

Таблица 2. Результаты оценки модели
Table 2. Model evaluation results

Переменная	Коэффициент	AME	Отношение шансов
const	–1,531 (1,081)	–	0,216
Investments_middle	0,156 (0,739)	0,022	1,168
Investments_high	1,640** (0,663)	0,276	5,153
Utility_Yes	1,436 (0,918)	0,221	4,206
Utility_MostYes	0,756 (0,838)	0,110	2,131
Utility_YesNo	0,036 (1,009)	0,005	1,036
Utility_MostNo	–0,543 (1,089)	–0,079	0,581
Safety_Yes	0,001 (1,032)	0,0001	1,0007
Safety_MostYes	0,656 (0,947)	0,097	1,927
Safety_YesNo	–0,579 (0,821)	–0,083	0,561
Safety_MostNo	–0,265 (0,977)	–0,038	0,767
Decisionmaking_Yes	1,457* (0,771)	0,227	4,294
Decisionmaking_MostYes	1,324 (0,808)	0,209	3,760
Decisionmaking_YesNo	–0,303 (0,805)	–0,044	0,739
Decisionmaking_MostNo	–0,573 (1,012)	–0,084	0,564

Примечание: в скобках указаны робастные стандартные ошибки; ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Источник: разработано авторами.

В частности, если представители управленческого звена промышленного предприятия оценивают степень готовности своей компании инвестировать в данные как высокую, то с большей вероятностью они будут относить данные к категории ключевого ресурса. В данном контексте подчеркнем, что компаниям следует инвестировать в управление данными, так как это, прежде всего, стратегическая инвестиция, которая в дальнейшем позволит быстро внедрять инновации, основанные на данных, получая таким образом долгосрочное конкурентное преимущество [30].

Аналогичная закономерность прослеживается для переменной, отражающей степень использования данных в управленческих процессах. Если руководители считают, что компания в полной мере использует данные для принятия стратегических решений, то с большей вероятностью данные будут относиться к ключевому ресурсу. При этом переменные, связанные с утверждениями представителей промышленности о полезности их данных для других компаний и об уровне регламентации доступа к конфиденциальной информации, не продемонстрировали статистически значимого влияния на зависимую переменную. Отсутствие значимости данных факторов может быть объяснено двумя причинами. Во-первых, данные обладают уникальным свойством: их полезность меняется в зависимости от области применения, что объективно затрудняет для промышленных компаний оценку потенциальной ценности собственных массивов данных для деятельности сторонних предприятий. Во-вторых, вопросы обеспечения информационной безопасности и защиты конфиденциальности остаются актуальными в рамках продолжающейся цифровой трансформации. Поскольку практики обеспечения кибербезопасности наблюдаются уже на протяжении длительного времени [31], их восприятие не зависит от новой парадигмы «данные как ресурс», а скорее отражает общую технологическую зрелость предприятия [32].

Таким образом, систематизируя теоретические аспекты исследования, необходимо обратить внимание на природу данных как ресурса. Авторами предлагается разграничение рассмотрения данных как «классического ресурса» и как «ресурса-мультипликатора», создающего комплементарный эффект использования других ресурсов.

Учитывая опыт китайской экономики, где в 2019 г. данные официально признаны фактором производства, таким же как труд, земля, капитал и технологии, необходим пересмотр производственных функций, а следовательно, подходов к анализу и моделированию производственных процессов.

Промышленный контекст рассмотрения позволяет говорить о данных как о критическом ресурсе, обладающем «скрытой ценностью», а умение извлекать ее становится существенным условием повышения конкурентоспособности предприятий. В то же время формирование методики количественной оценки «ценности данных» является существенной проблемой ввиду ее нелинейности и существенной зависимости от контекста использования.

Практический ракурс использования данных как ресурса связан в первую очередь с готовностью предприятий инвестировать в них. Однако в настоящее время большинство предприятий сталкивается с проблемами низкой рентабельности таких вложений; как правило, она находится на уровне окупаемости, однако по оценкам экспертов экономический эффект может достигать 35%. Кроме того, важным фактором, препятствующим развитию «экономики данных», являются институциональные ограничения, связанные с регламентацией доступа к данным и незрелостью рыночных механизмов.

Заключение

В исследовании получены следующие результаты:

1. Определены специфика промышленных данных как ресурса, отличающая их от традиционной ресурсной базы, и эффект от их интеграции как ресурса в деятельность предприятий. Научная новизна результата заключается в том, что промышленные данные в текущих реалиях выступают не «побочным продуктом» цифровизации, а полноценным ресурсом, который, с

одной стороны, косвенно участвует в процессе создания продуктов и услуг, а с другой, выступает катализатором отдачи от традиционных ресурсов, повышая эффективность от их использования. В то время как использование данных в качестве классического ресурса обеспечивает аддитивное повышение операционной эффективности и точности производственного прогнозирования, их трансформация в ресурс-мультипликатор генерирует нелинейный синергетический эффект, качественно преобразующий бизнес-модели и кратно усиливающий отдачу от всех традиционных факторов производства.

2. Разработана концептуальная рамка использования данных как ресурса (как составного элемента классической ресурсной базы промышленности и ресурса-мультипликатора), структурирующая необходимые действия со стороны топ-менеджмента предприятия по формированию операционного и стратегического контуров работы с данными. Научная новизна состоит в отличительной особенности разработанной концептуальной рамки, выраженной в операционно-стратегической дихотомии контуров управления данными (управление данными как элемент системы использования данных). Операционный контур ориентирован на практическую интеграцию данных в производственную деятельность и требует разработки дорожной карты, регламентирующей технические, процессные и организационные условия поэтапного внедрения данных в процесс производства. Стратегический контур, напротив, направлен на институционализацию работы с данными на уровне корпоративного управления, что выражается в формализации использования промышленных данных как ресурса в качестве самостоятельного бизнес-процесса.

3. Оценена степень включенности промышленных данных в производственный процесс с точки зрения управленческого звена на основе эмпирического анализа. Научная новизна результата заключается в оценке данных как ресурса именно со стороны самих предприятий. Так, получено, что 44% респондентов признают данные ключевым ресурсом предприятия, при этом 31% отмечает, что промышленные данные собираются, но не используются в основной деятельности, что свидетельствует о неполной реализации потенциала данных как ресурса. Выявлено, что 32% респондентов допускают возможность коммерциализации данных, 26,67% считают данные неценными для внешних контрагентов, что подтверждает положение о субъективном характере экономической ценности данных. Подчеркнем, что интерпретация результатов осуществляется с учетом ограниченности исследования: выборка сформирована на основе анкетирования 75 представителей управленческого звена промышленных предприятий Ростовской области (12% от генеральной совокупности региона), что обеспечивает репрезентативность для выявления устойчивых тенденций, однако не позволяет без дополнительной эмпирической верификации распространять полученные выводы на промышленные предприятия иных субъектов Российской Федерации.

4. Выявлены факторы, определяющие вероятность отнесения управленческого звена предприятия данных к ключевому ресурсу промышленного предприятия. Научная новизна результата заключается в количественном подтверждении вывода о том, что готовность предприятия к инвестициям в данные и системный характер их использования для принятия стратегических решений являются преобладающими детерминантами восприятия данных как элемента ресурсной базы предприятия.

Проведенное исследование демонстрирует, что трансформация промышленных данных из «побочного продукта» цифровизации в самостоятельный ресурс представляет собой не столько технологический, сколько экономико-управленческий вызов. Установлено, что реализация потенциала промышленных данных как ресурса требует формирования целостной архитектуры использования данных в процессе производства. Модель использования данных должна синхронизировать инвестиционную готовность предприятия, поэтапную операционную интеграцию данных в технологические цепочки и их стратегическую институционализацию в качестве

самостоятельного бизнес-процесса. Только при соблюдении выделенных условий фрагментарно собранные данные трансформируются в ресурс, катализирующий отдачу традиционных ресурсов и обеспечивающий рост производственной эффективности. Эмпирическая верификация подтвердила, что переход к экономике данных требует от руководства промышленных предприятий переосмысления онтологии данных как стратегического актива, генерирующего добавленную стоимость на всех этапах производственного цикла.

Направления дальнейших исследований

Будущие исследования необходимо сфокусировать в первую очередь на разработке методического аппарата включения данных в ресурсную базу промышленности. В связи с чем ключевыми векторами исследований должны стать: формирование подходов к данным как к активу предприятия (вопросы, связанные с определением стоимости и ценности данных), как к ресурсу (аспекты разработки концептуальной модели управления данными на предприятии, включение в отдельный бизнес-процесс использование данных); институциональный анализ драйверов, определяющих данные как ресурс, в числе которых можно отметить механизмы определения прав собственности на данные, проектирование рынков данных, вопросы доверия к данным (от доверия к самим данным до доверия к процессу обмена ими). Так, исследования в такой тематике смогут существенно заполнить пробел в науке, который касается вопроса отнесения данных к ресурсной базе промышленности, а впоследствии позволит перейти к внедрению теоретических разработок на конкретные предприятия, тем самым способствуя усилению конкурентных позиций и более эффективному развитию промышленности в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аузан А.А. (2019) Цифровая экономика как экономика: институциональные тренды. *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*, 6, 12–19. DOI: 10.38050/01300105201963

2. Huang L., Dou Y., Liu Y., Wang J., Chen G., Zhang X., Wang R. (2021) Toward a research framework to conceptualize data as a factor of production: The data marketplace perspective. *Fundamental Research*, 1 (5), 586–594. DOI: 10.1016/j.fmre.2021.08.006

3. Lin M., Chen W., Zhang W. (2024) The Era of Data as a Critical Production Factor. In: *Big Data Finance in China*, 1–20. DOI: 10.1007/978-981-97-7981-9_1

4. Кириченко А.О., Золкин А.Л., Урусова А.Б., Малова Н.Н. (2024) Исследование влияния больших данных на принятие решений в корпоративном секторе. *Журнал прикладных исследований*, 2, 50–57. DOI: 10.47576/2949-1878.2024.2.2.007

5. Li C., Chen Y., Shang S. (2022) A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 29, art. no. 101021. DOI: 10.1016/j.jestch.2021.06.001

6. Hannila H., Silvola R., Harkonen J., Haapasalo H. (2022) Data-driven Begins with DATA; Potential of Data Assets. Journal of Computer Information Systems, 62 (1), 29–38. DOI: 10.1080/08874417.2019.1683782

7. Лясковская Е.А. (2021) Трансформация капитала в современной экономике: цифровой капитал данных. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, 15 (3), 196–200. DOI: 10.14529/em210321

8. Бузмакова М.В., Полушкина И.Н. (2025) Влияние больших данных на экономическую деятельность и проблемы их стоимостной оценки. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 3–2, 204–211. DOI: 10.17513/vaael.4046

9. Христова С.М. (2025) Данные как товар: анализ противоречий теоретического и прагматического подхода. *Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление,* 1 (52), 77–86. DOI: 10.21777/2587-554X-2025-1-77-86

10. Магомедова О.С., Коваль А.А., Левашенко А.Д. (2020) Торговля данными: разные подходы, одна реальность. *Вестник РУДН. Серия: Юридические науки*, 24 (4), 1005–1023. DOI: 10.22363/2313-2337-2020-24-4-1005-1023

11. Каращук О.С., Майорова Е.А., Прохоров Ю.Н. (2018) «Большие данные» и перспективы их использования в предпринимательской деятельности. *Вестник НГИЭИ*, 10 (89), 77–87.

12. Алексеев К.Н. (2019) Роль больших данных в цифровой экономике. *Цифровая экономика*, 3 (7), 93–95. DOI: 10.34706/DE-2019-03-12

13. Liu F. (2024) Data Assets and Enterprise Total Factor Productivity. *Pacific International Journal*, 7 (6), 285–296. DOI: 10.55014/pij.v7i6.719

14. Queiroz M., Tallon P., Coltman T. (2024) Data Value and the Search for a Single Source of Truth: What is it and Why Does it Matter? *Proceedings of the 57th Hawaii International Conference on System Sciences*, 6636–6645. DOI: 10.24251/HICSS.2024.795

15. Möller F., Jussen I., Springer V., Gieß A., Schweihoff J.C., Gelhaar J., Guggenberger T., Otto B. (2024) Industrial data ecosystems and data spaces. *Electronic Markets*, 34 (1), art. no. 41. DOI: 10.1007/s12525-024-00724-0

16. Freitas N., Rocha A.D., Barata J. (2026) Data management in industry: concepts, systematic review and future directions. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 37, 799–827. DOI: 10.1007/s10845-025-02570-z

17. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Гаев К.Б. (2024) Методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и экосистемы на основе динамического коэволюционного потенциала. *π-Economy*, 17 (4), 153–178. DOI: 10.18721/JE.17410

18. Polenghi A., Roda I., Macchi M., Pozzetti A. (2022) Information as a key dimension to develop industrial asset management in manufacturing. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28 (3), 567–583. DOI: 10.1108/JQME-09-2020-0095

19. Su J., Yao S., Liu H. (2022) Data Governance Facilitate Digital Transformation of Oil and Gas Industry. *Frontiers in Earth Science*, 10, art. no. 861091. DOI: 10.3389/feart.2022.861091

20. Azkan C., Möller F., Iggena L., Otto B. (2022) Design Principles for Industrial Data-Driven Services. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 2379–2402. DOI: 10.1109/TEM.2022.3167737

21. Purtova N., van Maanen G. (2024) Data as an economic good, data as a commons, and data governance. *Law, Innovation and Technology*, 16 (1), 1–42. DOI: 10.1080/17579961.2023.2265270

22. Sarker S., Arefin M.S., Kowsher M., Bhuiyan T., Dhar P.K., Kwon O.J. (2022) A Comprehensive Review on Big Data for Industries: Challenges and Opportunities. *IEEE Access*, 11, 744–769. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3232526

23. Li Z., Liu C., Li W., Chen J., Kang Y. (2024) The Impact of Digital Economy Industry Development on Manufacturing Innovation Path Driven by Big Data. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 5523–5535. DOI: 10.1109/TEM.2024.3362065

24. Liu S., Tang S., Li Y. (2025) How Do Data Elements Affect High-Tech Enterprises' Competitiveness? Evidence from China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 62 (8), 2713–2732. DOI: 10.1080/1540496X.2025.2573440

25. Косолапова Н.А., Христова С.М. (2026) Многоуровневый анализ экономики данных. *Друкеровский вестник*, 2 (70), 91–111. DOI: 10.17213/2312-6469-2026-2-91-111

26. Христова С.М. (2025) Оборот промышленных данных: формирование регуляторных механизмов управления. *Общественные науки: исследования и практики: Стратегии развития общества и экономики в новой реальности*, 313–318.

27. Maamar Z., Benna A., Chikhaoui B. (2025) Data-as-an-Asset: Challenges and Futures Directions. *IT Professional*, 27 (4), 76–81. DOI: 10.1109/MITP.2025.3561079

28. Быстрицкий Д.В., Ермаков С.Г., Баталов Д.И. (2024) Трансформация управления данными в ОАО «РЖД». *Интеллектуальные технологии на транспорте*, 4 (40), 31–42. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-31-42

29. Xu D., Indulska M., Someh I.A., Shanks G. (2024) Time to reassess data value: the many faces of data in organizations. *The Journal of Strategic Information Systems*, 33 (4), art. no. 101863. DOI: 10.1016/j.jsis.2024.101863

30. Maheshwari J. (2025) Data Governance, Master Data Management, and Modern Solutions for Enterprise Data Trust. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 7 (8), 786–792. DOI: 10.32996/jcsts.2025.7.8.92

31. Исмагилова О.Д., Хаджи К.Р. (2020) Мировой опыт регулирования защиты, передачи и хранения данных. *Экономическая политика*, 15 (3), 152–175. DOI: 10.18288/1994-5124-2020-3-152-175

32. Краковская И.Н., Корокошко Ю.В., Слушкина Ю.Ю. (2024). Цифровая зрелость промышленных предприятий: опыт оценки. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, 2024, 40 (3), 433–459. DOI: 10.21638/spbu05.2024.305

REFERENCES

1. Auzan A.A. (2019) Digital Economy as an Economy: Institutional Trends. *Moscow University Economic Bulletin*, (6), 12–19. DOI: 10.38050/01300105201963

2. Huang L., Dou Y., Liu Y., Wang J., Chen G., Zhang X., Wang R. (2021) Toward a research framework to conceptualize data as a factor of production: The data marketplace perspective. *Fundamental Research*, 1 (5), 586–594. DOI: 10.1016/j.fmre.2021.08.006

3. Lin M., Chen W., Zhang W. (2024) The Era of Data as a Critical Production Factor. In: *Big Data Finance in China*, 1–20. DOI: 10.1007/978-981-97-7981-9_1

4. Kirichenko A.O., Zolkin A.L., Urusova A.B., Malova N.N. (2024) Research on the impact of big data on decisionmaking in the corporate sector. *Journal of Applied Research*, 2, 50–57. DOI: 10.47576/2949-1878.2024.2.2.007

5. Li C., Chen Y., Shang S. (2022) A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing. *Engineering Science and Technology, an International Journa*l, 29, art. no. 101021. DOI: 10.1016/j.jestch.2021.06.001

6. Hannila H., Silvola R., Harkonen J., Haapasalo H. (2022) Data-driven Begins with DATA; Potential of Data Assets. *Journal of Computer Information Systems*, 62 (1), 29–38. DOI: 10.1080/0887-4417.2019.1683782

7. Lyaskovskaya E.A. (2021) Capital Transformation in the Modern Economy: Digital Data Capital. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 15 (3), 196–200. DOI: 10.14529/em210321

8. Buzmakova M.V., Polushkina I.N. (2025) The impact of big data on economic activity and the problems of its valuation. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 3–2, 204–211. DOI: 10.17513/vaael.4046

9. Khristova S.M. (2025) Data as a commodity: an analysis of the contradictions of a theoretical and pragmatic approach. *Bulletin of Moscow Witte University. Series 1: Economics and Management*, 1 (52), 77–86. DOI: 10.21777/2587-554X-2025-1-77-86

10. Magomedova O.S., Koval A.A., Levashenko A.D. (2020) Trade in data: different approaches, one reality. *RUDN Journal of Law*, 24 (4), 1005–1023. DOI: 10.22363/2313-2337-2020-24-4-1005-1023

11. Karashchuk O.S., Mayorova E.A., Prokhorov Yu.N. (2018) Big data and prospects of their use in entrepreneurial activity. *Bulletin NGIEI*, 8 (87), 77–87.

12. Alekseev K. (2019) The role of a big data in the digital economy. *Digital Economy*, 3 (7), 93–95. DOI: 10.34706/DE-2019-03-12

13. Liu F. (2024) Data Assets and Enterprise Total Factor Productivity. *Pacific International Journal*, 7 (6), 285–296. DOI: 10.55014/pij.v7i6.719

14. Queiroz M., Tallon P., Coltman T. (2024) Data Value and the Search for a Single Source of Truth: What is it and Why Does it Matter? *Proceedings of the 57th Hawaii International Conference on System Sciences*, 6636–6645. DOI: 10.24251/HICSS.2024.795

15. Möller F., Jussen I., Springer V., Gieß A., Schweihoff J.C., Gelhaar J., Guggenberger T., Otto B. (2024) Industrial data ecosystems and data spaces. *Electronic Markets*, 34 (1), art. no. 41. DOI: 10.1007/s12525-024-00724-0

16. Freitas N., Rocha A.D., Barata J. (2026) Data management in industry: concepts, systematic review and future directions. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 37, 799–827. DOI: 10.1007/s10845-025-02570-z

17. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Gaev K.B. (2024) Methodology for assessing the digital maturity of an industrial enterprise and ecosystem based on dynamic coevolutionary potential. *π-Economy*, 17 (4), 153–178. DOI: 10.18721/JE.17410

18. Polenghi A., Roda I., Macchi M., Pozzetti A. (2022) Information as a key dimension to develop industrial asset management in manufacturing. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28 (3), 567–583. DOI: 10.1108/JQME-09-2020-0095

19. Su J., Yao S., Liu H. (2022) Data Governance Facilitate Digital Transformation of Oil and Gas Industry. *Frontiers in Earth Science*, 10, art. no. 861091. DOI: 10.3389/feart.2022.861091

20. Azkan C., Möller F., Iggena L., Otto B. (2022) Design Principles for Industrial Data-Driven Services. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 2379–2402. DOI: 10.1109/TEM.2022.3167737

21. Purtova N., van Maanen G. (2024) Data as an economic good, data as a commons, and data governance. *Law, Innovation and Technology*, 16 (1), 1–42. DOI: 10.1080/17579961.2023.2265270

22. Sarker S., Arefin M.S., Kowsher M., Bhuiyan T., Dhar P.K., Kwon O.J. (2022) A Comprehensive Review on Big Data for Industries: Challenges and Opportunities. *IEEE Access*, 11, 744–769. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3232526

23. Li Z., Liu C., Li W., Chen J., Kang Y. (2024) The Impact of Digital Economy Industry Development on Manufacturing Innovation Path Driven by Big Data. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 5523–5535. DOI: 10.1109/TEM.2024.3362065

24. Liu S., Tang S., Li Y. (2025) How Do Data Elements Affect High-Tech Enterprises' Competitiveness? Evidence from China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 62 (8), 2713–2732. DOI: 10.1080/1540496X.2025.2573440

25. Kosolapova N.A., Khristova S.M. (2026) Multilevel data economics analysis. *Drukerovskij vestnik*, 2 (70), 91–111. DOI: 10.17213/2312-6469-2026-2-91-111

26. Khristova S.M. (2025) Oborot promyshlennykh dannykh: formirovanie reguliatornykh mekhanizmov upravleniia [Industrial Data Circulation: Formation of Regulatory Management Mechanisms]. *Obshchestvennye nauki: issledovaniia i praktiki. "Strategii razvitiia obshchestva i ekonomiki v novoi real'nosti"* [*Social Sciences: Research and Practice. "Strategies for the Development of Society and the Economy in the New Reality"*], 313–318.

27. Maamar Z., Benna A., Chikhaoui B. (2025) Data-as-an-Asset: Challenges and Futures Directions. *IT Professional*, 27 (4), 76–81. DOI: 10.1109/MITP.2025.3561079

28. Bystrickiy D.V., Ermakov S.G., Batalov D.I. (2024) Transformation of Data Management in Russian Railways. *Intellectual Technologies on Transport*, 4, 31–42. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-31-42

29. Xu D., Indulska M., Someh I.A., Shanks G. (2024) Time to reassess data value: the many faces of data in organizations. *The Journal of Strategic Information Systems*, 33 (4), art. no. 101863. DOI: 10.1016/j.jsis.2024.101863

30. Maheshwari J. (2025) Data Governance, Master Data Management, and Modern Solutions for Enterprise Data Trust. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 7 (8), 786–792. DOI: 10.32996/jcsts.2025.7.8.92

31. Ismagilova O.D., Khadzhi K.R. (2020) Global Experience in Regulating Data Protection, Transfer and Storage. *Economic Policy*, 15 (3), 152–175. DOI: 10.18288/1994-5124-2020-3-152-175

32. Krakovskaya I.N., Korokoshko J.V., Slushkina Yu.Yu. (2024) Digital maturity of industrial enterprises: Evaluation experience. *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*, 40 (3), 433–459. DOI: 10.21638/spbu05.2024.305

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

КОСОЛАПОВА Наталья Алексеевна
E-mail: nakosolapova@sfedu.ru
Natalya A. KOSOLAPOVA
E-mail: nakosolapova@sfedu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9099-9062

ХРИСТОВА София Михайловна
E-mail: khriistova@yandex.ru
Sofia M. KHRISTOVA
E-mail: khriistova@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-9547-006X

Поступила: 05.06.2026; Одобрена: 14.07.2026; Принята: 14.07.2026.
Submitted: 05.06.2026; Approved: 14.07.2026; Accepted: 14.07.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 26–44.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 26–44.

Научная статья
УДК 338.24.004
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19402
EDN: https://elibrary/IPLSHL

УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ: КЛАСТЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Ю.С. Положенцева ✉, **В.В. Булатников**

Юго-Западный государственный университет, Курск, Российская Федерация

✉ polojenceva84@mail.ru

Аннотация. Наличие информационных систем само по себе не обеспечивает роста управляемости и производительности в организациях. Цифровые технологии становятся реальными инструментами управления бизнес-процессами только при их соответствии текущему уровню зрелости учреждения. В статье представлена методика кластерно-ориентированного выбора инновационных инструментов управления бизнес-процессами в медицинских организациях, которая основана на оценке их цифровой зрелости. Эмпирическую базу составили данные анкетирования 390 медицинских работников. С применением статистического анализа выявлен генеральный фактор цифровой зрелости, который объясняет оценку девяти ключевых бизнес-процессов. На основе генерального фактора построена типология из шести кластеров, объединенных в три зоны зрелости: низкую, среднюю и высокую. Низкая зона характеризуется высокой долей рутинных операций, слабой регламентацией и преобладанием бумажно-ручных практик. Средняя зона отражает переходное состояние. При нем отдельные цифровые сервисы уже используются, но их связь со сквозными маршрутами и управленческим контролем остается недостаточной. Высокая зона связана с более устойчивой цифровой архитектурой, но может потребовать решения задач дальнейшей интеграции данных, стандартизации и масштабирования успешных практик. Структура барьеров цифровой трансформации качественно меняется от ресурсных ограничений в низких кластерах к системным интеграционным проблемам в высоких. На этой основе разработаны индекс цифровой зрелости медицинской организации, диагностическая схема и инструмент быстрой самоидентификации. Разработанные элементы позволяют связать результаты статистической типологии с первичной управленческой диагностикой и определить, какие инструменты стоит применять в организации исходя из ее уровня зрелости. На примере двух медицинских организаций продемонстрирована логика адресного выбора и оценен экономический потенциал сокращения процессных потерь. Расчеты показывают, что сокращение рутинной нагрузки способно формировать экономию рабочего времени, снижение ошибок, ускорение маршрута пациента, уменьшение транзакционных потерь и повышение прозрачности управленческого контроля. Полученные результаты указывают на необходимость соотносить выбор цифровых решений с уровнем зрелости процессов, типом доминирующих барьеров и готовностью организации к следующему этапу цифровизации. Предложенная методика снижает риск внедрения инструментов, которые опережают фактические возможности организации. Она может применяться для типизации медицинских организаций и адресной поддержки цифровизации при внедрении инновационных инструментов управления бизнес-процессами.

Ключевые слова: управление бизнес-процессами, здравоохранение, цифровая зрелость, кластерный анализ, методика кластерно-ориентированного выбора, медицинские организации

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания «Концептуальные подходы к формированию механизмов национального экономического суверенитета Российской Федерации в условиях беспрецедентных глобальных вызовов» (№075-03-2026-489).

© Положенцева Ю.С., Булатников В.В., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Для цитирования: Положенцева Ю.С., Булатников В.В. (2026) Управление бизнес-процессами организации на основе инструментария оценки цифровой зрелости: кластерно-ориентированный подход. π-Economy, 19 (4), 26–44. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19402

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19402

MANAGING AN ORGANIZATION'S BUSINESS PROCESSES BASED ON A DIGITAL MATURITY ASSESSMENT TOOLKIT: A CLUSTER-ORIENTED APPROACH

Iu.S. Polozhentseva ✉ , **V.V. Bulatnikov**
Southwest State University, Kursk, Russian Federation
✉ polojenceva84@mail.ru

Abstract. The mere presence of information systems does not ensure higher manageability and productivity in organizations. Digital technologies become real tools for business process management only when they correspond to the current maturity level of the institution. The article presents a methodology for the cluster-based selection of innovative business process management tools in health care organizations based on the assessment of their digital maturity. The empirical basis consists of survey data from 390 medical workers. Using statistical analysis, a general factor of digital maturity was identified, which explains the evaluation of nine key business processes. Based on this general factor, a typology of six clusters was developed and grouped into three maturity zones: low, medium, and high. The low zone is characterized by a high share of routine operations, weak regulation, and the predominance of paper-based and manual practices. The medium zone reflects a transitional state. In this state, individual digital services are already used, but their connection with end-to-end pathways and management control remains insufficient. The high zone is associated with a more stable digital architecture, but may require further integration of data, standardization, and scaling of successful practices. The structure of digital transformation barriers changes qualitatively from resource constraints in low clusters to systemic integration problems in high clusters. On this basis, an integrated index of the digital maturity of a health care organization, a diagnostic scheme, and a rapid self-identification tool were developed. These elements make it possible to link the results of statistical typology with primary managerial diagnostics and to determine which tools should be applied in an organization based on its maturity level. Using the example of two health care organizations, the logic of targeted selection is demonstrated and the economic potential of reducing process losses is assessed. The calculations show that reducing routine workload can generate savings in working time, reduce errors, accelerate the patient pathway, decrease transaction losses, and increase the transparency of management control. The results indicate the need to align the choice of digital solutions with the maturity level of processes, the type of dominant barriers, and the organization's readiness for the next stage of digitalization. This reduces the risk of implementing tools that exceed the organization's actual digital capacity. The proposed methodology can be used for the typification of health care organizations and for targeted support of digitalization when implementing innovative business process management tools.

Keywords: business process management, healthcare, digital maturity, cluster analysis, cluster-based selection methodology, medical organizations

Acknowledgements: The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment "Conceptual approaches to the formation of mechanisms of national economic sovereignty of the Russian Federation in the context of unprecedented global challenges" (No. 075-03-2026-489).

Citation: Polozhentseva Iu.S., Bulatnikov V.V. (2026) Managing an organization's business processes based on a digital maturity assessment toolkit: a cluster-oriented approach. π-Economy, 19 (4), 26–44. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19402

© Polozhentseva Iu.S., Bulatnikov V.V., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Введение

Актуальность исследования

Цифровая трансформация здравоохранения достигла этапа, когда наличие информационных систем и электронных сервисов само по себе не обеспечивает роста управляемости и производительности. При схожей цифровой инфраструктуре одни медицинские организации демонстрируют слаженность процессов и удовлетворенность персонала, другие сохраняют высокие потери времени на рутинные операции и разрывы в координации. Цифровые технологии становятся реальными инструментами управления бизнес-процессами при их соответствии текущему уровню цифровой зрелости учреждения.

Современная система здравоохранения Российской Федерации функционирует в условиях нарастающей сложности процессов, ужесточения требований к качеству и безопасности, постоянного дефицита ресурсов [1]. Традиционная административно-функциональная модель управления, унаследованная от предыдущих этапов развития, несостоятельна. Подразделения оптимизируют локальные показатели, но на стыках возникают информационные разрывы, дублирование функций и задержки. Пациент, вынужденный самостоятельно координировать этапы лечебно-диагностического маршрута, становится невольным интегратором раздробленной системы [2].

Одним из ответов на эти ограничения стало смещение управленческого фокуса с работы отдельных подразделений на сквозные маршруты и повторяющиеся организационно-управленческие процедуры. В отличие от функционального, такой подход фокусируется на сквозных цепочках создания ценности, пересекающих границы подразделений. Методология управления бизнес-процессами (Business Process Management, BPM) предлагает циклическую модель: проектирование → исполнение → мониторинг → анализ → корректировка [3, 4]. Цифровые технологии перестают быть просто средством автоматизации и превращаются в источник новых управленческих возможностей. В близком к реальному времени отслеживаются отклонения, выявляются узкие места и эффект от изменений [5, 6].

Опыт цифровой трансформации в здравоохранении показывает, что внедрение отдельных ИТ-сервисов само по себе не гарантирует роста управляемости и производительности. Новые цифровые решения, будучи наложенными поверх старых организационных рутин, создают дополнительную нагрузку на персонал. Например, это приводит к дублированию информации в бумажном и электронном виде [7]. Основа проблем заключается в том, что цифровые технологии становятся реальным инструментом управления только тогда, когда они встроены в целостную архитектуру бизнес-процессов и подкреплены соответствующими изменениями в регламентах, распределении ответственности, системе контроля и организационной культуре [8–11].

Литературный обзор

В зарубежной и российской научной литературе накоплен значительный объем эмпирических и теоретических материалов по отдельным аспектам цифровизации здравоохранения. Но комплексных работ, которые бы объединяли уровень цифровой зрелости с выбором конкретных инструментов управления бизнес-процессами, до настоящего времени не представлено. Прежде всего, следует отметить фундаментальные труды в области управления бизнес-процессами: авторы М. Дюма и др., М. Хаммер и Дж. Чампи заложили основы методологии BPM [3, 4]. Они определили циклическую модель проектирования, исполнения, мониторинга и корректировки процессов. В развитие этого направления исследователь В. ван дер Аальст развил методологию процессного майнинга (Process Mining) [9]. Она позволяет на основе цифровых следов выявлять узкие места и отклонения в реальном времени. Кроме того, публикация М. Розманна и Й. фом Броке выделила шесть ключевых элементов BPM, которые в совокупности обеспечивают устойчивость процессного управления в организации [8].

Наряду с этим зарубежные исследователи активно изучали диффузию цифровых технологий непосредственно в медицинских организациях. Так, авторы А. Стумпос, Ф. Китсиос и М. Талиас проанализировали факторы принятия технологий в здравоохранении [5]. В своей классической работе по диффузии инноваций Э. Роджерс описал механизмы распространения новых практик, которые включают цифровые сервисы [6]. Исследователи А. Сантос, Ж.К.Л. Леал и Р. Балансиери, также Р.С. Каплан и Д.П. Нортон провели масштабный третичный обзор применения процессной аналитики в здравоохранении [12, 13]. Они определили, что без предварительной формализации процессов внедрение сложных аналитических инструментов оказывается неэффективным.

В свою очередь, отечественные исследователи сфокусировались на барьерах и драйверах цифровой трансформации российского здравоохранения [14–16]. В частности, в работе Ю.А. Морозовой проанализирована цифровая трансформация как фактор развития отрасли и выделены институциональные ограничения в этом направлении [17]. Исследователи Н.В. Заболотная, И.Н. Гатилова и А.Т. Заболотный оценили достижения и перспективы цифровизации и обратили внимание на кадровые и инфраструктурные проблемы [18]. Авторы Д.Е. Калуцкая и Е.Г. Николаенко рассмотрели современные информационные технологии управления сферой здравоохранения. Они также включили ERP-модули и системы планирования ресурсов как основу развития цифровых процессов [19]. Несмотря на разнообразие исследований, они не предлагают универсальной методики кластерно-ориентированного выбора инструментов управления бизнес-процессами, которые бы учитывали текущий уровень цифровой зрелости медицинской организации.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка методики кластерно-ориентированного выбора инструментов управления бизнес-процессами в здравоохранении, на основе оценки цифровой зрелости медицинской организации. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1) систематизировать теоретические подходы к процессному управлению и выделить ключевые рычаги и контуры цифровых решений;

2) эмпирически выявить латентную структуру цифровой зрелости и построить типологию медицинских организаций;

3) разработать интегральный показатель (индекс) цифровой зрелости медицинской организации и инструменты диагностики;

4) сформировать рекомендации для каждого кластера зрелости и оценить экономический потенциал сокращения процессных потерь в организациях.

Объектом исследования выступают бизнес-процессы медицинских организаций различного типа и уровня цифровой зрелости в контексте их цифровой трансформации. Предметом исследования является методический инструментарий оценки цифровой зрелости и кластерно-ориентированного выбора инновационных инструментов управления бизнес-процессами, который обеспечивает адресную поддержку цифровизации в здравоохранении.

Методы и материалы

Эмпирическую базу исследования составил онлайн-опрос медицинских работников, который был проведен в период с сентября по декабрь 2025 г. Выборка формировалась как целевая. К участию приглашались сотрудники медицинских организаций различных типов (от районных больниц до федеральных центров) и уровней (руководители, врачи, средний и младший медицинский персонал).

После многоступенчатой процедуры непредвзятой очистки данных (исключения неполных анкет, прямолинейных ответов и стратегий удовлетворения) итоговый массив уменьшился с 631 до 390 наблюдений. Это превышает минимально необходимый размер для обеспечения

статистической значимости ($n = 384$ при доверительной вероятности 95% и погрешности 5%). Проверка репрезентативности итоговой выборки путем сопоставления ее демографических характеристик с параметрами генеральной совокупности медицинских работников Российской Федерации показала отсутствие значимых расхождений.

Далее приводится список вопросов анкеты, которые были использованы в целях проведения данной работы. Структура анкеты включала несколько блоков. В первом блоке респондентов просили оценить по 10-балльной шкале (от 1 – «полностью не удовлетворен» до 10 – «полностью удовлетворен») эффективность девяти ключевых бизнес-процессов:

1) автоматизации документооборота;
2) автоматизации процессов согласования и утверждения;
3) интеграции медицинских информационных систем (МИС);
4) контроля выполнения управленческих задач;
5) координации между различными подразделениями;
6) мониторинга ключевых показателей эффективности (KPI);
7) прозрачности документооборота и отчетности;
8) равномерности распределения должностных обязанностей;
9) эффективности планирования и распределения ресурсов.

Далее следовал вопрос об интегральной удовлетворенности состоянием бизнес-процессов (также по 10-балльной шкале: от 1 – «полностью не удовлетворен» до 10 – «полностью удовлетворен»). Для оценки рутинной нагрузки задавался вопрос о ежедневных затратах времени на рутинные операции с вариантами: «Менее 10 минут», «10–30 минут», «30–60 минут», «1–2 часа», «Более 2 часов». Степень регламентации определялась вопросом о доступности и актуальности описанных регламентов для каждого бизнес-процесса с вариантами: «Доступны и актуальны», «Доступны, но устарели», «Частично доступны и актуальны», «Частично доступны, но устарели», «Недоступны». Понимание зон ответственности оценивалось через вопрос, насколько сотрудники осведомлены об обязанностях коллег, с вариантами: «Да», «Скорее да, чем нет», «Скорее нет, чем да», «Нет». Барьеры цифровой трансформации выявлялись через закрытый перечень из 13 управленческих препятствий:

1) законодательных (правовых) ограничений;
2) недостатка межведомственной интеграции;
3) недостатка финансирования;
4) неподготовленной ИТ-инфраструктуры;
5) нехватки времени на обучение и внедрение в текущей рабочей нагрузке;
6) низкой цифровой грамотности персонала;
7) отсутствия единых стандартов данных;
8) отсутствия понимания преимуществ у руководства;
9) отсутствия стратегического плана развития;
10 проблем с импортозамещением;
11) сопротивления изменению управленческих процедур;
12) технической сложности интеграции с устаревшими системами;
13) увеличения количества уязвимостей безопасности.

Наконец, практика контроля сроков исполнения задач изучалась через вопрос об используемых инструментах с вариантами: автоматизированными системами учета пациентов и услуг, бумажными журналами учета, едиными системами управления ресурсами и планирования, мобильными приложениями для управления задачами, обычными календарями и напоминаниями, системами мониторинга проектов, системами уведомлений о приближающихся крайних сроках, системами штрих/QR-кодирования для отслеживания процессов, устными договоренностями, электронными системами планирования.

Собранные данные обрабатывались с применением:

1) факторного анализа (метод главных компонент) для выявления латентной структуры цифровой зрелости;

2) иерархического кластерного анализа (метода Уорда) с последующим уточнением методом *k*-средних для типологизации организаций;

3) множественного регрессионного анализа для оценки вклада различных факторов в удовлетворенность процессами [20, 21].

Оптимальное число кластеров определялось на основе комплекса критериев (силуэтного коэффициента, индекса Дэвиса–Болдина, метода «локтя») [22–24]. Для количественной оценки экономического потенциала сокращения рутинных операций использовалась следующая методика. В качестве целевого ориентира принят уровень передовых организаций – около 25 минут в день (оценка на основе усредненных данных, взятых из кластеров 5–6 с учетом дальнейшего потенциала оптимизации). В расчет включены: численность медицинских работников Российской Федерации – 4,5 млн человек (по данным Росстата на 2023 г., округлена для упрощения расчетов), 250 рабочих дней в году, стоимость минуты рабочего времени – 6,45 руб. (исходя из среднемесячной заработной платы 65000 руб. и 168 рабочих часов в месяц). Эффект *Э* от сокращения рутинных операций оценивается по формуле:

$$Э = N * \Delta t * D * C, \quad (1)$$

где N – численность работников, Δt – сокращение времени (мин/день), D – число рабочих дней в году, C – стоимость минуты труда.

Косвенные эффекты (снижение числа ошибок, ускорение диагностики, снижение повторных обращений) оценивались на основе мультипликаторов, приведенных в зарубежных метаанализах [25–29].

На основе результатов факторного, регрессионного и кластерного анализов, которые были дополнены необходимыми показателями для диагностики цифровой зрелости организации, разработан индекс цифровой зрелости медицинской организации (ИЦЗМО). Он агрегирует шесть ключевых измерений: P – среднюю оценку девяти ключевых бизнес-процессов; S – интегральную удовлетворенность состоянием процессов; R – обратную оценку рутинной нагрузки; G – степень регламентации и понятности зон ответственности; B – профиль доминирующих барьеров; I – интеграционно-сервисный контур (публичный интернет-след организации). Индекс рассчитывается по формуле:

$$\text{ИЦЗМО} = 0,35 * P + 0,15 * S + 0,15 * R + 0,15 * G + 0,1 * B + 0,1 * I. \quad (2)$$

Выбор шести элементов обусловлен их различной диагностической функцией. Блок P объединяет девять оценок процессов, которые сформировали по результатам факторного анализа единый генеральный фактор. Блок S отражает итоговую удовлетворенность и используется как зависимая переменная регрессионной модели. Блок R характеризует временную рутинную нагрузку. Блок G фиксирует регламентацию и ясность зон ответственности. Блок B учитывает смену профиля барьеров от ресурсного к интеграционному. Блок I служит внешним верификационным контуром. Он отражает наблюдаемую связанность цифровых сервисов. В конечном счете, P и S формируют результативное ядро, R и G описывают внутреннюю организацию процессов, а B и I учитывают условия и внешние проявления цифровизации.

При формировании ИЦЗМО результаты факторного и регрессионного анализов были использованы для обоснования структуры индекса и распределения весовых коэффициентов между его компонентами. Вес 0,35 присвоен блоку P, поскольку генеральный процессный фактор

объясняет 69,5% дисперсии и выступает сильнейшим предиктором удовлетворенности (β = = 0,776; R^2 = 0,599). Оставшиеся 0,65 распределены между внутренними диагностическими блоками *S*, *R* и *G* по 0,15 и корректирующими блоками *B* и *I* по 0,1. Такое распределение сохраняет ведущую роль процессного блока. Остальные показатели помогают точнее определить уровень зрелости и подобрать управленческие инструменты.

Все блоки нормируются на шкалу от 0 до 100. Для блока *P* используется преобразование: *P* = (средний балл процессов/10) * 100. Для блока *S* – аналогично. Для блока *R* применяется ступенчатая шкала: менее 10 минут рутины – 100 баллов, 10–30 минут – 80, 30–60 минут – 60, 60–120 минут – 40, более 120 минут – 20. Блок G оценивается по доле актуальных регламентов и четкости зон ответственности. Блок *B* учитывает тип барьеров: ресурсные – 20 баллов, смешанные – 50, системные (интеграционные) – 80. Блок *I* оценивается по шести компонентам публичного интернет-следа (каналам входа, самообслуживанию, возврату информации, маршрутизации, транзакционной насыщенности, платформенной интеграции) с переводом в шкалу 0–100.

На основе значения ИЦЗМО организация может быть отнесена к одной из трех укрупненных зон зрелости: низкой (0–40 баллов), средней (41–70 баллов) или высокой (71–100 баллов). Это соответствует кластерам 1–2, 3–4 и 5–6. Дополнительно вводятся логико-ограничительные правила. Например, если более 40% сотрудников используют бумажные журналы или устные договоренности, то организация не может быть отнесена выше средней зоны.

Полная логическая схема диагностики уровня зрелости медицинской организации, которая включает сбор данных, расчет ИЦЗМО, идентификацию кластера и выбор приоритетного пакета инструментов, представлена на рис. 1. Для быстрой оценки в условиях ограниченной информации разработана методика быстрой самоидентификации из семи вопросов (рис. 2).

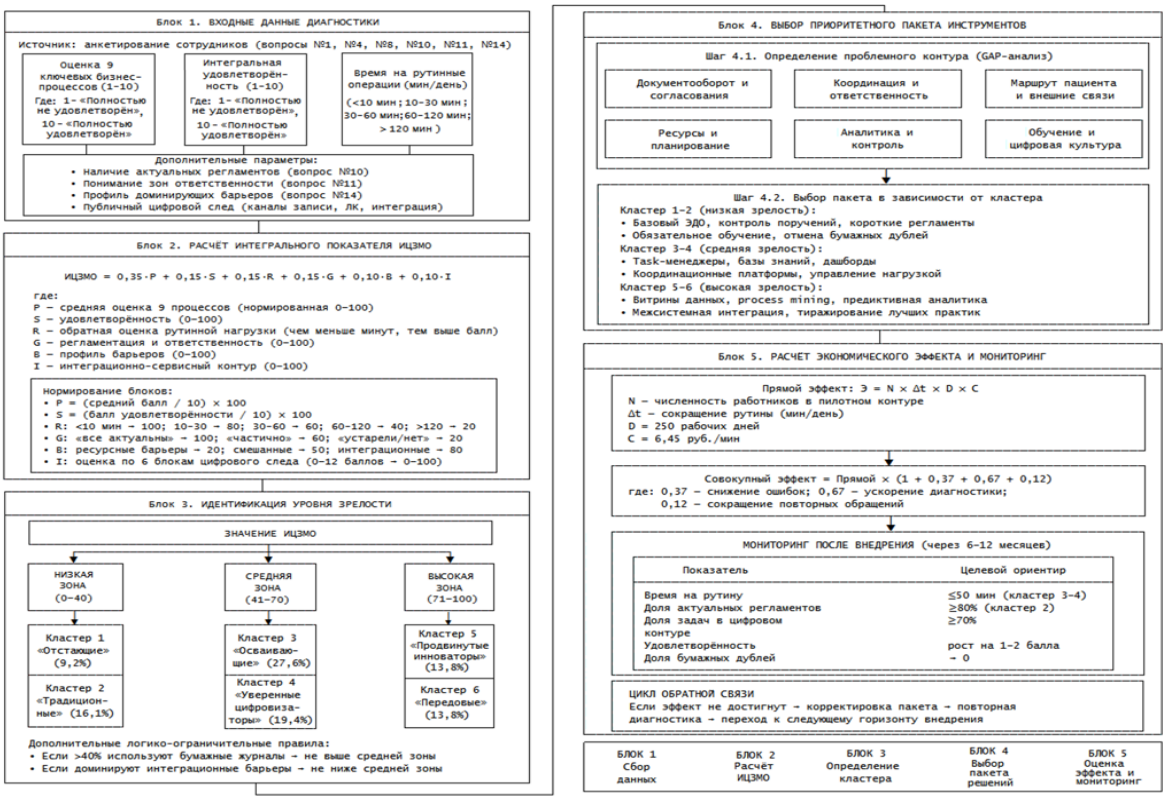
Результаты и обсуждение

Факторный анализ оценок девяти ключевых бизнес-процессов показал, что все они тесно связаны между собой и образуют единый генеральный фактор, который объясняет 69,5% общей дисперсии. Факторные нагрузки всех процессов находятся в диапазоне от 0,765 до 0,845. Эти результаты свидетельствуют о высокой степени интегральности восприятия. Респонденты склонны оценивать цифровую зрелость своей организации целостно, не разделяя отдельные процессы. Если организация воспринимается ими как передовая, то почти все процессы получают высокие оценки, если как отстающая – низкие.

Корреляционный анализ подтвердил этот вывод. Все парные корреляции между процессами положительны и находятся в диапазоне от 0,546 до 0,76, а 88,9% корреляций попадают в зону сильных связей (0,5–0,7). Отсутствие умеренных корреляций говорит о том, что респонденты не разделяют отдельные аспекты цифровизации, а воспринимают ее как единое качество организационной среды. Это подтверждает выводы факторного анализа, упрощает диагностику и позволяет избежать избыточной детализации при формировании рекомендаций.

Регрессионный анализ, в котором зависимой переменной выступала общая удовлетворенность состоянием бизнес-процессов, показал, что генеральный фактор цифровой зрелости является сильнейшим предиктором: он объясняет 59,9% вариации удовлетворенности (R^2 = = 0,599), а стандартизированный коэффициент β составляет 0,776 ($p < 0,001$). Демографические характеристики (возраст, стаж, должность) и количество воспринимаемых барьеров при контроле генерального фактора теряют статистическую значимость. Это ключевой результат, который показывает, что именно цифровая зрелость организации является главным драйвером удовлетворенности и эффективности, а не возраст, стаж или должность.

Для выделения устойчивых типов организаций по уровню цифровой зрелости был применен иерархический кластерный анализ методом Уорда с последующим уточнением методом



Источник: разработано В.В. Булатниковым.

Рис. 1. Полная логическая схема диагностики уровня зрелости медицинской организации

Fig. 1. Complete logical scheme for diagnosing the maturity level of a medical organization

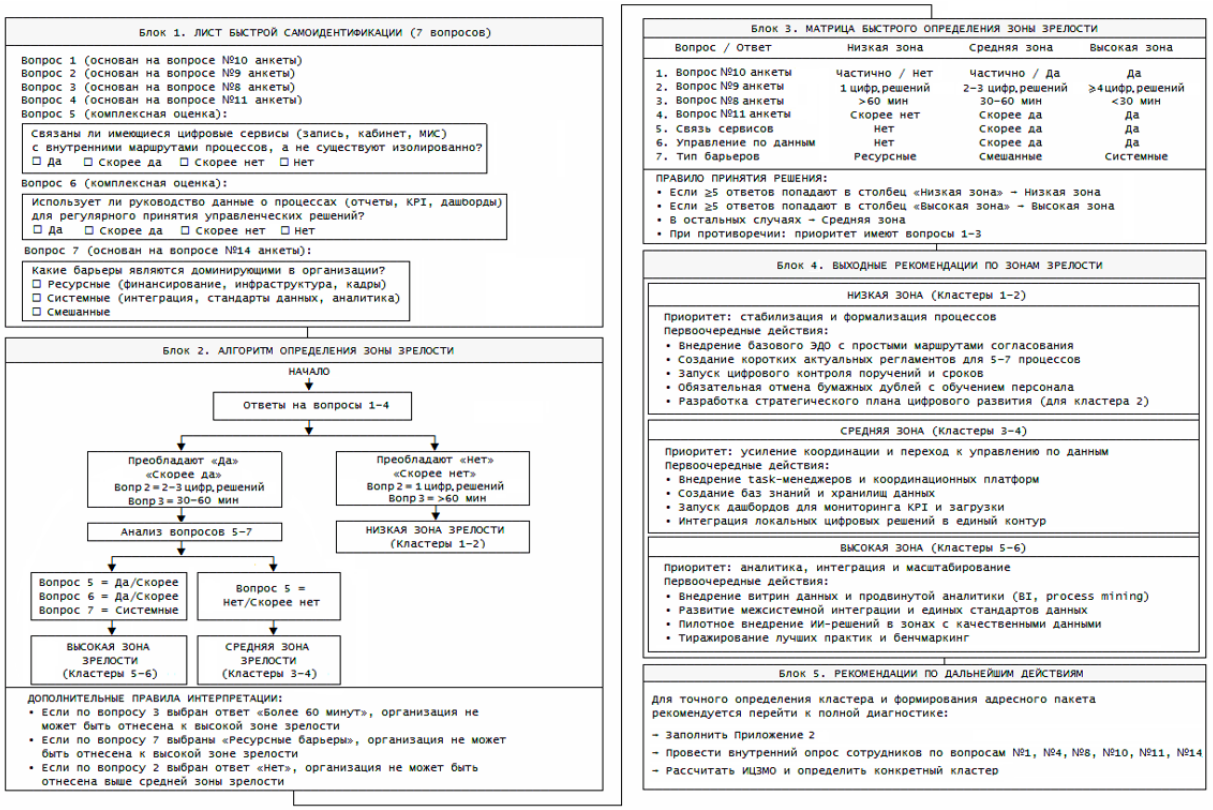
k-средних. Оптимальное число кластеров определялось на основе комплекса критериев (силуэтного коэффициента, индекса Дэвиса–Болдина, метода «локтя»). Наиболее информативным является анализ силуэтного коэффициента, который достигает максимального значения (0,622) при шести кластерах [22–24]. Консенсусным решением на основе двух критериев были выбраны шесть кластеров (рис. 3).

Характеристики выделенных шести кластеров представлены в табл. 1. Такой анализ позволяет выделить три укрупненные категории организаций.

Организации с низким уровнем зрелости (кластеры 1–2) составляют 25,3% выборки и характеризуются средней оценкой процессов ниже 5 баллов, удовлетворенностью ниже 5 баллов и высокой рутинной нагрузкой (свыше 90 минут в день). Организации со средним уровнем зрелости (кластеры 3–4), самая массовая группа (47% выборки), демонстрируют промежуточные значения (оценки процессов 5,9–7,2 балла, удовлетворенность 6,1–7,5 балла, рутинная нагрузка около 60 минут в день). Организации с высоким уровнем зрелости (кластеры 5–6) составляют 27,6% выборки, имеют оценки процессов выше 8 баллов, удовлетворенность выше 8 баллов и рутинную нагрузку менее 50 минут в день.

График демонстрирует рост оценок по многим процессам при переходе от кластера 1 к кластеру 6 (рис. 4). Подтверждается интегральный характер цифровой зрелости. Продвижение организации вверх сопровождается системным улучшением большинства показателей процессного контура.

Тепловая карта структуры барьеров показывает качественный сдвиг по мере роста цифровой зрелости (рис. 5). В табл. 2 представлены наиболее часто отмечаемые барьеры для каждого кластера.



Источник: разработано В.В. Булатниковым.

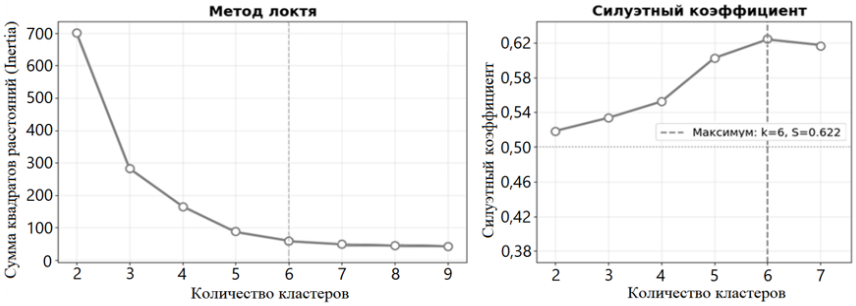
Рис. 2. Методика быстрой самоидентификации уровня зрелости медицинской организации

Fig. 2. Technique of rapid self-identification of the maturity level of a medical organization

Таблица 1. Типы медицинских организаций по уровню цифровой зрелости
Table 1. Types of medical organizations by the level of digital maturity

№	Кластер	Доля, %	Средняя оценка процессов	Средняя удовлетворенность	Рутинная нагрузка, мин/день	Типичный организационный профиль (на основе характеристик)
1	Отстающие	9,2	2,45	2,75	113,6	Руководители малых муниципальных учреждений (менее 10 тыс. жителей), возраст старше 55 лет
2	Традиционные организации	16,1	4,58	4,87	90,4	Специалисты среднего и старшего возраста в городах 100–500 тыс. чел.
3	Осваивающие цифровизацию	27,6	5,94	6,12	59,4	Молодой средний медицинский персонал в средних городах
4	Уверенные цифровизаторы	19,4	7,21	7,45	62,6	Молодые врачи крупных городских больниц
5	Продвинутые инноваторы	13,8	8,12	8,34	48,5	Смешанный состав в городах 100–500 тыс. чел.
6	Передовые организации	13,8	8,98	9,05	48,5	Молодые специалисты мегаполисов

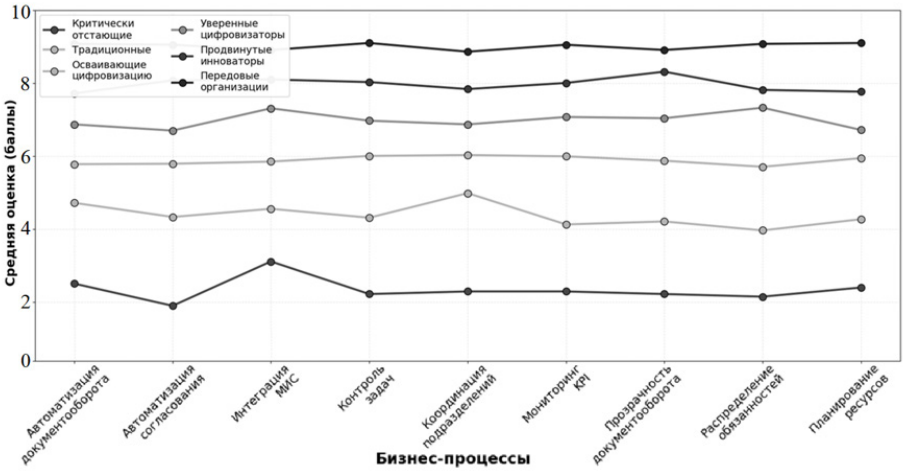
Источник: разработано авторами.



Источник: разработано авторами.

Рис. 3. Определение количества кластеров цифровой зрелости

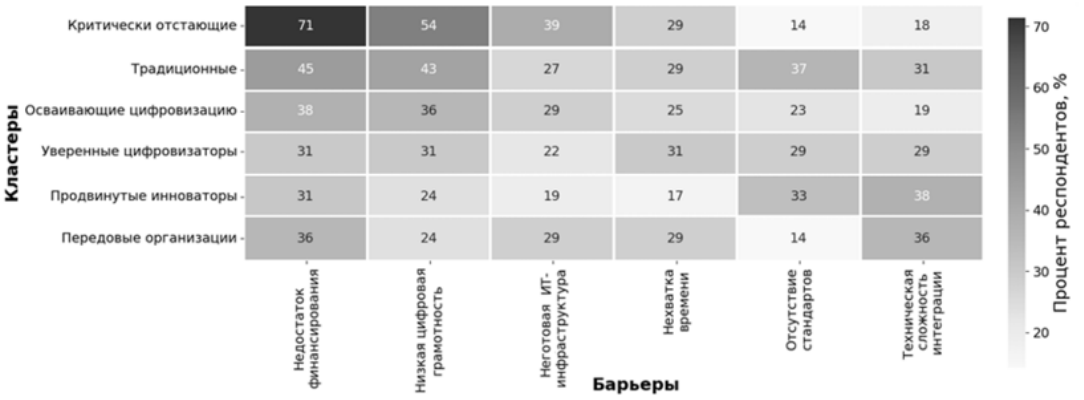
Fig. 3. Determining the number of digital maturity clusters



Источник: разработано авторами.

Рис. 4. Профили кластеров по средним оценкам бизнес-процессов

Fig. 4. Cluster profiles based on average estimates of business processes



Источник: разработано авторами.

Рис. 5. Структура барьеров по мере роста цифровой зрелости

Fig. 5. Structure of barriers as digital maturity grows

Таблица 2. Топ-3 барьера цифровой трансформации по кластерам
Table 2. Top 3 barriers to digital transformation by cluster

Кластер	1-й барьер (% указавших)	2-й барьер (% указавших)	3-й барьер (% указавших)
1. Отстающие	Недостаток финансирования (71,4%)	Низкая цифровая грамотность (53,6%)	Неподготовленная ИТ-инфраструктура (39,3%)
2. Традиционные	Недостаток финансирования (44,9%)	Низкая цифровая грамотность (42,9%)	Отсутствие стратегического плана (38,8%)
3. Осваивающие цифровизацию	Недостаток финансирования (38,1%)	Низкая цифровая грамотность (35,7%)	Неподготовленная ИТ-инфраструктура (28,6%)
4. Уверенные цифровизаторы	Недостаток финансирования (30,5%)	Нехватка времени (30,5%)	Низкая цифровая грамотность (30,5%)
5. Продвинутые инноваторы	Техническая сложность интеграции (38,1%)	Отсутствие единых стандартов данных (33,3%)	Недостаток финансирования (31,0%)
6. Передовые организации	Недостаток финансирования (35,7%)	Техническая сложность интеграции (35,7%)	Неподготовленная ИТ-инфраструктура (28,6%)

Источник: разработано авторами.

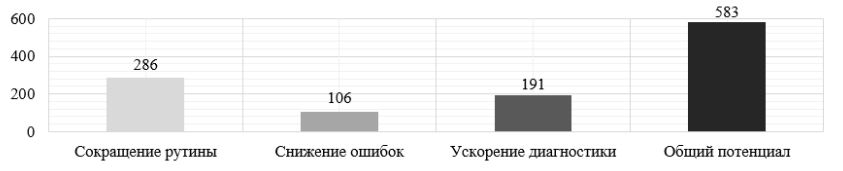
В низких кластерах (1–2) доминируют базовые ресурсные ограничения: недостаток финансирования, низкая цифровая грамотность персонала, неподготовленная ИТ-инфраструктура. Это можно назвать «ловушкой выживания», когда организация не может приступить к системной цифровизации из-за отсутствия элементарной инфраструктуры [30].

В среднем кластере (3–4) наряду с финансовыми ограничениями на первый план выходят нехватка времени в текущей рабочей нагрузке и низкая цифровая грамотность. Организации уже имеют некоторую инфраструктуру, но персонал не успевает осваивать новые инструменты в условиях высокой интенсивности лечебного процесса.

В высоких кластерах (5–6) акцент смещается на системные и интеграционные проблемы: техническую сложность интеграции, отсутствие единых стандартов данных. Это «ловушка зрелости», когда базовые проблемы решены, но возникают новые вызовы, связанные с необходимостью объединения разнородных систем и обеспечения связанности. Недостаток финансирования присутствует в тройке ведущих барьеров во всех шести кластерах.

С экономической точки зрения представляется возможным сократить повседневные потери рабочего времени, которые напрямую влияют на производительность труда и эффективность использования кадровых ресурсов. Как показано в табл. 1, среднее время, затрачиваемое на рутинные операции, составляет по выборке 64,4 минуты в день. При этом в кластере 1 – 113,6 минут, в кластере 2 – 90,4 минуты, а в передовых 5–6 – 48,5 минуты. Расчет по формуле (1) дает следующие результаты: при $\Delta t = 64{,}4 - 25 = 39{,}4$ минуты в день прямой эффект составляет 285,9 млрд руб. в год.

Цифровизация бизнес-процессов также дает и косвенные эффекты, подтвержденные мета-анализами зарубежных исследований [25–29]. Это снижение числа ошибок и возвратов (+37% к прямому эффекту), в пересчете – 105,7 млрд руб.; ускорение диагностики и начала лечения (+67%) – 191,4 млрд руб.; снижение повторных обращений и транзакционных потерь (+12%) – 34,3 млрд руб. Приведенные мультипликаторы являются усредненными значениями и отражают обобщенную международную практику. В рамках данной работы они используются для иллюстративной оценки потенциального масштаба экономии. При применении методики к конкретному учреждению коэффициенты могут уточняться с учетом организационной специфики. Совокупный годовой экономический потенциал цифровой трансформации оценивается в 583 млрд руб. (рис. 6).



Источник: разработано авторами.

Рис. 6. Экономический потенциал сокращения процессных потерь, млрд руб.

Fig. 6. Economic potential of reducing process losses, billion rubles

Поэтому можно констатировать, что прямая экономия времени – это лишь нижняя граница эффекта. Когда снижаются ошибки, сокращаются лишние касания и ускоряется прохождение маршрута. Цифровая зрелость начинает работать как экономический мультипликатор.

Представленная эмпирическая типология организаций и интегральный показатель ИЦЗМО образуют аналитическое ядро предложенного диагностического инструмента. Но практическая ценность любой методики определяется доступностью для понимания конечным пользователем, руководителем медицинской организации. Для ответа на вопрос, как определить стартовую точку для внедрения изменений и выбрать адекватный пакет цифровых решений, проведена модельная демонстрация алгоритма применения разработанного инструмента быстрой самоидентификации, который представлен на рис. 2.

Организация с переходным уровнем зрелости (на примере МЦ «Медассист»). При анализе публичного цифрового профиля (официальный сайт[1], личный кабинет[2], региональные сервисы) были зафиксированы следующие наблюдаемые признаки: круглосуточная онлайн-запись на сайте и в личном кабинете, широкие возможности самообслуживания, доступ к медицинской документации, онлайн-оплата, отсутствие интеграции с ЕГИСЗ и региональными порталами (табл. 3).

Итог: три ответа находятся в высокой зоне, четыре ответа – в средней зоне. По правилу принятия решения, которое представлено в методике быстрой самоидентификации уровня зрелости медицинской организации (рис. 2), при отсутствии явного доминирования одной зоны организация относится к средней зоне зрелости. Конфигурация признаков соответствует переходному состоянию между кластерами 3 и 4 («Осваивающие цифровизацию» / «Уверенные цифровизаторы»).

Для количественного уточнения результата был рассчитан ИЦЗМО по полной логической схеме диагностики (рис. 1). Поскольку по результатам быстрой самоидентификации МЦ «Медассист» находится в переходном состоянии между кластерами 3 и 4, для расчета использованы средние значения этих двух кластеров. Средняя оценка процессов составила: (5,94 + 7,21) / 2 = = 6,58, следовательно, $P = 65{,}8$. Интегральная удовлетворенность составила: (6,12 + 7,45) / 2 = = 6,79, следовательно, $S = 67{,}9$. Средняя рутинная нагрузка по кластерам 3–4 составила: (59,4 + + 62,6) / 2 = 61 минуту в день, соответствует $R = 40$. С учетом развитого личного кабинета и формализованного сервисного контура $G = 100$. Профиль барьеров является системным, поэтому $B = 80$. Индекс внешней цифровой наблюдаемости составляет $I = 75$.

$$\text{ИЦЗМО} = 0{,}35 * 65{,}8 + 0{,}15 * 67{,}9 + 0{,}15 * 40 + \\ + 0{,}15 * 100 + 0{,}10 * 80 + 0{,}10 * 75 = 69{,}7. \quad (3)$$

[1] *МЦ «Медассист»*. [online] Available at: https://medassist-k.ru/ [Accessed 08.05.2026] (in Russian).

[2] Личный кабинет. *МЦ «Медассист»*. [online] Available at: https://medassist-k.ru/clients/lichnyy-kabinet/ [Accessed 08.05.2026] (in Russian).

Таблица 3. Быстрая самоидентификация на примере МЦ «Медассист»
Table 3. Quick self-identification using the example of the MC «Medassist»

Вопрос 1 (регламенты)	Наличие развитого личного кабинета с детальной документацией, а также высокий уровень сервиса позволяют предположить, что ключевые бизнес-процессы формализованы. Оценка – «Да, все доступны и актуальны».
Вопрос 2 (цифровой контроль сроков и поручений)	Личный кабинет автоматически подтверждает запись и отмену, но внутренние поручения, вероятно, координируются вручную, так как публичных следов Таск-менеджеров нет. Оценка – «Скорее да» (смешанный режим).
Вопрос 3 (рутинная нагрузка)	Для организаций переходной зоны (кластеры 3–4) характерна нагрузка около 60 минут в день, что не позволяет ответить «менее 30 минут». Оценка – «30–60 минут».
Вопрос 4 (зоны ответственности)	Частный центр с плоской управленческой структурой, как правило, обеспечивает четкое понимание обязанностей. Оценка – «Да».
Вопрос 5 (связь сервисов с маршрутами)	Развитый фронт-офис существует, но автоматическая маршрутизация после получения результатов отсутствует. Оценка – «Скорее да» (частичная связность).
Вопрос 6 (управление по данным)	Наличие бонусной программы и онлайн-оплаты предполагает аналитику клиентского поведения, но операционное управление загрузкой, вероятно, опирается на данные не в полной мере. Оценка – «Скорее да».
Вопрос 7 (тип барьеров)	Инфраструктурных ограничений не наблюдается, основные проблемы лежат в плоскости интеграции и отсутствия сквозной автоматизации. Оценка – «Системные».

Источник: разработано авторами.

Полученное значение относится к верхней части средней зоны зрелости. Это подтверждает, что МЦ «Медассист» имеет развитый внешний цифровой сервис и высокий уровень фронт-офисной цифровизации, но еще не переходит в высокую зону зрелости из-за отсутствия замкнутости внутренних маршрутов, отсутствия выявленной интеграции с внешним интеграционным контуром и сохранения рутинной нагрузки, которая типична для организаций среднего уровня зрелости. Поэтому приоритетом должны стать инструменты координации и аналитики. Это автоматические сценарии повторного приглашения пациентов, контроль неявок, дашборды возврата пациентов и интеграция сервисного контура с внутренними маршрутами лечения.

Организация с низким уровнем зрелости (на примере ОБУЗ «Курская городская больница № 1 им. Н.С. Короткова»). Анализ публичного цифрового профиля (официальный сайт[3], запись через «Госуслуги»[4]) показал: электронная запись через портал «Госуслуг» присутствует, но личный кабинет на сайте больницы отсутствует, результаты анализов онлайн получить нельзя, онлайн-оплата и бонусные программы не представлены, глубина интеграции с ЕГИСЗ ограничена базовым функционалом (табл. 4).

Итог: шесть ответов из семи попадают в низкую зону. По правилу принятия решения, которое представлено в методике быстрой самоидентификации уровня зрелости медицинской организации (рис. 2), организация относится к низкой зоне зрелости. Совокупность признаков близка к профилю кластера 2 («Традиционные организации»).

Для количественного уточнения результата был рассчитан ИЦЗМО по полной логической схеме диагностики (рис. 1). Поскольку по результатам быстрой самоидентификации ОБУЗ «Курская городская больница № 1 им. Н.С. Короткова» соответствует кластеру 2, для расчета использованы средние значения данного кластера. Средняя оценка процессов в кластере 2 составляет 4,58, следовательно, $P = 45{,}8$. Интегральная удовлетворенность составляет 4,87, следовательно,

[3] *ОБУЗ «Курская городская больница №1 им. Н.С. Короткова»*. [online] Available at: http://kur-gb1.ru/ [Accessed 08.05.2026] (in Russian).
[4] Электронная запись. *ОБУЗ «Курская городская больница №1 им. Н.С. Короткова»*. [online] Available at: http://kur-gb1.ru/elektronnaya-zapis/ [Accessed 08.05.2026] (in Russian).

Таблица 4. Быстрая самоидентификация на примере ОБУЗ «Курская городская больница № 1 им. Н.С. Короткова»
Table 4. Quick self-identification using the example of Regional Budgetary Healthcare Institution "Korotkov Kursk City Hospital No. 1"

Вопрос 1 (регламенты)	Государственное учреждение обязано иметь регламенты, но их актуальность и полнота могут быть недостаточными. Оценка – «Частично доступны / устарели».
Вопрос 2 (цифровой контроль сроков и поручений)	Отсутствие явных цифровых инструментов указывает на преобладание ручных и устных практик. Оценка – «Нет» (преобладают бумажные/устные практики).
Вопрос 3 (рутинная нагрузка)	Для кластера 2 средняя нагрузка составляет 90,4 минуты в день. Оценка – «Более 60 минут».
Вопрос 4 (зоны ответственности)	Внутри отделений, вероятно, «Да», но между подразделениями возможны разрывы. Оценка – «Скорее да, чем нет».
Вопрос 5 (связь сервисов с маршрутами)	Электронная запись существует изолированно от внутренних процессов. Оценка – «Скорее нет / Нет».
Вопрос 6 (управление по данным)	Маловероятно в условиях низкой цифровизации. Оценка – «Скорее нет / Нет».
Вопрос 7 (тип барьеров)	Присущи ресурсные и кадровые барьеры (недостаток финансирования, низкая цифровая грамотность). Оценка – «Ресурсные».

Источник: разработано авторами.

$S = 48{,}7$. Средняя рутинная нагрузка составляет 90,4 минуты в день, соответствует $R = 40$. Регламенты частично доступны, но имеют признаки устаревания, поэтому $G = 20$. Профиль барьеров является смешанным, так как сочетаются ресурсные, организационные и технические ограничения, поэтому $B = 50$. Индекс внешней цифровой наблюдаемости составляет $I = 25$.

$$\text{ИЦЗМО} = 0{,}35 * 45{,}8 + 0{,}15 * 48{,}7 + 0{,}15 * 40 + \\ + 0{,}15 * 20 + 0{,}10 * 50 + 0{,}10 * 25 = 39{,}8. \quad (4)$$

Полученное значение относится к низкой зоне зрелости. Оно находится близко к ее верхней границе. Это показывает, что формальное наличие электронной записи не сопровождается достаточной зрелостью внутренних бизнес-процессов. Для организации характерны высокая рутинная нагрузка, слабая связность цифровых сервисов с внутренними маршрутами, ограниченная аналитика и сохранение бумажно-ручных практик. Поэтому первичный пакет решений должен быть связан не с продвинутой аналитикой, а с базовой управленческой реконфигурацией. Это актуализация коротких регламентов, внедрение электронного документооборота, цифровой контроль поручений и постепенная отмена бумажных дублей там, где цифровой контур уже создан.

Приведенная демонстрация показывает, что разработанный инструмент (рис. 1, 2) позволит в условиях ограниченной внешней информации провести первичную диагностику, отнести организацию к определенному кластеру зрелости и сформировать логически обоснованный, а не универсальный пакет управленческих решений.

Полученные результаты вносят вклад в развитие теории и практики управления бизнес-процессами в здравоохранении. Выявленный генеральный фактор цифровой зрелости (объясняющий 69,5% дисперсии) подтверждает тезис об интегральном характере цифровой трансформации, который ранее обсуждался в работах [8, 10], но не был эмпирически проверен в российских организациях. Сравнение с зарубежными исследованиями показывает, что структура барьеров в

российских медицинских организациях имеет свою специфику. Так, недостаток финансирования остается доминирующим барьером на всех уровнях зрелости [5, 12, 25]. Тогда как в работе зарубежных ученых А. Сантоса, Ж.К.Л. Леала и Р. Балансиери на первый план в высокоразвитых системах выходят проблемы совместимости и стандартизации данных [12]. Это расхождение можно объяснить разной степенью финансирования и уровнем базовой цифровизации. В отличие от работ, которые предлагают универсальные дорожные карты цифровизации, предложенная методика кластерно-ориентированного выбора позволяет избежать ошибки «перепрыгивания» через этапы, когда организация с низкой зрелостью пытается внедрить сложные аналитические инструменты, хотя и не имеет базовой формализации процессов [17, 19]. Это соответствует принципам эволюционного развития BPM, описанным М. Хаммером, М. Розманном и Й. фом Броке [8, 10].

Заключение

В результате проведенного исследования получены следующие основные выводы, обладающие научной значимостью:

1. Систематизированы теоретические подходы к процессному управлению в здравоохранении. На основе обзора литературы выделены шесть ключевых рычагов повышения эффективности бизнес-процессов (формализация и регламентация, исполнение и координация, контроль и аналитика, ресурсное обеспечение, интеграция данных, человеческий капитал и культура) и четыре контура цифровых решений (формализация и цифровое исполнение, координация и интеграция, аналитика и поддержка решений, инфраструктурная устойчивость).

2. Эмпирически обоснована латентная структура цифровой зрелости медицинских организаций. Факторный анализ (n = 390) показал, что оценки девяти ключевых бизнес-процессов образуют единый генеральный фактор, объясняющий 69,5% дисперсии. Построена типология из шести кластеров, различающихся по уровню зрелости: низкий (кластеры 1–2, 25,3% выборки), средний (кластеры 3–4, 47%), высокий (кластеры 5–6, 27,6%). Выявлена качественная смена структуры барьеров: от ресурсных ограничений в низких кластерах к системным интеграционным проблемам в высоких.

3. Разработан интегральный показатель ИЦЗМО с весами, обоснованными статистическими результатами и функциональной ролью диагностических блоков (R^2 = 0,599, β = 0,776). Созданы практические инструменты диагностики: полная логическая схема (рис. 1) и лист быстрой самоидентификации из семи вопросов (рис. 2). Последняя позволяет руководителю определить стартовую зону зрелости без углубленного аудита.

4. На модельных примерах (частный МЦ «Медассист» со средней зрелостью; и государственное ОБУЗ «Курская городская больница № 1 им. Н.С. Короткова» с низкой зрелостью) продемонстрирована логика кластерно-ориентированного выбора. Для низкой зрелости приоритетны инструменты первого контура (формализация и цифровое исполнение), для средней – инструменты второго и третьего контуров (координация и аналитика).

Предложенная методика кластерно-ориентированного выбора инструментов управления бизнес-процессами в здравоохранении позволяет медицинской организации определить свою стартовую позицию, выявить приоритетные зоны вмешательства и выстроить рациональный маршрут цифрового развития. Она может применяться как на уровне отдельного учреждения, так и региональными органами управления здравоохранением для типизации учреждений и адресной поддержки цифровизации.

Направления дальнейших исследований

Направления дальнейших исследований должны быть связаны с уточнением диагностического инструмента управления бизнес-процессами в организации в условиях цифровой трансформации. Также необходимо расширить число примеров медицинских организаций разных

типов: государственных, частных, городских и районных. Такой подход позволит проверить, насколько устойчиво ИЦЗМО распределяет организации по зонам зрелости и какие показатели сильнее всего влияют на итоговую оценку. Сравнение организаций по уровню цифровой зрелости организации позволит сопоставить, в каких случаях сокращенная методика дает достаточно точный результат, а когда требуется углубленная оценка. По результатам таких исследований появится возможность уточнить блок внешнего цифрового следа в методике быстрой самоидентификации уровня зрелости медицинской организации. Также это позволит точнее определить минимальный набор открытых признаков, которые достаточны для первичной оценки зрелости организации. В дальнейшем можно будет уточнить пороговые значения для отнесения организаций к низкой, средней и высокой зонам зрелости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ковалева И.П., Воблая И.Н., Заярная И.А., Ирицян Г.Э., Стрижак М.С. (2026) Актуальные тенденции развития здравоохранения. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*, 34 (1), 5–11. DOI: 10.32687/0869-866X-2026-34-1-5-11

2. Перхов В.И., Каприн Д.А. (2025) «Организационные патологии» высокотехнологичной медицинской помощи. Часть 1: диагностика. *ОРГЗДРАВ: Новости. Мнения. Обучение. Вестник ВШОУЗ*, 11 (4), 102–115. DOI: 10.33029/2411-8621-2025-11-4-102-115

3. Dumas M., La Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. (2013) *Fundamentals of Business Process Management*, Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-33143-5

4. Hammer M., Champy J. (2009) *Reengineering the Corporation: Manifesto for Business Revolution*, New York: A. Zondervan.

5. Stoumpos A.I., Kitsios F., Talias M.A. (2023) Digital Transformation in Healthcare: Technology Acceptance and Its Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20 (4), art. no. 3407. DOI: 10.3390/ijerph20043407

6. Rogers E.M. (2003) *Diffusion of Innovations*, 5th ed., NY: Free Press.

7. White R.S. (2001) Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know. *The Journal of Technology Transfer*, 26, 396–397. DOI: 10.1023/a:1011199223173

8. Rosemann M., vom Brocke J. (2015) The Six Core Elements of Business Process Management. In: *Handbook on Business Process Management 1* (eds. J. vom Brocke, M. Rosemann), Berlin, Heidelberg: Springer, 105–122. DOI: 10.1007/978-3-642-45100-3_5

9. Van der Aalst W. (2016) *Process mining: data science in action*, Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4

10. Hammer M. (2015) What is Business Process Management? In: *Handbook on Business Process Management 1* (eds. J. vom Brocke, M. Rosemann), Berlin, Heidelberg: Springer, 3–16. DOI: 10.1007/978-3-642-45100-3_1

11. Object Management Group (2013) *Business Process Model and Notation* (*BPMN*): *Version 2.0.2*. [online] Available at: https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/PDF [Accessed 18.08.2026]

12. Santos A., Leal G.C.L., Balancieri R. (2025) Process mining in healthcare: a tertiary study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25, art. no. 306. DOI: 10.1186/s12911-025-02967-z

13. Kaplan R.S., Norton D.P. (2008) *The Execution Premium: Linking Strategy to Operations for Competitive Advantage*, Boston: Harvard Business School Press.

14. Гумерова Г.И., Шаймиева Э.Ш. (2019) Процессная интеграция в системе электронного здравоохранения на основе Индустрии 4.0: разработка бизнес-модели для Российской практики (теоретический аспект). *Врач и информационные технологии*, 2, 50–66.

15. Ильяшенко В.М., Ильяшенко О.Ю. (2020) Системы Business intelligence как инструмент управления данными медицинской организации. *Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли*, 1, 333–338.

16. Григорьева Н.С., Демкина А.Е., Коробейникова А.Н. (2024) Цифровизация системы здравоохранения России: текущие барьеры на пути достижения цифровой зрелости. *Population and Economics*, 8 (1), 1–14. DOI: 10.3897/popecon.8.e111793

17. Морозова Ю.А. (2020) Цифровая трансформация российского здравоохранения как фактор развития отрасли. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*, 2, 36–47. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-36

18. Заболотная Н.В., Гатилова И.Н., Заболотный А.Т. (2020) Цифровизация здравоохранения: достижения и перспективы развития. *Экономика. Информатика*, 47 (2), 380–389. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-2-380-389

19. Калуцкая Д.Е., Николаенко Е.Г. (2025) Современные информационные технологии управления сферой здравоохранения: ключевые проблемы применения и перспективы развития. *Вестник Академии знаний*, 3 (68), 817–822.

20. Cai L., Zhu Y. (2015) The Challenges of Data Quality and Data Quality Assessment in the Big Data Era. *Data Science Journal*, 14, art. no. 2. DOI: 10.5334/dsj-2015-002

21. Tabachnick B.G., Fidell L.S., Ullman J.B. (2007) *Using Multivariate Statistics*, 5th ed., Boston, MA: Pearson, 481–498.

22. Козырский Н., Чеботарёв П., Балицкий Г. (2018) Сравнение ядерного алгоритма *k*-средних с методом Уорда в задачах кластеризации вершин графов. *Труды Междисциплинарной школы-конференции «Информационные технологии и системы»* (*ИТиС 2018*), 33–41.

23. Dinh D.-T., Fujinami T., Huynh V.-N. (2019) Estimating the Optimal Number of Clusters in Categorical Data Clustering by Silhouette Coefficient. In: *Knowledge and Systems Sciences* (eds. J. Chen, V. Huynh, G.N. Nguyen, X. Tang), Singapore: Springer, 1103, 1–17. DOI: 10.1007/978-981-15-1209-4_1

24. Aldenderfer M., Blashfield R. (1984) *Cluster Analysis*. Beverly Hills, CA: Sage Publications.

25. Liu X., Varshney U., Li P. (2026) Does it save me money? The economic impact of mobile health interventions on medical expenditure of diabetic patients. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 33 (2), 347–358. DOI: 10.1093/jamia/ocaf199

26. Doherty A., Spencer L.H., Lynch M. (2025) Digital Platforms in Technology-Enhanced Care Management of Chronic Health Conditions: A Systematic Review of the International Economic Evidence. *International Journal of Nursing and Health Care*, 8, art. no. 1681. DOI: 10.29011/2688-9501.101681

27. Aviraj K., Mohanty M., Gnanasekaran S., Pachori R. (2024) *Evaluating the Cost Utility and Budget Impact of Telehealth services: A Systematic Review and Meta-Analysis*, Preprint (Version 1). DOI: 10.21203/rs.3.rs-4999453/v1

28. Gentili A., Failla G., Melnyk A., Puleo V., Di Tanna G.L., Ricciardi W., Cascini F. (2022) The cost-effectiveness of digital health interventions: A systematic review of the literature. *Frontiers in Public Health*, 10, art. no. 787135. DOI: 10.3389/fpubh.2022.787135

29. Peters G.M., Kooij L., Lenferink A., van Harten W.H., Doggen C.J.M. (2021) The Effect of Telehealth on Hospital Services Use: Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 23 (9), art. no. e25195. DOI: 10.2196/25195

30. Романов Е.В. (2020) Институциональные ловушки в научно-образовательной сфере: природа и механизм преодоления. *Образование и наука*, 22 (9), 107–147. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-9-107-147

REFERENCES

1. Kovaleva I.P., Voblaya I.N., Zayarnaya I.A., Iritsyan G.E., Strizhak M.S. (2026) The actual trends in health care development. *Problemi socialnoi gigieni, zdravookhranenia i istorii meditsini* [*Problems of social hygiene, public health and the history of medicine*], 34 (1), 5–11. DOI: 10.32687/0869-866X-2026-34-1-5-11

2. Perkhov V.I., Kaprin D.A. (2025) Organizational pathologies of hi-tech medical care. Part 1: diagnostics. *ORGZDRAV: novosti, mneniya, obuchenie. Vestnik VSHOUZ* [*HEALTHCARE MANAGEMENT: News, Views, Education. Bulletin of VSHOUZ*], 11 (4), 102–115. DOI: 10.33029/2411-8621-2025-11-4-102-115

3. Dumas M., La Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. (2013) *Fundamentals of Business Process Management*, Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-33143-5

4. Hammer M., Champy J. (2009) *Reengineering the Corporation: Manifesto for Business Revolution*, NY: A. Zondervan.

5. Stoumpos A.I., Kitsios F., Talias M.A. (2023) Digital Transformation in Healthcare: Technology Acceptance and Its Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20 (4), art. no. 3407. DOI: 10.3390/ijerph20043407

6. Rogers E.M. (2003) *Diffusion of Innovations*, 5th ed., NY: Free Press.

7. White R.S. (2001) Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know. *The Journal of Technology Transfer*, 26, 396–397. DOI: 10.1023/a:1011199223173

8. Rosemann M., vom Brocke J. (2015) The Six Core Elements of Business Process Management. In: *Handbook on Business Process Management 1* (eds. J. vom Brocke, M. Rosemann), Berlin, Heidelberg: Springer, 105–122. DOI: 10.1007/978-3-642-45100-3_5

9. Van der Aalst W. (2016) *Process mining: data science in action*, Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4

10. Hammer M. (2015) What is Business Process Management? In: *Handbook on Business Process Management 1* (eds. J. vom Brocke, M. Rosemann), Berlin, Heidelberg: Springer, 3–16. DOI: 10.1007/978-3-642-45100-3_1

11. Object Management Group (2013) *Business Process Model and Notation* (*BPMN*): *Version 2.0.2*. [online] Available at: https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/PDF [Accessed 18.08.2026]

12. Santos A., Leal G.C.L., Balancieri R. (2025) Process mining in healthcare: a tertiary study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25, art. no. 306. DOI: 10.1186/s12911-025-02967-z

13. Kaplan R.S., Norton D.P. (2008) *The Execution Premium: Linking Strategy to Operations for Competitive Advantage*, Boston: Harvard Business School Press.

14. Gumerova G.I., Shaimieva E.Sh. (2019) Process integration in e-health system based on industry 4.0: developing of the business model for the russian practice (theoretical aspect). *Medical doctor and information technologies*, 2, 50–66.

15. Iliashenko V.M., Iliashenko O.Yu (2020) Business intelligence systems as a medical organization data management tool. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniia v oblasti upravleniia, ekonomiki i torgovli* [*Fundamental and applied research in management, economics and trade*], 1, 333–338.

16. Grigorieva N.S., Demkina A.E., Korobeynikova A.N. (2024) Digitalization in the Russian healthcare: barriers to digital maturity. *Population and Economics*, 8 (1), 1–14. DOI: 10.3897/popecon.8.e111793

17. Morozova Yu.A. (2020) Digital transformation of Russian healthcare as a factor in the development of the industry. *Intellect. Innovations. Investments*, 2, 36–47. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-36

18. Zabolotnaya N., Gatilova I., Zabolotny A. (2020) Digitalization of health: achievements and prospects for development. *Economics. Information Technologies*, 47 (2), 380–389. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-2-380-389

19. Kalutskaya D.E., Nikolaenko E.G. (2025) Modern information technologies in healthcare management: key application problems and development prospects. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 3 (68), 817–822.

20. Cai L., Zhu Y. (2015) The Challenges of Data Quality and Data Quality Assessment in the Big Data Era. *Data Science Journal*, 14, art. no. 2. DOI: 10.5334/dsj-2015-002

21. Tabachnick B.G., Fidell L.S., Ullman J.B. (2007) *Using Multivariate Statistics*, 5th ed., Boston, MA: Pearson, 481–498.

22. Kozyrskii N., Chebotarev P., Balitskii G. (2018) Sravnenie iadernogo algoritma k-srednikh s metodom Uorda v zadachakh klasterizatsii vershin grafov [Comparison of the kernel k-means algorithm with Ward's method in graph node clustering problems]. *Trudy Mezhdistsiplinarnoi shkoly-konferentsii "Informatsionnye tekhnologii i sistemy"* [*Proceedings of the Interdisciplinary Conference-School "Information Technologies and Systems"*] (ITiS 2018), 33–41.

23. Dinh D.-T., Fujinami T., Huynh V.-N. (2019) Estimating the Optimal Number of Clusters in Categorical Data Clustering by Silhouette Coefficient. In: *Knowledge and Systems Sciences* (eds. J. Chen, V. Huynh, G.N. Nguyen, X. Tang), Singapore: Springer, 1103, 1–17. DOI: 10.1007/978-981-15-1209-4_1

24. Aldenderfer M., Blashfield R. (1984) *Cluster Analysis*. Beverly Hills, CA: Sage Publications.

25. Liu X., Varshney U., Li P. (2026) Does it save me money? The economic impact of mobile health interventions on medical expenditure of diabetic patients. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 33 (2), 347–358. DOI: 10.1093/jamia/ocaf199

26. Doherty A., Spencer L.H., Lynch M. (2025) Digital Platforms in Technology-Enhanced Care Management of Chronic Health Conditions: A Systematic Review of the International Economic Evidence. *International Journal of Nursing and Health Care*, 8, art. no. 1681. DOI: 10.29011/2688-9501.101681

27. Aviraj K.S., Mohanty M., Gnanasekaran S., Pachori R. (2024) *Evaluating the Cost Utility and Budget Impact of Telehealth services: A Systematic Review and Meta-Analysis*, Preprint (Version 1). DOI: 10.21203/rs.3.rs-4999453/v1

28. Gentili A., Failla G., Melnyk A., Puleo V., Di Tanna G.L., Ricciardi W., Cascini F. (2022) The cost-effectiveness of digital health interventions: A systematic review of the literature. *Frontiers in Public Health*, 10, art. no. 787135. DOI: 10.3389/fpubh.2022.787135

29. Peters G.M., Kooij L., Lenferink A., van Harten W.H., Doggen C.J.M. (2021) The Effect of Telehealth on Hospital Services Use: Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 23 (9), art. no. e25195. DOI: 10.2196/25195

30. Romanov E.V. (2020) Institutional Traps in the Scientific and Educational Sphere: Nature and Mechanism of Elimination. *The Education and science journal*, 22 (9), 107–147. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-9-107-147

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ПОЛОЖЕНЦЕВА Юлия Сергеевна
E-mail: polojenceva84@mail.ru
Iulia S. POLOZHENTSEVA
E-mail: polojenceva84@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8296-0878

БУЛАТНИКОВ Владимир Владимирович
E-mail: vovabulatnikov95@yandex.ru
Vladimir V. BULATNIKOV
E-mail: vovabulatnikov95@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4131-0374

Поступила: 16.06.2026; Одобрена: 17.07.2026; Принята: 20.07.2026.
Submitted: 16.06.2026; Approved: 17.07.2026; Accepted: 20.07.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 45–65.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 45–65.

Научная статья
УДК 338,45:004.8(549.1)
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19403
EDN: https://elibrary/KUGJCP

ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 5.0 (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИЙ ПАКИСТАНА)

А. Али ✉, С.В. Здольникова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ Amjadbbsulk@gmail.com

Аннотация. Считается, что степень внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) производственными предприятиями в странах с развивающейся экономикой зависит главным образом от их внутренних возможностей и культуры, в то время как окружающая экосистема рассматривается только как фоновый контекст, а не как измеримый фактор. Проведенное авторами исследование устраняет этот пробел путем разработки и эмпирической проверки концептуальной структурной модели на основе девяти гипотез и восьми конструктов, которая соединяет сетевые связи экосистемы, институциональную и государственную поддержку, готовность цифровой инфраструктуры, технологическую готовность, организационную инновационную культуру и динамические возможности с внедрением ИИ и через него – с промышленными инновациями и конкурентоспособностью. Модель объединяет перспективу динамических возможностей, перспективу институциональной теории и парадигму ориентированной на человека Индустрии 5.0 в единую структуру на уровне экосистемы. При этом предполагается, что условия на уровне экосистемы и инфраструктуры формируют внутреннюю готовность предприятия, что, в свою очередь, стимулирует внедрение ИИ и последующую производительность. Первичные данные опроса были собраны у 182 менеджеров из пяти отраслей промышленности Пакистана. Четыре из девяти гипотез были подтверждены: сетевые связи экосистемы взаимодействовали с технологической готовностью, готовность цифровой инфраструктуры – с динамическими возможностями, государственная и институциональная поддержка – с организационной инновационной культурой, а внедрение ИИ – с промышленными инновациями и конкурентоспособностью. Технологическая готовность и организационная инновационная культура не продемонстрировали надежного уникального влияния на принятие решений, гипотетическое сдерживание со стороны государственной и институциональной поддержки обнаружено не было, а две конструкции – сетевые связи экосистемы и динамические возможности – оказались слишком коррелированы, чтобы их можно было тестировать как независимые предикторы. Исследование представляет один из первых тестов экосистемных и институциональных предпосылок оценки внедрения ИИ на примере промышленности Южной Азии на уровне предприятия, сообщает об ограничениях измерения и позволяет сформулировать рекомендации менеджерам в области промышленной политики на основе ИИ. Будущие исследования будут направлены на формирование еще не проверенных гипотез с помощью очищенных, сокращенных по номенклатуре данных, чтобы установить направление причинно-следственной связи между условиями экосистемы, внедрением ИИ и эффективностью предприятия.

Ключевые слова: внедрение искусственного интеллекта, Индустрия 5.0, промышленные предприятия Пакистана, динамические возможности, моделирование структурными уравнениями

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках реализации проекта «Стратегическое управление интеллектуальной зрелостью

© Али А., Здольникова С.В., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

промышленных экосистем в условиях экономики данных: методология, фреймворк, инструментарий» (Соглашение № 25-18-00978; https://rscf.ru/project/25-18-00978/).

Для цитирования: Али А., Здольникова С.В. (2026) Оценка внедрения технологий искусственного интеллекта на промышленном предприятии в условиях Индустрии 5.0 (на примере компаний Пакистана). π-Economy, 19 (4), 45–65. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19403

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19403

ASSESSMENT OF THE IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 5.0 (THE CASE OF PAKISTANI COMPANIES)

A. Ali ✉, S.V. Zdolnikova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

✉ Amjadbbsulk@gmail.com

Abstract. It is considered that the degree of adoption of artificial intelligence (AI) technologies by manufacturing enterprises in emerging economies depends mainly on their internal capabilities and culture, while the surrounding ecosystem is considered only as a background, and not as a measurable factor. The authors' research addresses this gap by developing and empirically testing a conceptual structural model based on nine hypotheses and eight constructs that links ecosystem networking, institutional and government support, digital infrastructure readiness, technological readiness, innovation culture, and dynamic opportunities with the introduction of AI and through it – with industrial innovation and competitiveness. The model combines the dynamic opportunity perspective, the institutional theory perspective, and the human-centered Industry 5.0 paradigm into a single ecosystem-level framework. At the same time, it is assumed that conditions at the ecosystem and infrastructure level form the internal readiness of the enterprise, which, in turn, encourages the introduction of AI and subsequent productivity. Primary survey data was collected from 182 managers from five manufacturing subsectors in Pakistan. Four of the nine hypotheses were confirmed: ecosystem connections were associated with technological readiness, digital infrastructure was associated with dynamic capabilities, institutional support was associated with an innovative culture, and the introduction of AI was closely related to indicators of competitiveness. Technological readiness and innovation culture did not demonstrate a reliable unique influence on decision-making, hypothetical deterrence from institutional support was not detected, and the two constructs – ecosystem connections and dynamic capabilities – were too correlated to be tested as independent predictors. The study provides one of the first tests of ecosystem and institutional prerequisites for assessing the implementation of AI using the example of South Asian industry at the enterprise level, reports on the limitations of measurement and allows formulating recommendations for managers in the field of industrial policy based on AI. Future research will focus on forming yet untested hypotheses using refined, abbreviated data to establish the direction of causal relationships between ecosystem conditions, AI adoption, and enterprise performance.

Keywords: AI adoption, Industry 5.0, Pakistani industrial enterprises, dynamic capabilities, structural equation modeling

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project "Strategic Management of the Intellectual Maturity of Industrial Ecosystems in the Data Economy: Methodology, Framework, and Toolkit" (Agreement No. 25-18-00978/; available online: https://rscf.ru/project/25-18-00978/).

Citation: Ali A., Zdolnikova S.V. (2026) Assessment of the implementation of artificial intelligence technologies at an industrial enterprise in the context of Industry 5.0 (the case of Pakistani companies). π-Economy, 19 (4), 45–65. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19403

© Ali A., Zdolnikova S.V., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Введение

За последнее время применение искусственного интеллекта (ИИ) в экономике и промышленности превратилось из второстепенных инвестиций для развития ИТ-сферы в признанный многими специалистами стратегический ресурс конкурентоспособности производства предприятий [1, 2]. Использование прогнозируемого технического обслуживания, автоматизированного контроля качества и планирования цепочки поставок с помощью ИИ больше не является исключительным для нескольких передовых предприятий с высоким уровнем дохода, а все чаще рассматривается как необходимое условие для сохранения конкурентоспособности в условиях перехода к Индустрии 5.0, где ожидается, что ориентированное на человека устойчивое производство будет сосуществовать с применением современных цифровых технологий [3–5]. Между тем значительный объем эмпирических исследований показывает, что приобретение и внедрение технологий ИИ может как повысить, так и снизить конкурентоспособность предприятия, когда организации не согласованы или не готовы интегрировать новые технологии [6]. В таких случаях, несмотря на значительные инвестиции, некоторые предприятия с хорошими ресурсами все еще обнаруживают разрыв между планируемой преобразующей силой ИИ и его влиянием на фактическую производительность [7, 8].

Этот разрыв между обещаниями и потребностями может стать решающим фактором успеха или неудачи производственных предприятий в Пакистане. В промышленности Пакистана преобладают малые и средние предприятия (МСП), цифровые возможности очень неравномерно распределены по отраслям и регионам, процессы цифровизации и цифровой трансформации все еще находятся в состоянии становления [9, 10]. В этом контексте на решение промышленного предприятия о внедрении ИИ могут влиять другие фирмы экосистемы, а также правительственные учреждения, регулирующие органы и отраслевые ассоциации. Однако на сегодняшний день исследования возможностей ИИ были сосредоточены на самом ИИ, в то время как окружающая экосистема в значительной степени игнорировалась. Промышленность Пакистана, в которой преобладают МСП, не представлена в доказательной базе, поскольку исследования посредством моделирования структурным уравнением с частными производными наименьших квадратов (Partial Least Squares Structural Equation Modeling, PLS-SEM) с большой выборкой основаны в большей степени на данных групп предприятий Северной Америки, и в меньшей — Азии [11] (в частности, фирмы сферы услуг в Индонезии [6]).

Это приводит к трем ключевым пробелам в литературе, и именно их авторы статьи пытаются заполнить в своем исследовании.

Первый – это географический разрыв и разрыв в численности населения. Не было ни одного эмпирического исследования в отношении предпосылок и результатов использования возможностей ИИ в производственных предприятиях, в частности пакистанских, являющихся сектором, в котором предполагается развивать Индустрию 5.0 [3].

Второй – это разрыв между теорией и практическими исследованиями. В широко используемой теории внедрения ИИ или ИТ-возможностей [8] роль условий межфирменных сетевых связей на уровне экосистемы (Ecosystem Collaboration Network, ECN), а также институциональной и государственной поддержки (Institutional and Government Support, IGS) представлена как повествовательный контекст, а не как измеряемые и тестируемые модели (конструкции) [3]. Это примечательно, поскольку институциональная теория долгое время утверждала, что организации перенимают практику для соответствия требованиям, поступающим извне, вместо того чтобы основывать такие решения на расчетах эффективности [12, 13].

Третий – это пробел в механизме. Действует ли институциональная и государственная поддержка только как один из многих предикторов или же она усиливает или ослабляет влияние характеристик готовности на уровне предприятия, например организационной инновационной

культуры, – это вопрос модерации, который, насколько нам известно, еще не проверялся в контексте внедрения ИИ в проанализированных работах.

Проведенное авторами статьи исследование восполняет все три пробела путем разработки и эмпирической проверки концептуальной структурной модели внедрения ИИ в производственном секторе Пакистана, состоящей из девяти гипотез, на основе первичных данных опроса 182 менеджеров и топ-менеджеров из пяти производственных отраслей, а именно: текстильной и швейной, фармацевтической и химической, автомобильной, цементной, кожевенно-обувной. Авторы не рассматривают сетевые связи экосистемы и институциональную и государственную поддержку как второстепенные факторы, а вводят их в действие в качестве измеряемых конструкций вместе с более знакомыми факторами – технологической готовностью (Technological Readiness, TR), организационной инновационной культурой и динамическими возможностями (Dynamic Capabilities, DC), которые использовались в предыдущих исследованиях возможностей ИИ [8, 11, 14].

Такой подход позволяет сформулировать четыре исследовательских вопроса:

1. (RQ1) Могут ли факторы сетевых связей и институциональной и государственной поддержки на уровне экосистемы предсказать факторы готовности и культуры на уровне фирмы, которые, как считается, приводят к внедрению ИИ?

2. (RQ2) Могут ли организационная готовность (организационная инновационная культура) и инфраструктурная готовность (технологическая готовность) предсказать внедрение ИИ?

3. (RQ3) Предсказывает ли внедрение ИИ промышленные инновации и конкурентоспособность, как это предлагается в более широком ряде источников по возможностям ИИ [15, 16]?

4. (RQ4) Смягчает ли институциональная и государственная поддержка взаимосвязь между организационной инновационной культурой и внедрением ИИ?

В рамках ответов на эти вопросы в исследовании также рассматриваются и обсуждаются проблемы разработки весовых коэффициентов и общих методов, возникающие на уровне экосистем в полевых условиях с использованием выборки практикующих специалистов, что, по нашему мнению, принесет пользу будущим исследователям, пытающимся провести аналогичные изыскания.

Концептуальная модель исследования

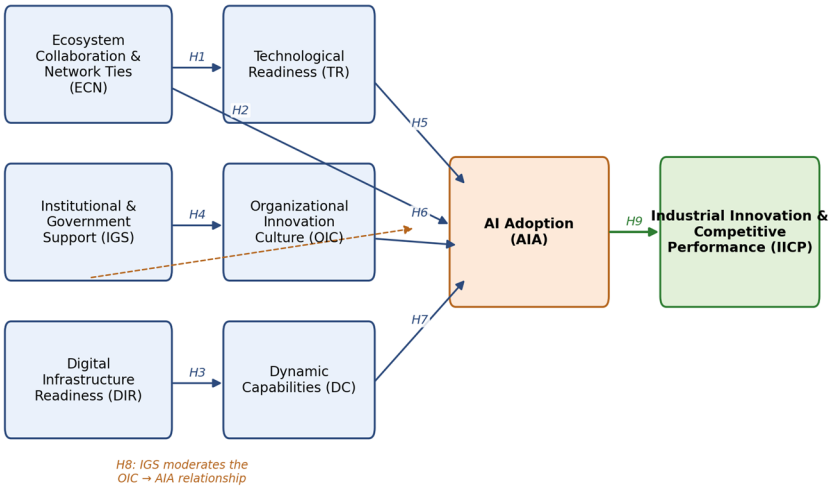
Три теоретических подхода сходятся для объяснения представленной ниже модели, и каждый из них выполняет уникальную объяснительную задачу, а не просто используется в целях легитимации. Перспектива на уровне предприятия обеспечивается представлением динамических возможностей [14]. Мы намеренно выбираем это вместо чисто статического представления, основанного на ресурсах [17], которое дает слишком ограниченное понимание, например о том, почему ресурс – инфраструктура данных или квалифицированный персонал – может быть источником преимуществ, но мало объясняет процесс реконфигурации предприятия для внедрения действительно прорывных технологий. Таким образом, ИИ может быть негативным на практике: он не только предоставляет дополнительный фактор производства к существующей производственной функции, но также требует, чтобы предприятия генерировали новые возможности, использовали их путем перераспределения мощностей и реконфигурировали внутренние процедуры на основе результатов, которые являются не однородными, а скорее вероятностными и лишь частично объяснимыми [13, 15]. Эмпирически это различие важно, потому что не было обнаружено ни одного конкурентного преимущества, которое можно было бы отнести только к инновационному потенциалу, как показали авторы [6], переосмыслившие свои результаты через призму динамического потенциала, предположив, что потенциал должен быть согласован с динамикой предприятия, прежде чем это сможет привести к повышению

производительности. Следуя такой же логике, авторы статьи рассматривают динамические возможности как отдельную предпосылку технологической готовности предприятия к внедрению ИИ.

Насколько известно, наиболее новые конструкции исследования – сетевые связи экосистемы, а также институциональная и государственная поддержка – не были внедрены и протестированы в качестве предпосылок внедрения ИИ в предыдущих эмпирических исследованиях. Авторы [12] утверждают, что эффективно действует именно принудительное давление со стороны регулирующих органов и влиятельных партнеров по обмену.

Парадигма Индустрии 5.0, ориентированная на человека [4, 18, 19], дает существенное обоснование того, почему использование ИИ, в частности на производстве, следует интерпретировать за пределами концепции автоматизации. Авторы [3] утверждают, что Индустрия 5.0 решает проблемы интеграции и принятия рабочей силы, которые Индустрия 4.0, ориентированная на технологии, не смогла решить, и поэтому уделяет приоритетное внимание сотрудничеству человека и машины, устойчивости в дополнение к эффективности. В данном исследовании вместо моделирования фирмы как изолированной единицы анализа моделировались конструкции на уровне экосистемы (ECN, IGS) и внутренние конструкции предприятия, что подкрепляется исследованиями, в которых утверждается переход к Индустрии 5.0 как к интеллектуальной киберсоциальной экосистеме вместо того, чтобы оставаться на уровне предприятия [20–22]. Что делает организационную инновационную культуру (Organizational Innovation Culture, OIC) отдельной предпосылкой, так это возможность компании поддерживать технологию для ее эффективной интеграции [23, 24].

Концептуальная модель исследования представлена на рис. 1, который объединяет эти три точки зрения. На рисунке с левой стороны находятся конструкции экосистемного уровня (ECN, IGS, DIR (Digital Infrastructure Readiness) – готовность цифровой инфраструктуры). В качестве экзогенных движущих сил они питают конструкции внутренней готовности фирмы (TR, OIC, DC), которые, помимо прямых эффектов, предположительно являются движущими силами внедрения ИИ (Artificial Intelligence Adoption, AIA). Предполагается, что внедрение ИИ,



Источник: разработано авторами на основе [3, 4, 12, 14].

Рис. 1. Концептуальная структурная модель исследования и предполагаемые взаимосвязи

Fig. 1. Conceptual structural model of the study and hypothesized relationships

в свою очередь, стимулирует промышленные инновации и конкурентоспособность (Industrial Innovation and Competitive Performance, IICP). Также предполагается, что институциональная и государственная поддержка обусловливает влияние организационной инновационной культуры на внедрение ИИ в соответствии с институциональной теорией, трактующей, что внешняя легитимация не только влияет на внутреннюю культуру, но и определяет, что та означает для нее с точки зрения поведения.

Разработка гипотез

Сетевые связи экосистемы правдоподобно приводят к внутренней технологической готовности предприятия до начала каких-либо инвестиций, связанных с ИИ [10], и те же самые экосистемные связи предоставляют предприятиям прямой доступ к поставщикам ИИ и пилотным проектам, демонстрационным вариантам использования ИИ и т.д., что правдоподобно ускоряет внедрение независимо от готовности (*первая гипотеза*: ECN → TR; *вторая гипотеза*: ECN → → AIA).

Третья гипотеза (DIR → DC) мотивирована недавними методологическими исследованиями, показывающими, что цифровую зрелость промышленных предприятий и экосистем можно оценивать на основе динамического коэволюционного подхода [21, 25], при этом зрелость инфраструктуры является предварительным условием для способности адаптироваться и реконфигурировать, что является ядром динамических возможностей [14, 26]. Институциональная и государственная поддержка, согласно принудительной/нормативной/имитационной логике [12], должна привести к легитимизации и усилению организационной инновационной культуры в компаниях (*четвертая гипотеза*: IGS → OIC). Поскольку теория институциональной и государственной поддержки применима к отраслям, а не к отдельным компаниям – также ожидается, что институциональная и государственная поддержка смягчит взаимосвязь между организационной инновационной культурой и внедрением ИИ (*восьмая гипотеза*: IGS → OIC → → AIA).

Предполагается, что более высокая технологическая готовность уменьшит практические и технические препятствия для непосредственного использования ИИ (*пятая гипотеза*: TR → AIA) в соответствии с исследованиями ИТ-возможностей, которые показывают, что зрелость инфраструктуры напрямую влияет на использование последующих технологий [27, 28]. Основываясь на том, что способность к содействию инновациям является одним из признанных аспектов возможностей ИИ на уровне предприятия [8, 29], выдвигается гипотеза о прямой взаимосвязи между организационной инновационной культурой и внедрением ИИ (*шестая гипотеза*: OIC → → AIA). Предполагается, что внедрение ИИ напрямую предсказывается динамическими возможностями, которые также предсказывают успешную реакцию на другие прорывные технологии (*седьмая гипотеза*: DC → AIA; [14]). Наконец, следуя значительному количеству публикаций, связывающих возможности ИИ с улучшением процесса принятия решений, инноваций и эффективности работы фирмы [11, 15, 16], предполагается, что внедрение ИИ будет предсказывать промышленные инновации и конкурентоспособность (*девятая гипотеза*: AIA → IICP).

Все девять гипотез вместе с теоретическим обоснованием сведены в табл. 1.

Методы и материалы

Дизайн исследования

В исследовании используется количественный опрос с использованием PLS-SEM на основе дисперсии, который, как было доказано, хорошо подходит для исследовательских моделей с обширной историей предварительной валидации конструкций, чего нельзя сказать о сетевых связях экосистемы и об институциональной и государственной поддержке [30].

Таблица 1. Гипотезы и теоретическое обоснование
Table 1. Hypotheses and theoretical rationale

Номер гипотезы	Обозначение	Интерпретация
1	ECN → TR	Сетевые отношения передают технические стандарты и ноу-хау партнеров, тем самым помогая повысить внутреннюю технологическую готовность [10].
2	ECN → AIA	Сетевые связи предлагают прямой контакт с поставщиками ИИ, другими предприятиями и пилотными проектами [13].
3	DIR → DC	Цифровая инфраструктура – это платформа, на которой расположены возможности распознавания/реконфигурации [14].
4	IGS → OIC	Институциональное давление узаконивает и поощряет культуру, ориентированную на инновации [12].
5	TR → AIA	Развитая инфраструктура ИТ/данных снижает технические препятствия для внедрения ИИ [27].
6	OIC → AIA	Культура, поощряющая экспериментирование, приводит к более быстрому внедрению технологий [8].
7	DC → AIA	Способность к распознаванию, захвату и реконфигурации связана с интеграцией прорывной технологии [14].
8	IGS × OIC → AIA	Существует гипотеза, что отношения между организационной инновационной культурой и внедрением ИИ будут смягчены институциональной и государственной поддержкой [12].
9	AIA → IICP	Внедрение ИИ приводит к промышленным инновациям и конкурентоспособности [15].

Источник: разработано авторами.

Совокупность, выборка и сбор данных

Анализируемой группой при проведении исследований были менеджеры и руководящие работники, принимающие решения относительно технологий и цепочек поставок на промышленных предприятиях Пакистана. Данные были собраны с помощью структурированного онлайн-опроса, разосланного компаниям из пяти производственных подсекторов, которые были выбраны как по их относительной доле в объеме промышленного производства Пакистана, так и по различному уровню использования цифровых технологий [9]. Ответы, в которых отсутствовали более 15% данных, были исключены из анализа (ни один из ответов не превысил этого порога). В результате этого в наборе данных осталось 182 ответа, а отсутствующие данные на уровне элемента были рассчитаны с использованием выборочного среднего значения (консервативный и широко используемый подход для небольшого процента отсутствующих данных, разбросанных по 55 элементам шкалы в ходе опроса).

Полученная выборка сведена в табл. 2.

Измерения и оценки

Многопозиционные рефлексивные шкалы с форматом согласия из семи пунктов (от «Категорически несогласен» до «Категорически согласен», с промежуточными якорями «Несколько не согласен», «Несколько согласен» и т.п.) использовались для измерения всех восьми конструкций, при этом каждый ответ кодировался по шкале от 1 до 7; несколько ответов, в которых участник отметил более одного варианта для одного пункта, были закодированы как среднее значение отмеченных вариантов. Везде, где это было возможно, элементы были адаптированы из проверенного инструмента, приведенного в литературе. Пункты, использованные для внедрения ИИ (AIA, 8 пунктов), и пункты, связанные с готовностью цифровой инфраструктуры (DIR, 7 пунктов) и технологической готовностью (TR, 6 пунктов), были адаптированы из

Таблица 2. Характеристики выборки
Table 2. Sample characteristics

Характеристика	Категории специалистов	Количество ответов (из 182)	%
Должность	Помощник менеджера	90	49,5
	Старший менеджер	34	18,7
	Генеральный менеджер	24	13,2
	Заместитель начальника	19	10,4
	Генеральный директор / директор	8	4,4
	Нет сведений	7	3,8
Сфера деятельности	Цепи поставок	66	36,3
	Выпуск продукции	33	18,1
	Закупочная деятельность	32	17,6
	Организация процессов	13	7,1
	Другие	38	20,9
Отрасли	Текстильная и швейная	70	38,5
	Фармацевтическая и химическая	55	30,2
	Автомобильная	38	20,9
	Цементная	13	7,1
	Кожевенно-обувная	6	3,3
Возраст предприятия	0–5 лет	113	62,1
	6–10 лет	42	23,1
	менее 15 лет	41	22,5
	11–15 лет	17	9,3
	более 15 лет	10	5,5
	15–30 лет	75	41,2
	31–50 лет	35	19,2
	более 50 лет	29	15,9

Источник: разработано авторами.

измерения ресурсов и человеческих навыков [8]. Инструмент для создания возможностей ИИ используется в [11]. Организационная инновационная культура (OIC, 5 пунктов) и динамические возможности (DC, 7 пунктов) были адаптированы на основе параметров способности к организационным изменениям и возможностей фирмы одного и того же инструмента [8] в соответствии с концептуализацией динамических возможностей, основанной на ощущении, захвате и реконфигурации [14]. Промышленные инновации и конкурентоспособность (IICP, 9 пунктов) были адаптированы из шкалы финансовых и конкурентных показателей статьи [31], а также использовались как таковые в [11] и с небольшой модификацией в [6]. Что касается сетевых связей экосистемы (ECN, 6 пунктов) и институциональной и государственной поддержки (IGS, 7 пунктов), ранее не существовало инструмента, который можно было бы использовать напрямую. Для этого исследования были недавно разработаны элементы на основе рассуждений о сетевых связях и институциональной поддержке в [3] и [12] соответственно.

Предвзятость общего метода

Все конструкции были измерены у одного респондента в один момент времени, поэтому смещение по общему методу (Common Method Bias, CMB) оценивалось тремя альтернативными методами вместо одного диагностического [32]. Один из 55 пунктов не соответствовал остальным

54 пунктам, когда проводился однофакторный тест Хармана, и первый нерегулируемый фактор составлял всего 36,9% от общей дисперсии, что меньше обычного 50%-ного порога, который указывал бы на проблему CMB. Само по себе это значение говорило бы о том, что CMB не вызывал серьезной озабоченности. Две дополнительные диагностики, основанные на шаблоне ответов, выявили несколько иную и, на наш взгляд, более наглядную картину: в среднем респонденты использовали одну и ту же категорию ответов по 52,9% из 55 вопросов, при этом 6,6% респондентов продемонстрировали прямолинейный или уступчивый шаблон ответа (используя одну категорию ответов более чем на 90% всех вопросов), а не дифференцированный ответ между конструкциями. Корреляция на уровне конструкции была очень похожей (например, r = = 0,99 между ECN и AIA, r = 0,97 между IGS и AIA). Авторы исходят из того, что отсутствие части данных в статье не является ни недостатком, ни случайностью. Соответствующее ограничение было сознательно проработано – проверено, проанализировано и учтено – непосредственно в ходе работы с данными.

Метод исследования

Для оценки концептуальной структурной модели использовалось PLS-SEM. Поскольку лицензионная версия SmartPLS недоступна для этого анализа, алгоритм PLS-SEM, представляющий собой внешнюю оценку в режиме A со схемой взвешивания пути для внутренней оценки, был реализован непосредственно на Python в соответствии со спецификацией алгоритма, лежащей в основе SmartPLS 4 [33], и соглашениями об оценке и отчетности [30, 34]. Этот выбор сделан прозрачным: статистические данные (стандартизированные внешние нагрузки, Альфа Кронбаха, составная надежность, коэффициенты начальной загрузки) рассчитываются так же, как и при анализе SmartPLS, но точная численная репликация анализа в самом SmartPLS еще не выполнялась и является естественной первой проверкой надежности при будущей работе с этим набором данных.

Качество моделей измерений оценивалось на основе надежности внутренней согласованности (Альфа Кронбаха и композитная надежность (Composite Reliability, CR): CR > 0,70), а также сходящейся и дискриминантной валидности (критерий Форнелла–Ларкера [35] (Average Variance Extracted, AVE): AVE > 0,50, и отношение гетеро-признака к монографическому признаку (Heterotrait-Monotrait Ratio of Correlations, HTMT): HTMT < 0,90) [36]. Для проверки коллинеарности между структурными предикторами использовались коэффициенты инфляции дисперсии (Variance Inflation Factor, VIF): консервативный критерий VIF < 3,3, предложенный в [30]. Значимость пути оценивалась с применением метода начальной загрузки с использованием 5000 повторных выборок и повторной оценки полного измерения и структурной модели для каждой повторной выборки. Гипотеза о смягчении институциональной и государственной поддержкой взаимосвязи между организационной инновационной культурой и внедрением ИИ была проверена с использованием двухэтапного стандартизированного метода продуктовых индикаторов с оценками ECN, TR, OIC, DC и IGS латентных переменных в качестве одновременных предикторов AIA наряду с термином взаимодействия IGS × OIC. Были вычислены загрузочные косвенные эффекты AIA и прогностическая значимость вне выборки была аппроксимирована 10-кратной перекрестной проверкой значений R^2.

Результаты исследования

Оценка модели измерения

Надежность и конвергентная валидность для восьми исследуемых конструкций представлены в табл. 3. Внутренняя согласованность всех восьми конструкций была высокой на основе критерия (альфа Кронбаха) с совокупной надежностью выше 70. Стандартизированные внешние нагрузки для 55 наименований находились между 0,608 и 0,845, что значительно выше типичного порога 0,6 и в основном превышает порог 0,7 [34]. Результаты конвергентной валидности

Таблица 3. Надежность и конвергентная валидность результатов
Table 3. Reliability and convergent validity of the results

Исследуемые конструкции	Значения индикаторов	Диапазон загрузки	Альфа Кронбаха	CR	AVE
ECN	6	0,649–0,742	0,795	0,854	0,494
IGS	7	0,638–0,739	0,825	0,869	0,488
DIR	7	0,611–0,749	0,794	0,852	0,453
TR	6	0,690–0,845	0,848	0,889	0,573
OIC	5	0,621–0,819	0,785	0,855	0,543
DC	7	0,644–0,756	0,815	0,863	0,474
AIA	8	0,653–0,739	0,848	0,883	0,487
IICP	9	0,608–0,791	0,864	0,893	0,482

Источник: разработано авторами.

были менее последовательными, при этом средняя полученная дисперсия превысила порог 0,5 для технологической готовности (0,573) и организационной инновационной культуры (0,543) и осталась в диапазоне от 0,453 до 0,494 для остальных шести конструктов.

AVE и HTMT (табл. 4) использовались для измерения валидности дискриминанта, который был самым слабым звеном в модели измерения. Критерий Форнелла–Ларкера не был удовлетворен в большинстве пар конструкций, при этом корреляция ECN–DC составила 0,981, что намного выше, чем средние значения конструкций, составляющие около 0,7. Баллы HTMT для большинства пар конструкций превысили консервативный диапазон от 0,85 до 1, рекомендованный в [36], а также превысили 1 для шести пар (ECN–DC = 1,223; IGS–AIA = 1,151; DIR–IICP = 1,085; TR–IICP = 1,034; IGS–DC = 0,926; DIR–AIA = 0,974). Однако наиболее оправданное прочтение диагностики смещения по общему методу, представленному выше, заключается в том, что, хотя конструкции концептуально схожи, структура дисперсии, наблюдаемая в опросе, была сжата в результате уступчивого или прямолинейного ответа, а корреляции между конструкциями были искусственно завышены относительно их фактических значений. Это прямо и неизбежно влияет на восприятие результатов из структуры, описанной ниже.

Таблица 4. Значения коэффициента корреляции
Table 4. Correlation coefficient values

	ECN	IGS	DIR	TR	OIC	DC	AIA	IICP
ECN	–	0,884	0,793	0,759	0,678	1,223	0,846	0,770
IGS		–	0,930	0,790	0,716	0,926	1,151	0,865
DIR			–	0,836	0,709	0,813	0,974	1,085
TR				–	0,668	0,766	0,761	1,034
OIC					–	0,692	0,679	0,699
DC						–	0,859	0,786
AIA							–	0,839
IICP								–

Источник: разработано авторами.

Диагностика коллинеарности

Поскольку уравнение AIA содержит пять одновременных предикторов (ECN, TR, OIC, DC, IGS) и член взаимодействия, коэффициенты инфляции дисперсии были рассчитаны для каждого из этих предикторов до интерпретации любых коэффициентов траектории (табл. 5). VIF был в пределах допустимого диапазона для TR (2,02), OIC (1,67) и IGS (3,13), но не для ECN (28,41) и DC (32,58), поскольку оба значения оказались намного выше консервативного значения 3,3 [30], что согласуется с корреляцией 0,981, наблюдаемой между обоими. С практической точки зрения это означает, что коэффициенты индивидуального пути для ECN → AIA (*вторая гипотеза*) и DC → AIA (*седьмая гипотеза*) не могут быть приняты в качестве номинального значения; оценочные веса нестабильны, могут принимать большие значения с обратным знаком и не обязательно отражают истинный уникальный вклад любой конструкции. Таким образом, мы рассматриваем только коэффициенты полной модели, а *вторую* и *седьмую гипотезы* – как неубедительные.

Таблица 5. Статистика коллинеарности для предикторов внедрения ИИ
Table 5. Collinearity statistics for AI adoption predictors

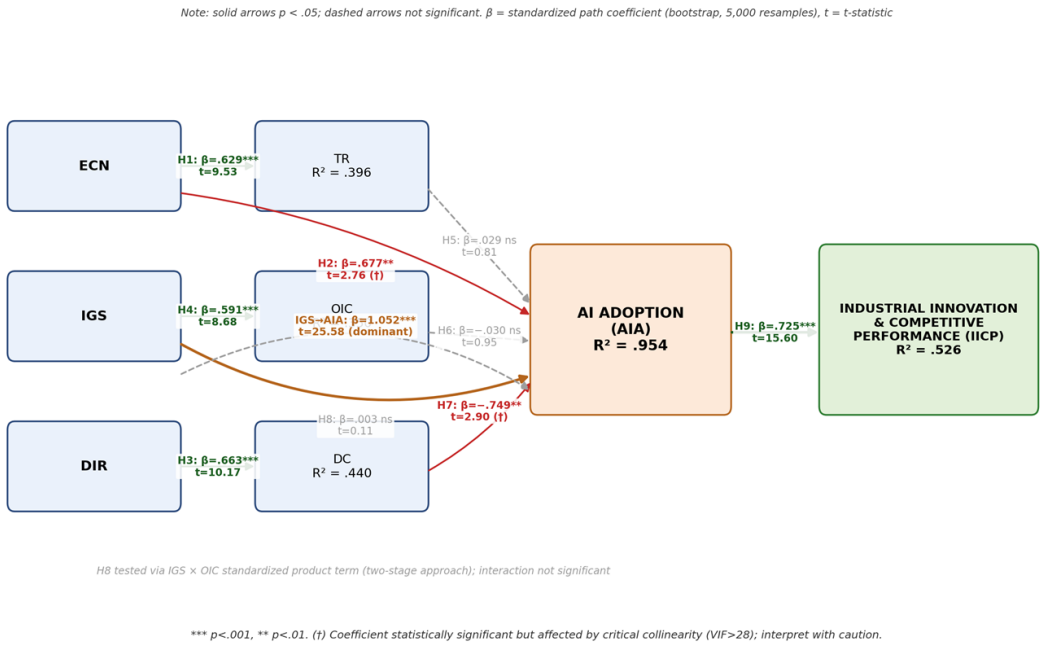
Предиктор	Оценки	VIF
ECN	28,41	Критический (> 3,3)
TR	2,02	Приемлемый
OIC	1,67	Приемлемый
DC	32,58	Критический (> 3,3)
IGS	3,13	Приемлемый, близкий к пороговому

Источник: разработано авторами.

Структурная модель и проверка гипотез

Стандартизированные коэффициенты пути вместе с соответствующими стандартными ошибками (Standard Error, SE) начальной загрузки (5000 повторных выборок), *t*-статистикой, двусторонними *p*-значениями, и 95%-ными доверительными интервалами процентилей начальной загрузки для всех девяти предполагаемых взаимосвязей представлены вместе с прямым путем IGS к AIA, который был включен в качестве ковариации для правильного определения теста модерации *восьмой гипотезы* (табл. 6 и рис. 2).

Четыре гипотезы были подтверждены при $p < 0{,}001$: сетевые связи экосистемы положительно предсказывали технологическую готовность (*первая гипотеза*, $\beta = 0{,}629$), готовность цифровой инфраструктуры положительно предсказывала динамические возможности (*третья гипотеза*, $\beta = 0{,}663$), институциональная и государственная поддержка положительно предсказывала организационную инновационную культуру (*четвертая гипотеза*, $\beta = 0{,}591$), а внедрение ИИ положительно предсказывало промышленные инновации и конкурентоспособность (*девятая гипотеза*, $\beta = 0{,}725$). Как гипотетическое сдерживание институциональной и государственной поддержки, так и гипотетический уникальный эффект технологической готовности на внедрение ИИ обнаружены не были (*восьмая гипотеза* не подтверждается, $\beta = 0{,}003$, $p = 0{,}910$; *пятая гипотеза* не подтверждается после контроля двух других предикторов). Одномерные эффекты институциональной и государственной поддержки, введенные в качестве ковариации для надлежащего тестирования модели модерации, вводились в модель с непроверенным, но очень большим прямым эффектом на внедрение ИИ ($\beta = 1{,}052$, $p < 0{,}001$), который был самым большим и наиболее последовательным прямым эффектом во всей модели. Уровни



Источник: разработано авторами.

Рис. 2. Расчетная структурная модель с начальными коэффициентами пути и R^2 для эндогенных конструкций

Fig. 2. Calculated structural model with initial path coefficients and R^2 for endogenous constructs

Таблица 6. Результаты структурной модели (начальная загрузка, 5000 повторных выборок)
Table 6. Structural model results (bootstrapping, 5000 resamples)

Номер гипотезы	Путь	β	SE	*t*	*p*	95% ДИ	Результат
1	ECN → TR	0,629	0,066	9,53	<0,001	[0,496, 0,754]	Поддерживается
2	ECN → AIA	0,677	0,245	2,76	0,006	[0,207, 1,168]	Неубедительно (коллинеарность)
3	DIR → DC	0,663	0,065	10,17	<0,001	[0,530, 0,786]	Поддерживается
4	IGS → OIC	0,591	0,068	8.68	<0,001	[0,460, 0,726]	Поддерживается
5	TR → AIA	0,029	0,035	0,81	0,418	[−0,032, 0,107]	Не поддерживается
6	OIC → AIA	−0,030	0,031	−0,95	0,341	[−0,097, 0,025]	Не поддерживается
7	DC → AIA	−0,749	0,258	−2,90	0,004	[−1,233, −0,226]	Неубедительно (коллинеарность)
8	IGS × OIC → AIA	0,003	0,026	0,11	0,910	[−0,037, 0,066]	Не поддерживается
9	AIA → IICP	0,725	0,046	15,60	<0,001	[0,627, 0,811]	Поддерживаются
–	IGS → AIA (ковариация)	1,052	0,041	25,58	<0,001	[0,956, 1,116]	Большие, необъяснимый

Примечание: коэффициенты выше 1 или ниже −1 для стандартизированных траекторий возникают из-за сильной мультиколлинеарности среди предикторов, разделяющих дисперсию с AIA, и их не следует понимать как буквальные стандартизированные величины эффекта.

Источник: разработано авторами.

второй и *седьмой гипотез* были статистически значимыми, но не подтверждены, а сообщены, скорее, как неубедительные.

Объясненная дисперсия, размеры эффекта и прогностическая значимость

Модель позволила объяснить 39,6% различий в технологической готовности (R2 = 0,396; 10-кратная перекрестная проверка R2 = 0,325), 35,0% различий в организационной инновационной культуре (R2 = 0,350; CV R2 = 0,247), 44% различий в динамических возможностях (R2 = 0,440; CV R2 = 0,392), 95,4% различий во внедрении ИИ (R2 = 0,954; CV R2 = 0,946) и 52,6% различий в промышленных инновациях и конкурентоспособности (R2 = 0,526; CV R2 = = 0,470). Все перекрестно проверенные значения R2 были положительными, а значит, модель сохраняет свою прогностическую значимость вне выборки для каждой эндогенной конструкции, несмотря на оговорки в приведенном выше измерении. Размеры эффекта были большими по общепринятым критериям Коэна [37] для каждой структурной взаимосвязи с одним предиктором: ECN → TR, f^2[1] = 0,655; IGS → OIC, f^2 = 0,538; DIR → DC, f^2 = 0,786; AIA → IICP, f^2 = 1,109. В частности, в уравнении AIA → IGS имелся очень большой уникальный эффект (f^2 = 7,76) и пренебрежимо малые эффекты от TR (f^2 = 0,009) и OIC (f^2 = 0,011). Значения f^2, которые были бы связаны с ECN (0,353) и DC (0,375), снова являются артефактом их взаимной коллинеарности, и им не следует доверять.

Проверка надежности на коллинеарность

Поскольку было невозможно оценить ECN и DC одновременно с помощью надежного уравнения, были подобраны две сокращенные модели, сохранив три других: TR, OIC и IGS, причем IGS × OIC. Удаление DC вызвало небольшое снижение R^2 для AIA с 0,954 до 0,937, и IGS по-прежнему был самым сильным предиктором (β = 0,964), при этом коэффициент ECN снизился всего до 0,009. Теперь, после удаления ECN, коэффициент AIA составил 0,938, с доминирующим коэффициентом для IGS (β = 0,998) и незначительным для DC (β = 0,053). Результаты проверок надежности подтверждают полный результат модели, приведенный в табл. 6, так что в этой выборке институциональная и государственная поддержка является наиболее важным и стабильным предиктором внедрения ИИ, при этом сетевые связи экосистемы и динамические возможности не оказывают независимого эффекта, когда контролируются их различия с институциональной и государственной поддержкой и друг с другом.

Результаты медиации

Результаты самонастраивающихся косвенных эффектов представлены в табл. 7. Взаимосвязь между тремя переменными также была в значительной степени опосредована использованием ИИ с тем же предупреждением о коллинеарности, что и выше, для взаимодействия между сетевыми связями экосистемы и промышленными инновациями и конкурентоспособностью (ECN → AIA → IICP, косвенный β = 0,491, p = 0,005), а также между динамическими возможностями и промышленными инновациями и конкурентоспособностью (DC → AIA → IICP, косвенный β = −0,543, p = 0,004). Приведенные выше несущественные пути TR → AI, AIA → → OIC и TR → IICP также приводят к несущественному косвенному влиянию технологической готовности и организационной инновационной культуры на промышленные инновации и конкурентоспособность за счет внедрения ИИ. Косвенные влияния сетевых связей экосистемы на внедрение ИИ через технологическую готовность (p = 0,419) и институциональной и государственной поддержки на внедрение ИИ через организационную инновационную культуру (p = = 0,340) были незначительными; косвенное влияние готовности цифровой инфраструктуры на внедрение ИИ через динамические возможности было значительным и отрицательным (β = −0,479, p = 0,007) – результат, который нужно отнести не к существенной причинно-следственной цепочке, а к коллинеарности динамических возможностей с сетевыми связями экосистемы.

[1] f^2 – это мера размера эффекта в PLS-SEM. Показывает вклад каждого предиктора в объясненную дисперсию (R^2) зависимой переменной.

Таблица 7. Полученные косвенные эффекты
Table 7. Indirect effects obtained

Косвенный путь	β	SE	*t*	*p*	Результат
ECN → AIA → IICP	0,491	0,176	2,79	0,005	Значимый (оговорка о коллинеарности)
TR → AIA → IICP	0,021	0,026	0,79	0,428	Незначимый
OIC → AIA → IICP	−0,022	0,023	−0,94	0,349	Значимый
DC → AIA → IICP	−0,543	0,186	−2,92	0,004	Значимый (оговорка о коллинеарности)
ECN → TR → AIA	0,018	0,022	0,81	0,419	Незначимый
IGS → OIC → AIA	−0,018	0,019	−0.95	0,340	Не имеет значения
DIR → DC → AIA	−0,479	0,183	−2,72	0,007	Значимый (оговорка о коллинеарности)

Источник: разработано авторами.

Обсуждение результатов

В целом, полученные результаты подтверждают экосистемный и институциональный подход исследования, но не совсем такой, какой был предложен в первоначальной гипотезе. Четыре гипотезы (*первая*, *третья*, *четвертая* и *девятая*) были полностью подтверждены и представляют собой согласованную цепочку: внешние и инфраструктурные условия – сетевые связи экосистемы, готовность цифровой инфраструктуры, институциональная и государственная поддержка – указывают на внутренние конструкты готовности (технологическую готовность, динамические возможности и организационную инновационную культуру), которые в литературе обычно рассматриваются как непосредственные предшественники ИИ [8, 14], а само внедрение ИИ было в этой выборке сильным предиктором промышленных инноваций и конкурентоспособности с большим размером эффекта ($f^2 = 1{,}11$), сопоставимого с аналогичными результатами, полученными в других исследованиях для возможностей ИИ и организационной культуры [11, 15]. Последняя из этих ассоциаций, пожалуй, является наиболее заметным и имеющим отношение к политике выводом исследования: в этой выборке производственные компании, более продвинутые в использовании ИИ, демонстрируют существенно более высокие инновационные и конкурентоспособные показатели, основываясь на ассоциации, ранее обнаруженной в большинстве других исследований производственных инноваций на предприятиях за пределами Южной Азии.

Второй результат связан с тем, какой предшественник вызывает внедрение. Вопреки *пятой* и *шестой гипотезам*, ни технологическая готовность, ни организационная инновационная культура не оказали надежного уникального влияния на внедрение ИИ, поскольку контролировались другие факторы– этот вывод несколько противоречит тем источникам, в которых основное внимание уделяется внутренней готовности и культуре как ключевым факторам внедрения технологий [27, 38]. Напротив, взаимосвязь между организационной инновационной культурой и внедрением ИИ не была смягчена институциональной и государственной поддержкой в *восьмой гипотезе*. Скорее, во всей модели, наряду с проверками на коллинеарность и надежность, институциональная и государственная поддержка оказала прямое доминирующее влияние на использование ИИ ($\beta \approx 0{,}96–1{,}05$). Это не просто статистическая погрешность, а существенный результат, который, скорее всего, является следствием характера внутренней политики в области ИИ на рынке [12], что превращает институциональную и государственную поддержку из гипотетического модератора (*восьмая гипотеза*) в более прямой доминирующий фактор и позволяет вносить конкретные и поддающиеся проверке изменения, которые могут быть продолжены в будущих исследованиях в аналогичных контекстах.

Третий вывод носит не содержательный, а методологический характер и не менее важен, чем интерпретации первых двух. Сетевые связи экосистемы и динамические возможности были сильно коррелированы в этой выборке (r = 0,98, HTMT = 1,22), не были разделены с уверенностью и не могли считаться независимыми факторами, способствующими внедрению ИИ (H2, H7). Это вместе с нижепороговыми оценками AVE для шести из восьми конструкций и прямыми доказательствами («Уступчивый или прямой ответ») предполагает, что проблема не в лежащей в основе теории, а в качестве измерений. Она связана с тем, как эти недавно созданные шкалы на уровне экосистемы работают с конкретной выборкой практикующих специалистов. Важно отметить: если результат равен нулю или нестабилен из-за шума измерения, это не наблюдение нулевого результата (что означало бы подлинное отсутствие связи), а скорее другое научное наблюдение. Смешивание этих двух факторов может привести к неправильному направлению будущих научных исследований.

Общие выводы

Данная исследовательская работа содержит три основных вклада в теорию, посвященную внедрению ИИ в деятельность промышленных предприятий (на примере промышленности Пакистана). **Во-первых**, ИИ вводит в действие и эмпирически проверяет конструкции экосистемного уровня – сетевые связи и институциональную поддержку, – которые лишь описательно утверждались в литературе по исследованиям возможностей ИИ [6, 11]. Это обеспечивает один из первых количественных тестов, подтверждающих, что внедрение ИИ в отрасли обусловлено не только внутренними технологическими возможностями, но также определяется внешними, ориентированными на человека, и институциональными факторами. **Во-вторых**, ИИ объединяет динамические возможности и институциональную теорию в единую модель и эмпирически демонстрирует, что институциональное измерение этой модели является более релевантным объясняющим фактором в контексте внедрения ИИ в производственной среде в контексте Южной Азии, тем самым подтверждая предположение о том, что институциональную теорию следует рассматривать как ключевой, а не как вспомогательный аспект для будущих исследований по внедрению ИИ на аналогично недостаточно институционализированных рынках. **В-третьих**, исследование вносит вклад в научно-методический инструментарий оценки влияния ИИ на деятельность предприятия, поскольку в нем проведена диагностика коллинеарности и дискриминантной достоверности смещения и рассматривается подмножество вариантов, которые являются статистически значимыми.

Практическая значимость для руководителей и политики

Эти результаты наиболее важны для менеджеров предприятий: положительная корреляция между внедрением ИИ и производительностью (*девятая гипотеза*) является существенной в этой выборке, предполагая, что организации с более высоким уровнем внедрения ИИ имеют более высокие показатели конкурентоспособности и инноваций и должны продолжать инвестировать в возможности ИИ даже по мере развития окружающей организационной культуры или технологической базы. Главным результатом является сильное влияние институциональной и государственной поддержки на прогнозирование принятия решений политиками и отраслевыми ассоциациями. В этой выборке внешняя легитимация и поддержка, по-видимому, оказывают более сильное влияние на внедрение ИИ, чем собственная технологическая готовность фирмы и культура инноваций. Это не означает, что усилия в области промышленной политики – четкие нормативные указания по использованию ИИ, пилотные схемы на уровне отрасли или сектора, инвестиции в обучение и четкий сигнал отрасли посредством одобрения со стороны торгово-промышленных палат и промышленных ассоциаций – следует игнорировать в пользу кампаний по повышению готовности на уровне предприятий, но, скорее, предполагает, что они могут иметь больший потенциал для влияния на внедрение промышленного

ИИ в Пакистане в ближайшей перспективе, в дополнение к их роли в поддержке готовности на уровне фирм.

Заключение

Основные полученные результаты исследований заключаются в следующем:

1. Экосистемный уровень и инфраструктурные условия (сетевые связи экосистемы, готовность цифровой инфраструктуры и институциональная и государственная поддержка) успешно предсказали конструкты внутренней готовности предприятия (технологическую готовность, динамические возможности и организационную инновационную культуру), подтвердив *первую*, *третью* и *четвертую гипотезы*.

2. Внедрение ИИ было тесно связано с промышленными инновациями и конкурентоспособностью с большим эффектом ($f^2 = 1{,}11$), что подтверждает *девятую гипотезу* и представляет собой наиболее важный вывод исследования.

3. Институциональная и государственная поддержка, а не технологическая готовность фирмы или организационная инновационная культура была основным и наиболее прямым фактором, влияющим на внедрение ИИ ($\beta \approx 0{,}96–1{,}05$), что важно для того, как государственная политика и отраслевые ассоциации могут стимулировать переход к Индустрии 5.0 в аналогичных условиях развивающегося производства.

4. Гипотетический сдерживающий эффект институциональной и государственной поддержки на взаимосвязь между организационной инновационной культурой и внедрением ИИ (*восьмая гипотеза*) не был обнаружен.

5. Две из девяти гипотез (*вторая* и *седьмая*) не удалось проверить в первоначальном виде из-за сильной коллинеарности между элементами сетевых связей экосистемы и динамических возможностей ($r = 0{,}98$).

Результаты исследований могут выступать в качестве эмпирической базы для следующего этапа исследований, а научно-методические выводы служат основой для развития предметной области исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Dwivedi Y.K., Hughes L., Ismagilova E., Aarts G., Coombs K., Crick T. et al. (2021) Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 57, art. no. 101994. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002

2. Brynjolfsson E., McAfee A. (2016) *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, 2nd ed., NY: W.W. Norton & Company.

3. Khan M., Haleem A., Javaid M. (2023) Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0. *Green Technologies and Sustainability*, 1 (2), art. no. 100020. DOI: 10.1016/j.grets.2023.100020

4. Nahavandi S. (2019) Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. *Sustainability*, 11 (16), art. no. 4371. DOI: 10.3390/su11164371

5. Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R. (2022) Artificial Intelligence Applications for Industry 4.0: A Literature-Based Study. *Journal of Industrial Integration and Management*, 7 (1), 83–111. DOI: 10.1142/S2424862221300040

6. Chaerunnisa C., Hurriyati R., Hendrayati H., Dirgantari P.D. (2025) Effect of Strategic Planning, Business Innovation, Digital Transformation, and Organisational Agility on Competitive Advantage of Modern Service Companies in West Java. *Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan*, 13 (5), 4121–4138. DOI: 10.37641/jimkes.v13i5.3873

7. Fosso Wamba S., Queiroz M.M., Pappas I.O., Sullivan Y. (2024) Artificial Intelligence Capability and Firm Performance: A Sustainable Development Perspective by the Mediating Role of Data-Driven Culture. *Information Systems Frontiers*, 26 (6), 2189–2203. DOI: 10.1007/s10796-023-10460-z

8. Mikalef P., Gupta M. (2021) Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study of its effects on organizational creativity and firm performance. *Information & Management*, 58 (3), art. no. 103434. DOI: 10.1016/j.im.2021.103434

9. Hossain M.A., Agnihotri R., Rushan M.R.I., Rahman M.S., Sumi S.F. (2022) Marketing analytics capability, artificial intelligence adoption, and firms' competitive advantage: Evidence from the manufacturing industry. *Industrial Marketing Management*, 106, 240–255. DOI: 10.1016/j.indmarman.2022.08.017

10. Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A., Oghazi P., Fischl M. (2021) Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.09.009

11. Neiroukh S., Emeagwali O.L., Aljuhmani H.Y. (2025) Artificial intelligence capability and organizational performance: Uncovering the mediating mechanisms of decision-making processes. *Management Decision*, 63 (10), 3501–3532. DOI: 10.1108/md-10-2023-1946

12. DiMaggio P.J., Powell W.W. (1983) The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48 (2), 147–160. DOI: 10.2307/2095101

13. Raisch S., Krakowski S. (2021) Artificial Intelligence and Management: The Automation–Augmentation Paradox. *Academy of Management Review*, 46 (1), 192–210. DOI: 10.5465/amr.2018.0072

14. Teece D.J. (2007) Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sus-tainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28 (13), 1319–1350. DOI: 10.1002/smj.640

15. Krakowski S., Luger J., Raisch S. (2023) Artificial intelligence and the changing sources of competitive advantage. *Strategic Management Journal*, 44 (6), 1425–1452. DOI: 10.1002/smj.3387

16. Wamba-Taguimdje S.-L., Fosso Wamba S., Kala Kamdjoug J.R., Tchatchouang Wanko C.E. (2020) Influence of artificial intelligence (AI) on firm performance: The business value of AI-based transformation projects. *Business Process Management Journal*, 26 (7), 1893–1924. DOI: 10.1108/BPMJ-10-2019-0411

17. Barney J. (1991) Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17 (1), 99–120. DOI: 10.1177/014920639101700108

18. Бабкин А.В., Либерман И.В., Клачек П.М. (2023) Индустрия 5.0 и интеллектуальная экономика: основы нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных промышленных комплексов. *π-Economy*, 16 (5), 8–21. DOI: 10.18721/JE.16501

19. Бабкин А.В., Михайлов П. А., Шкарупета Е.В., Чэнь Лэйфэй (2025) Инструментарий оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы на основе коэволюции и экосистемной синергии. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: 10.18721/JE.18402

20. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. (2021) Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: концепция, сущность, модель. *Экономическое возрождение России*, 4 (70), 39–62. DOI: 10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62

21. Скворцова И.В., Тесля А.Б., Сомов А.Г. (2026) Оценка готовности промышленных предприятий к внедрению искусственного интеллекта как основа выбора стратегических направлений цифровой трансформации. *π-Economy*, 19 (2), 7–28. DOI: 10.18721/JE.19201

22. Кобзев В.В., Бабкин А.В., Скоробогатов А.С. (2022) Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях новой реальности. *π-Economy*, 15 (5), 7–27. DOI: 10.18721/JE.15501

23. Bailey D.E., Faraj S., Hinds P.J., Leonardi P.M., von Krogh G. (2022) We Are All Theorists of Technology Now: A Relational Perspective on Emerging Technology and Organizing. *Organization Science*, 33 (1), 1–18. DOI: 10.1287/orsc.2021.1562

24. Shrestha Y.R., Ben-Menahem S.M., von Krogh G. (2019) Organizational Decision-Making Structures in the Age of AI. *California Management Review*, 61 (4), 66–83. DOI: 10.1177/0008125619862257

25. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Гаев К.Б. (2024) Методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и экосистемы на основе динамического коэволюционного потенциала. *π-Economy*, 17 (4), 153–178. DOI: 10.18721/JE.17410

26. Mikalef P., Krogstie J., Pappas I.O., Pavlou P. (2020) Exploring the Relationship between Big Data Analytics Capability and Competitive Performance: The Mediating Roles of Dynamic and Operational Capabilities. *Information & Management*, 57 (2), art. no. 103169. DOI: 10.1016/j.im.2019.05.004

27. Bharadwaj A.S. (2000) A Resource-Based Perspective on Information Technology Capability and Firm Performance: An Empirical Investigation. *MIS Quarterly*, 24 (1), 169–196. DOI: 10.2307/3250983

28. Chae H.-C., Koch C.E., Prybutok V.R. (2014) Information Technology Capability and Firm Performance: Contradictory Findings and Their Possible Causes. *MIS Quarterly*, 38 (1), 305–326. DOI: 10.25300/MISQ/2014/38.1.14

29. Almeiri H.M., Ahmad S.Z., Abu Bakar A.R., Khalid K. (2024) Artificial intelligence capabilities, dynamic capabilities and organizational creativity: contributing factors to the United Arab Emirates Government's organizational performance. *Journal of Modelling in Management*, 19 (3), 953–979. DOI: 10.1108/JM2-11-2022-0272

30. Hair J.F., Risher J.J., Sarstedt M., Ringle C.M. (2019) When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 31 (1), 2–24. DOI: 10.1108/EBR-11-2018-0203

31. Garg V.K., Walters B.A., Priem R.L. (2003) Chief executive scanning emphases, environmental dynamism, and manufacturing firm performance. *Strategic Management Journal*, 24 (8), 725–744. DOI: 10.1002/smj.335

32. Podsakoff P.M., MacKenzie S.B., Lee J.-Y., Podsakoff N.P. (2003) Common Method Biases in Behavioral Research: A Critical Review of the Literature and Recommended Remedies. *Journal of Applied Psychology*, 88 (5), 879–903. DOI: 10.1037/0021-9010.88.5.879

33. SmartPLS 4 (2026) SmartPLS 4. The world´s most user-friendly statistical software. Making complex models simple! [online] Available at: smartpls.com [Accessed 17.08.2026]

34. Hair J.F., Howard M.C., Nitzl C. (2020) Assessing measurement model quality in PLS-SEM using confirmatory composite analysis. *Journal of Business Research*, 109, 101–110. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.11.069

35. Fornell C., Larcker D.F. (1981) Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, 18 (1), 39–50. DOI: 10.1177/002224378101800104

36. Henseler J., Ringle C.M., Sarstedt M. (2015) A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43 (1), 115–135. DOI: 10.1007/s11747-014-0403-8

37. Cohen J. (1988) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed., Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

38. Choudhury S., Dey P., Joel-Edgar S., Bhattacharya S., Rodriguez-Espindola O., Abadi A., Truong L. (2023) Unlocking the value of artificial intelligence in human resource management through AI capability framework. *Human Resource Management Review*, 33 (1), art. no. 100899. DOI: 10.1016/j.hrmr.2022.100899

REFERENCES

1. Dwivedi Y.K., Hughes L., Ismagilova E., Aarts G., Coombs K., Crick T. et al. (2021) Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 57, art. no. 101994. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002

2. Brynjolfsson E., McAfee A. (2016) *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, 2nd ed., NY: W.W. Norton & Company.

3. Khan M., Haleem A., Javaid M. (2023) Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0. *Green Technologies and Sustainability*, 1 (2), art. no. 100020. DOI: 10.1016/j.grets.2023.100020

4. Nahavandi S. (2019) Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. *Sustainability*, 11 (16), art. no. 4371. DOI: 10.3390/su11164371

5. Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R. (2022) Artificial Intelligence Applications for Industry 4.0: A Literature-Based Study. *Journal of Industrial Integration and Management*, 7 (1), 83–111. DOI: 10.1142/S2424862221300040

6. Chaerunnisa C., Hurriyati R., Hendrayati H., Dirgantari P.D. (2025) Effect of Strategic Planning, Business Innovation, Digital Transformation, and Organisational Agility on Competitive Advantage of Modern Service Companies in West Java. *Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan*, 13 (5), 4121–4138. DOI: 10.37641/jimkes.v13i5.3873

7. Fosso Wamba S., Queiroz M.M., Pappas I.O., Sullivan Y. (2024) Artificial Intelligence Capability and Firm Performance: A Sustainable Development Perspective by the Mediating Role of Data-Driven Culture. *Information Systems Frontiers*, 26 (6), 2189–2203. DOI: 10.1007/s10796-023-10460-z

8. Mikalef P., Gupta M. (2021) Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study of its effects on organizational creativity and firm performance. *Information & Management*, 58 (3), art. no. 103434. DOI: 10.1016/j.im.2021.103434

9. Hossain M.A., Agnihotri R., Rushan M.R.I., Rahman M.S., Sumi S.F. (2022) Marketing analytics capability, artificial intelligence adoption, and firms' competitive advantage: Evidence from the manufacturing industry. *Industrial Marketing Management*, 106, 240–255. DOI: 10.1016/j.indmarman.2022.08.017

10. Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A., Oghazi P., Fischl M. (2021) Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.09.009

11. Neiroukh S., Emeagwali O.L., Aljuhmani H.Y. (2025) Artificial intelligence capability and organizational performance: Uncovering the mediating mechanisms of decision-making processes. *Management Decision*, 63 (10), 3501–3532. DOI: 10.1108/md-10-2023-1946

12. DiMaggio P.J., Powell W.W. (1983) The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48 (2), 147–160. DOI: 10.2307/2095101

13. Raisch S., Krakowski S. (2021) Artificial Intelligence and Management: The Automation–Augmentation Paradox. Academy of Management Review, 46 (1), 192–210. DOI: 10.5465/amr.2018.0072

14. Teece D.J. (2007) Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28 (13), 1319–1350. DOI: 10.1002/smj.640

15. Krakowski S., Luger J., Raisch S. (2023) Artificial intelligence and the changing sources of competitive advantage. *Strategic Management Journal*, 44 (6), 1425–1452. DOI: 10.1002/smj.3387

16. Wamba-Taguimdje S.-L., Fosso Wamba S., Kala Kamdjoug J.R., Tchatchouang Wanko C.E. (2020) Influence of artificial intelligence (AI) on firm performance: The business value of AI-based transformation projects. *Business Process Management Journal*, 26 (7), 1893–1924. DOI: 10.1108/BPMJ-10-2019-0411

17. Barney J. (1991) Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17 (1), 99–120. DOI: 10.1177/014920639101700108

18. Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M. (2023) Industry 5.0 and intelligent economy: fundamentals of neuro-digital transformation of cyber social meta-ecosystems of high-tech industrial complexes. *π-Economy*, 16 (5), 8–21. DOI: 10.18721/JE.16501

19. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Chen Leifei (2025) A toolkit for assessing the digital maturity of an intelligent industrial ecosystem based on coevolution and ecosystem synergy. π-Economy, 18 (4), 32–53. DOI: 10.18721/JE.18402

20. Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. (2021) Intelligent cyber-social ecosystem of Industry 5.0: definition, essence, model. *Economic Revival of Russia*, 4 (70), 39–62. DOI: 10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62

21. Skvortsova I.V., Teslya A.B., Somov A.G. (2026) Assessing industrial enterprise readiness for artificial intelligence implementation as a basis for strategic digital transformation directions. *π-Economy*, 19 (2), 7–28. DOI: 10.18721/JE.19201

22. Kobzev V.V., Babkin A.V., Skorobogatov A.S. (2022) Digital transformation of industrial enterprises in the new reality, *π-Economy*, 15 (5), 7–27. DOI: 10.18721/JE.15501

23. Bailey D.E., Faraj S., Hinds P.J., Leonardi P.M., von Krogh G. (2022) We Are All Theorists of Technology Now: A Relational Perspective on Emerging Technology and Organizing. *Organization Science*, 33 (1), 1–18. DOI: 10.1287/orsc.2021.1562

24. Shrestha Y.R., Ben-Menahem S.M., von Krogh G. (2019) Organizational Decision-Making Structures in the Age of AI. *California Management Review*, 61 (4), 66–83. DOI: 10.1177/00081256-19862257

25. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Gaev K.B. (2024) Methodology for assessing the digital maturity of an industrial enterprise and ecosystem based on dynamic coevolutionary potential. *π-Economy*, 17 (4), 153–178. DOI: 10.18721/JE.17410

26. Mikalef P., Krogstie J., Pappas I.O., Pavlou P. (2020) Exploring the Relationship between Big Data Analytics Capability and Competitive Performance: The Mediating Roles of Dynamic and Operational Capabilities. *Information & Management*, 57 (2), art. no. 103169. DOI: 10.1016/j.im.2019.05.004

27. Bharadwaj A.S. (2000) A Resource-Based Perspective on Information Technology Capability and Firm Performance: An Empirical Investigation. *MIS Quarterly*, 24 (1), 169–196. DOI: 10.2307/3250983

28. Chae H.-C., Koch C.E., Prybutok V.R. (2014) Information Technology Capability and Firm Performance: Contradictory Findings and Their Possible Causes. *MIS Quarterly*, 38 (1), 305–326. DOI: 10.25300/MISQ/2014/38.1.14

29. Almeiri H.M., Ahmad S.Z., Abu Bakar A.R., Khalid K. (2024) Artificial intelligence capabilities, dynamic capabilities and organizational creativity: contributing factors to the United Arab Emirates Government's organizational performance. *Journal of Modelling in Management*, 19 (3), 953–979. DOI: 10.1108/JM2-11-2022-0272

30. Hair J.F., Risher J.J., Sarstedt M., Ringle C.M. (2019) When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 31 (1), 2–24. DOI: 10.1108/EBR-11-2018-0203

31. Garg V.K., Walters B.A., Priem R.L. (2003) Chief executive scanning emphases, environmental dynamism, and manufacturing firm performance. *Strategic Management Journal*, 24 (8), 725–744. DOI: 10.1002/smj.335

32. Podsakoff P.M., MacKenzie S.B., Lee J.-Y., Podsakoff N.P. (2003) Common Method Biases in Behavioral Research: A Critical Review of the Literature and Recommended Remedies. *Journal of Applied Psychology*, 88 (5), 879–903. DOI: 10.1037/0021-9010.88.5.879

33. SmartPLS 4 (2026) SmartPLS 4. The world's most user-friendly statistical software. Making complex models simple! [online] Available at: smartpls.com [Accessed 17.08.2026]

34. Hair J.F., Howard M.C., Nitzl C. (2020) Assessing measurement model quality in PLS-SEM using confirmatory composite analysis. *Journal of Business Research*, 109, 101–110. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.11.069

35. Fornell C., Larcker D.F. (1981) Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, 18 (1), 39–50. DOI: 10.1177/002224378101800104

36. Henseler J., Ringle C.M., Sarstedt M. (2015) A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43 (1), 115–135. DOI: 10.1007/s11747-014-0403-8

37. Cohen J. (1988) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed., Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

38. Choudhury S., Dey P., Joel-Edgar S., Bhattacharya S., Rodriguez-Espindola O., Abadi A., Truong L. (2023) Unlocking the value of artificial intelligence in human resource management through AI capability framework. *Human Resource Management Review*, 33 (1), art. no. 100899. DOI: 10.1016/j.hrmr.2022.100899

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

АЛИ Амджад
E-mail: Amjadbbsulk@gmail.com
Amjad ALI
E-mail: Amjadbbsulk@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1686-0016

ЗДОЛЬНИКОВА Светлана Вячеславовна
E-mail: zdoln@mail.ru
Svetlana V. ZDOLNIKOVA
E-mail: zdoln@mail.ru

Поступила: 18.07.2026; Одобрена: 21.08.2026; Принята: 21.08.2026.
Submitted: 18.07.2026; Approved: 21.08.2026; Accepted: 21.08.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 66–83.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 66–83.

Региональная и отраслевая экономика
Regional and branch economy

Научная статья
УДК 338.2
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19404
EDN: https://elibrary/LLCMKG

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПОЛИТИКА И ИНСТИТУТЫ РАЗВИТИЯ: ЭЛЕМЕНТЫ ОЦЕНКИ СИСТЕМНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

С.В. Палаш[1] ✉, **М.С. Палаш**[2]

[1] Костромской государственный университет, Кострома, Российская Федерация;

[2] Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

✉ svpalash@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность темы* исследования обусловлена важностью анализа системных взаимосвязей государственных институтов развития для оценки эффективности их деятельности и выявления проблем реализации государственной промышленной политики, связанных с системными отношениями и взаимодействиями. *Целью исследования* является разработка методического инструментария оценки системных взаимосвязей Фонда развития промышленности (ФРП) как государственного института развития промышленности, осуществляющего деятельность по реализации государственной промышленной политики. Используются *методы* системного и экономического анализов. Отличительной особенностью разрабатываемого инструментария является учет характера взаимодействий ФРП с органами государственного управления, с другими государственными институтами развития, с промышленными предприятиями, а также влияния на эти взаимодействия внешней среды, в том числе макроэкономических условий, состояния и динамики промышленного комплекса. Для оценки системных взаимосвязей ФРП были предложены четыре группы показателей, характеризующих: 1) объемы финансовой поддержки промышленных предприятий через инструменты ФРП; 2) обеспечение обязательств ФРП и взаимосвязи с другими государственными институтами развития; 3) состояние и динамику комплекса обрабатывающей промышленности; 4) влияние на эти взаимодействия внешней среды, макроэкономических условий (показателей, характеризующих динамику ключевой ставки Банка России). Показано, что за рассматриваемый период (2020–2024 гг.) на 2021, 2023, 2024 гг., в которые происходит значимый прирост производства и инвестиций в основной капитал предприятий обрабатывающей промышленности, приходится увеличение ключевой ставки Банка России, а также сокращение чистого предоставления займов ФРП промышленным предприятиям (деятельность с целевыми средствами). Увеличение ключевой ставки Банка России означает удорожание коммерческого кредита, в том числе и для промышленных предприятий. Выявленные взаимосвязи отражают взаимодействие механизмов государственной промышленной и денежно-кредитной политики. Происходят также изменения в структуре обеспечения исполнения обязательств ФРП по формам обеспечения: сокращается доля залога и поручительства, увеличивается доля банковской гарантии, которая становится основной формой обеспечения в конце рассматриваемого периода, а также увеличивается доля иного обеспечения. Выявленные структурные изменения отражают изменения интенсивности взаимодействия ФРП с другими государственными институтами развития и с кредитными организациями. Сфера применения полученных результатов: государственная промышленная политика, деятельность государственных институтов развития промышленности по поддержке промышленных предприятий.

© Палаш С.В., Палаш М.С., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Ключевые слова: промышленность, развитие промышленности, государственная промышленная политика, государственные институты развития, системные взаимосвязи, методический инструментарий оценки

Для цитирования: Палаш С.В., Палаш М.С. (2026) Государственная промышленная политика и институты развития: элементы оценки системных взаимосвязей. π-Economy, 19 (4), 66–83. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19404

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19404

STATE INDUSTRIAL POLICY AND DEVELOPMENT INSTITUTIONS: ELEMENTS OF ASSESSMENT OF SYSTEMIC INTERRELATIONS

S.V. Palash[1] ✉, M.S. Palash[2]

[1] Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation;

[2] Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ svpalash@yandex.ru

Abstract. The relevance of this research topic is due to the importance of analyzing the systemic relations of state development institutions for assessing their effectiveness and identifying problems in implementing state industrial policy related to systemic relations and interactions. *The objective of this study* is to develop a methodological tool for assessing the systemic relations of the Industrial Development Fund (IDF) as a state institution for industrial development implementing state industrial policy. The research methods utilize system and economic analyses. A distinctive feature of the developed tool is its consideration of the nature of the IDF's interactions with government bodies, other state development institutions, and industrial enterprises, as well as the influence of the external environment on these interactions, including macroeconomic conditions and the state and dynamics of the industrial complex. To assess the systemic interrelations of the IDF, the authors develop four groups of indicators characterizing: 1) the volume of financial support for industrial enterprises through the instruments of the IDF; 2) securing the IDF's obligations and relationships with other state development institutions; 3) the state and dynamics of the manufacturing complex; 4) the influence of the external environment and macroeconomic conditions (indicators characterizing the dynamics of the Bank of Russia key rate) on these interactions. The study shows that for the period under review (from 2020 to 2024), the years with a significant increase in production and investment in fixed assets of manufacturing enterprises (2021, 2023, 2024) are characterized by an increase in the Bank of Russia key rate, as well as a decrease in the net provision of loans by the IDF to industrial enterprises (activities with targeted funds). An increase in the Bank of Russia key rate means an increase in the cost of commercial lending, including for industrial enterprises. The identified interrelations reflect the interaction of the mechanisms of state industrial and monetary policy. Changes are also occurring in the structure of the IDF's loan repayment security for various forms: the share of collateral and surety is decreasing, the share of bank guarantees, which become the primary form of collateral at the end of the period under review, is increasing, and the share of other collateral is also increasing. The identified structural changes reflect changes in the intensity of the IDF's interactions with other state development institutions and credit organizations. The scope of application of the obtained results includes state industrial policy and the activities of state industrial development institutions in supporting industrial enterprises.

Keywords: industry, industrial development, state industrial policy, state development institutions, systemic relationships, methodological assessment tools

Citation: Palash S.V., Palash M.S. (2026) State industrial policy and development institutions: elements of assessment of systemic interrelations. π-Economy, 19 (4), 66–83. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19404

© Palash S.V., Palash M.S., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Введение

Государственные институты развития промышленности выполняют важные функции в процессе реализации государственной промышленной политики, осуществляют финансовую и нефинансовую поддержку предприятий. На эффективность деятельности государственных институтов развития промышленности оказывает влияние внешняя среда, в том числе внешнеэкономические, макроэкономические условия, состояние промышленного комплекса, характер взаимодействия таких институтов с органами государственного управления, с другими институтами развития, с промышленными предприятиями. Поэтому оценка качества системных взаимосвязей государственных институтов развития важна для оценки эффективности их деятельности и выявления проблем реализации государственной промышленной политики, связанных с системными отношениями и взаимодействиями.

Литературный обзор

Государственная промышленная политика реализуется во взаимосвязи с другими направлениями государственной экономической политики: структурной, инвестиционной, научно-технической, денежно-кредитной, политикой безопасности и т.д., что определяет широкий круг научных проблем. Актуальные проблемы промышленного развития включают проблемы технологического развития [1] и достижения технологического суверенитета промышленности [2], а также промышленного суверенитета Российской Федерации [3], цифровой трансформации [4, 5], оценки эффективности отраслевых промышленных экосистем [6] и повышения производительности труда в промышленности [7], формирования и оценки человеческого [8] и кадрового потенциала промышленности [9], дефицита квалифицированных рабочих в обрабатывающей промышленности [10], развития отдельных отраслей промышленности [11] и малого бизнеса [12] и др.

Широкий круг проблем формирования и реализации государственной промышленной политики включает теоретические проблемы переосмысления промышленной политики через призму экономической теории в контексте общественного договора [13], а также через призму глобального возрождения промышленной политики [14], через анализ приоритетов и инструментов промышленной политики [15], эффекта мер государственной поддержки для промышленных предприятий [16] и др. В научной литературе уделяется также внимание анализу взаимосвязей государственной промышленной и денежно-кредитной политики [17], а также проблемам ее формирования [18] и связанным с ними проблемам повышенной инфляции в российской экономике [19].

Так или иначе вышеперечисленные проблемы отражаются на деятельности государственных институтов развития в части реализации государственной промышленной политики. В научной литературе оценивается вклад институтов развития в решение задач технологической модернизации и инновационного развития [20], в том числе развития инновационного предпринимательства [21], дается оценка результативности институтов развития как инструментов реализации государственной инвестиционной политики [22], региональные институты развития рассматриваются как факторы экономического роста [23] и как подсистемы стратегического планирования [24], разрабатываются подходы к оценке результативности и эффективности государственных институтов развития [25], дается оценка эффективности деятельности отдельных государственных институтов развития промышленности [26] и др.

Все эти проблемы рассматриваются, в том числе, с позиций системного подхода. Как известно, в системной экономической теории основным объектом исследования является экономическая система. Концепция системной экономики развивается в трудах Г.Б. Клейнера. Системная экономика позиционируется как платформа развития современной экономической теории [27], разрабатываются вопросы системного анализа и проблемы системного развития экономики [28], системная парадигма применяется к анализу разных объектов исследования [29].

В научной литературе также разрабатываются проблемы системного моделирования в экономике [30].

Авторы данного исследования рассматривают государственные институты развития промышленности как подсистемы государственной промышленной политики [31]. Сложность этих систем обусловливает существование нерешенных методических проблем оценки деятельности государственных институтов развития в рамках государственной промышленной политики, отражающих сложность анализа взаимосвязей внутри нее, с внешней средой, и учета характера этих взаимосвязей в оценке. Разрабатывая элементы научно-методического подхода к оценке деятельности государственных институтов развития промышленности по реализации государственной промышленной политики, авторы выделяют несколько критериев оценки, в том числе критерий «системности включения государственных институтов развития промышленности в государственную промышленную политику» [31], и разрабатывают группы показателей, которые характеризуют деятельность разных институтов развития, но могут быть адаптированы к оценке деятельности конкретных государственных институтов развития промышленности и применены в оценке. Необходимость разработки методик оценки деятельности государственных институтов развития промышленности и повышения эффективности их деятельности обусловила формулировку цели данного исследования.

Целью исследования является разработка методического инструментария оценки системных взаимосвязей Фонда развития промышленности (ФРП) как государственного института развития промышленности, осуществляющего деятельность по реализации государственной промышленной политики.

Задачи исследования

- разработать методические инструменты оценки системных взаимосвязей ФРП, позволяющие учитывать характер его взаимодействий с органами государственного управления, с другими государственными институтами развития, с промышленными предприятиями, а также влияния на эти взаимодействия внешней среды, в том числе макроэкономических условий, состояния и динамики промышленного комплекса;
- сформировать группы показателей, характеризующих: 1) объемы финансовой поддержки промышленных предприятий через инструменты ФРП; 2) обеспечение обязательств ФРП и взаимосвязи с другими государственными институтами развития; 3) состояние и динамику комплекса обрабатывающей промышленности; 4) влияние на эти взаимодействия внешней среды, макроэкономических условий;
- дать оценку системных взаимосвязей ФРП, как государственного института развития, осуществляющего деятельность по реализации государственной промышленной политики.

Объектом исследования является ФРП как государственный институт развития промышленности.

Предмет исследования: методики оценки системных взаимосвязей государственных институтов развития промышленности как подсистем государственной промышленной политики.

Методы и материалы

Теоретической базой исследования послужили труды ученых-экономистов в области промышленного развития, государственной промышленной политики, экономической теории систем.

Использовались методы системного и экономического анализа (горизонтальный и вертикальный).

Информационной базой исследования послужили данные официального сайта ФРП, Росстата, Банка России, годовой бухгалтерской (финансовой) отчетности государственного (муниципального) учреждения «Фонд развития промышленности» (ФГАУ «Российский фонд технологического развития») за 2020–2024 гг.

Результаты и обсуждение

В рамках данного исследования авторы разрабатывают элементы методического инструментария оценки системных взаимосвязей ФРП как государственного института развития промышленности, осуществляющего деятельность по реализации государственной промышленной политики. Отличительной особенностью разрабатываемого инструментария является учет характера взаимодействий ФРП с органами государственного управления, с другими государственными институтами развития, с промышленными предприятиями, а также влияния на эти взаимодействия внешней среды, в том числе макроэкономических условий, состояния и динамики промышленного комплекса.

На основе анализа показателей бухгалтерской (финансовой) отчетности ФРП были выделены:

1) группа показателей, характеризующих объемы финансовой поддержки промышленных предприятий через инструменты ФРП;

2) группа показателей, характеризующих обеспечение обязательств ФРП.

В первую группу вошли показатели отчета о финансовых результатах деятельности учреждения: «Чистое предоставление займов (ссуд)» (код строки 460), «Увеличение задолженности по предоставленным займам (ссудам)» (код строки 461), «Уменьшение задолженности по предоставленным займам (ссудам)» (код строки 462), (деятельность с целевыми средствами). Во вторую группу вошли показатели справки о наличии имущества и обязательств на забалансовых счетах (номер забалансового счета 10): суммы по строкам «Обеспечение исполнения обязательств, всего» (код строки 100), «Залог» (код строки 102), «Банковская гарантия» (код строки 103), «Поручительство» (код строки 104), «Иное обеспечение» (код строки 105).

Проведен анализ динамики, структуры и структурной динамики выбранных показателей с 2020 по 2024 г.

Проанализируем динамику значений показателей, характеризующих предоставление займов ФРП промышленным предприятиям в рамках деятельности с целевыми средствами (рис. 1–3).

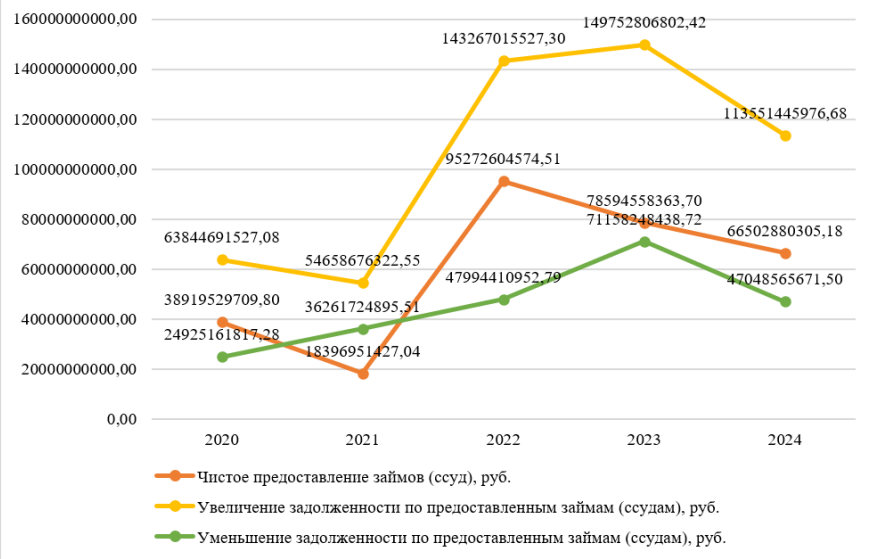
За рассматриваемый период с 2020 по 2024 г. (данные на конец соответствующего года) наименьшее значение показателей «Увеличение задолженности по предоставленным займам (ссудам)» и «Чистое предоставление займов (ссуд)» пришлось на 2021 г., наибольшее значение по первому названному показателю – на 2023 г., по второму – на 2022 г. В 2024 г. происходит снижение всех трех показателей (рис. 1).

В целом с 2020 по 2024 г. все три показателя демонстрируют увеличение значений: чистое предоставление займов – на 70,87%, увеличение задолженности по предоставленным займам – на 77,86%, уменьшение задолженности – на 88,76% (рис. 2).

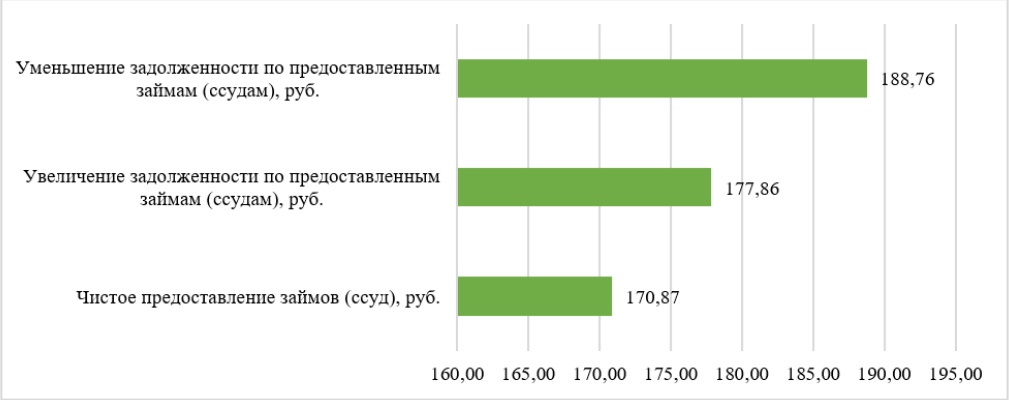
После сокращения в 2021 г. (когда еще действовали ограничения, связанные с пандемией коронавируса) в 2022 г. (начало СВО) чистое предоставление займов ФРП увеличилось в 5,2 раза, сумма увеличения задолженности по предоставленным займам выросла в 2,6 раза, сумма уменьшения задолженности увеличилась на 32,4% (рис. 3). Таким образом 2022-й стал годом, когда за рассматриваемый период наиболее активно в качестве инструмента финансовой поддержки промышленных предприятий использовались займы ФРП. Но уже в 2023 г. и 2024 гг. суммы чистого предоставления займов сокращаются, по сравнению с предыдущим годом.

При этом суммы обеспечения исполнения обязательств ФРП по выданным займам (в рамках деятельности с целевыми средствами) весь период каждый год увеличиваются (рис. 4). Наименьшее значение этого показателя – в 2020 г., наибольшее – в 2024 г.

Отдельные формы обеспечения показывают разную динамику. В частности, за рассматриваемый период все меньше в качестве обеспечения используется залог и все больше – банковская гарантия (рис. 5). Суммы поручительств растут до 2023 г. В 2024 г. по сравнению с предыдущим годом они снижаются.



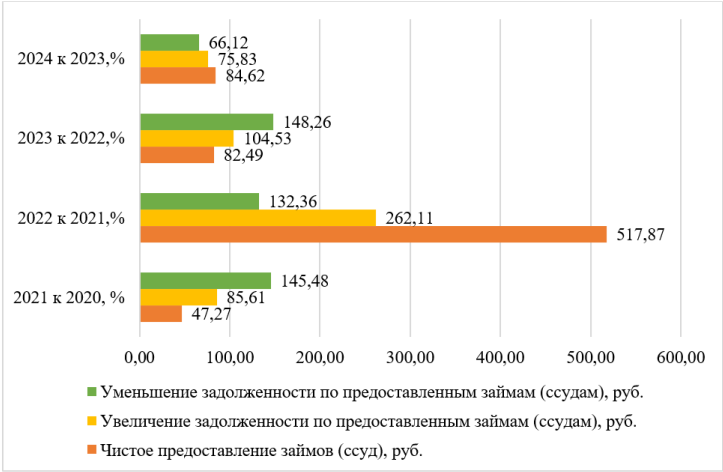
Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность.
Отчет о финансовых результатах деятельности учреждения. Данные приводятся на конец года.
Рис. 1. Динамика показателей предоставления займов ФРП (деятельность с целевыми средствами), руб.
Fig. 1. Dynamics of indicators of loan provision by the Industrial Development Fund (activities with targeted funds), rubles



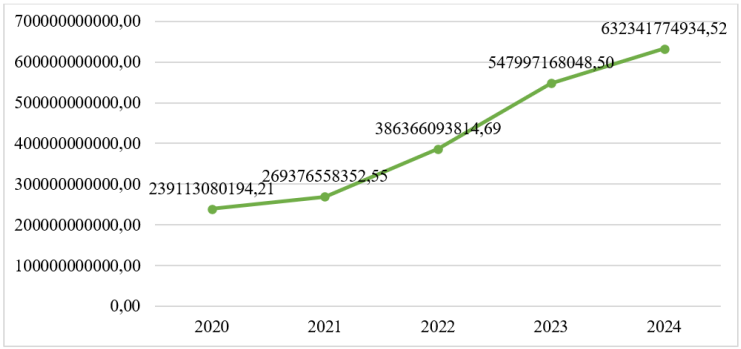
Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность.
Отчет о финансовых результатах деятельности учреждения. Данные приводятся на конец года. Расчеты авторов.
Рис. 2. Темпы роста показателей предоставления займов ФРП (деятельность с целевыми средствами), 2024 г. к 2020 г., %
Fig. 2. Growth rates of loan provision indicators of the Industrial Development Fund (activities with targeted funds), 2024 to 2020, %

За весь период (с 2020 по 2024 г.) суммы обеспечения выполнения обязательств ФРП по предоставленным займам (в рамках деятельности с целевыми средствами) увеличились в 2,6 раза, суммы банковских гарантий – в 5,7 раза, поручительств – на 32,86%, суммы иного обеспечения – в 24 раза. Существенно сократились суммы залога – на 59,36% (рис. 6). Такая динамика разных форм обеспечения оказывает влияние на структуру и структурную динамику форм обеспечения выполнения обязательств ФРП.

Весь рассматриваемый период в структуре обеспечения исполнения обязательств ФРП по формам обеспечения (рис. 7) доля залога сокращается с 19,66% в 2020 г. до 3,02% в 2024 г., доля



Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность.
Отчет о финансовых результатах деятельности учреждения. Данные приводятся на конец года. Расчеты авторов.
Рис. 3. Темпы роста показателей предоставления займов ФРП (деятельность с целевыми средствами), %
Fig. 3. Growth rates of loan provision indicators of the Industrial Development Fund (activities with targeted funds), %

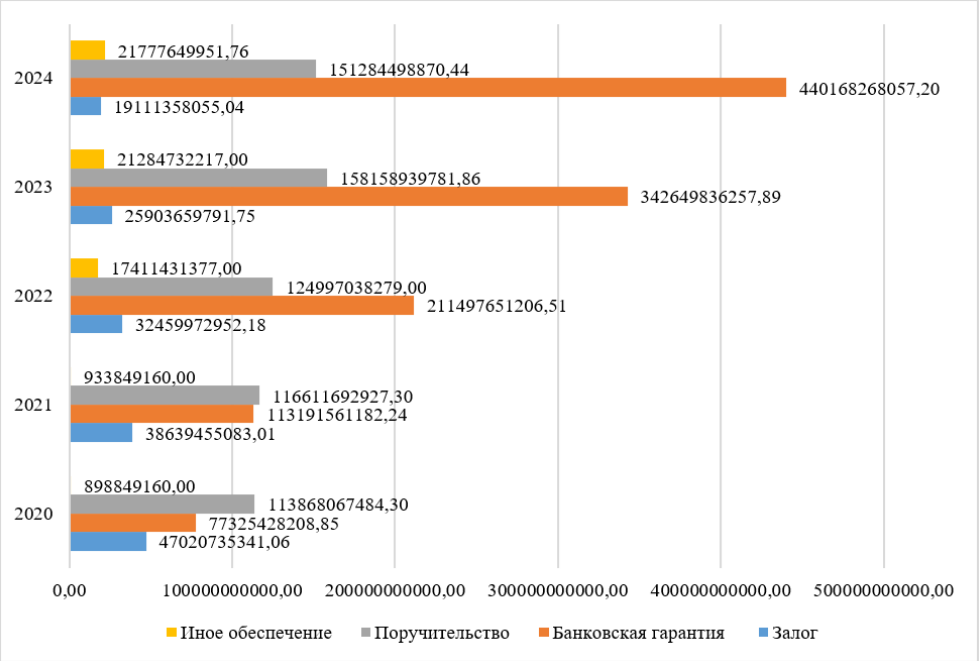


Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность.
Справка о наличии имущества и обязательств на забалансовых счетах. Данные приводятся на конец года.
Рис. 4. Обеспечение исполнения обязательств ФРП (деятельность с целевыми средствами), всего, руб.
Fig. 4. Ensuring the fulfillment of obligations of the Industrial Development Fund (activities with targeted funds), total, rubles

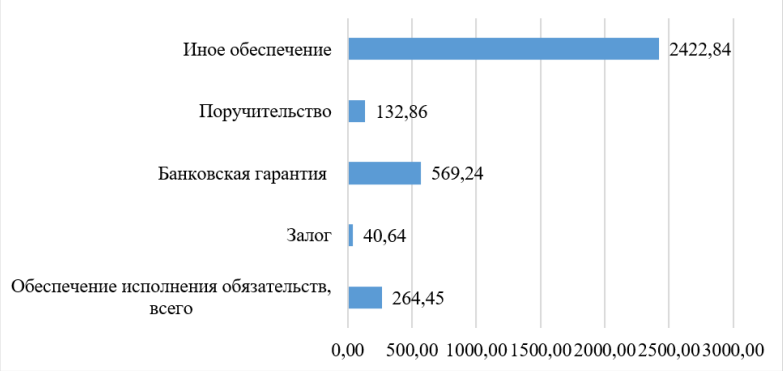
поручительства снижается с 47,62% в 2020 г. до 23,92% в 2024 г., доля банковской гарантии увеличивается с 32,34% в 2020 г. до 69,61% в 2024 г. В конце рассматриваемого периода основной формой обеспечения становится банковская гарантия, тогда как в 2020 г. основной формой было поручительство.

В среднем за рассматриваемый период (средняя геометрическая значений показателей за 2020–2024 гг.) в структуре обеспечения исполнения обязательств ФРП в рамках деятельности с целевыми средствами наибольшая доля приходилась на банковскую гарантию (50,36%), вторым по значимости было поручительство (34,09%), на залог приходилось 8,05%, на иное обеспечение – 1,52% (рис. 8).

Изменение структуры обеспечения исполнения обязательств в части деятельности с целевыми средствами произошло следующим образом: доля банковской гарантии выросла в 2,15 раза, доля иного обеспечения – в 9 раз. Почти в 2 раза сократилась доля поручительств, доля залога снизилась на 84,64% (рис. 9).



Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность.
Справка о наличии имущества и обязательств на забалансовых счетах. Данные приводятся на конец года.
Рис. 5. Динамика показателей обеспечения исполнения обязательств ФРП
(деятельность с целевыми средствами) по разным формам обеспечения, руб.
Fig. 5. Dynamics of indicators for ensuring the fulfillment of obligations of the Industrial Development Fund
(activities with targeted funds) for different forms of security, rubles



Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность.
Справка о наличии имущества и обязательств на забалансовых счетах. Данные приводятся на конец года. Расчеты авторов.
Рис. 6. Темпы роста сумм обеспечения исполнения обязательств ФРП
(деятельность с целевыми средствами) всего и по формам обеспечения, 2024 г. к 2020 г., %
Fig. 6. Growth rates of the amounts of security for the fulfillment of obligations of the Industrial Development Fund
(activities with targeted funds) in total and by forms of security, 2024 compared to 2020, %

Требования ФРП к обеспечению возврата средств, предоставленных в соответствии с договорами займа по проектам, отобранным для финансовой поддержки, устанавливаются стандартом ФРП «Порядок обеспечения возврата займов, предоставленных в качестве финансирования проектов» (редакция 8.0, № СФ-И-82, утв. 12.05.2025), согласно которому к видам основного обеспечения, принимаемого ФРП, кроме независимых гарантий кредитных организаций



Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность.
Справка о наличии имущества и обязательств на забалансовых счетах. Данные приводятся на конец года. Расчеты авторов.

Рис. 7. Структура обеспечения исполнения обязательств ФРП
по формам обеспечения (деятельность с целевыми средствами), %

Fig. 7. Structure of security for the fulfillment of obligations of the Industrial Development Fund
by forms of security (activities with targeted funds), %



Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность.
Справка о наличии имущества и обязательств на забалансовых счетах. Данные приводятся на конец года. Расчеты авторов.

Рис. 8. Структура обеспечения исполнения обязательств ФРП по формам обеспечения
(деятельность с целевыми средствами), средняя геометрическая за 2020–2024 гг., %

Fig. 8. Structure of security for the fulfillment of obligations of the Industrial Development Fund by forms of security
(activities with targeted funds), geometric average for 2020–2024, %

относятся поручительства и гарантии государственных институтов развития, в том числе Государственной корпорации развития ВЭБ.РФ, АО «Федеральная корпорация по развитию малого и среднего предпринимательства», региональных фондов содействия кредитованию МСП, АО «МСП Банк», а также страхование АО «ЭКСАР» и другие виды основного обеспечения. Таким образом, органы государственного управления (выделяя субсидии), различные государственные институты развития, кредитные организации и др. юридические лица взаимодействуют в процессе предоставления мер поддержки предприятиям промышленности.

Проведем анализ показателей, характеризующих состояние и динамику обрабатывающей промышленности (индекс производства и индекс физического объема инвестиций в основной

капитал в сопоставимых ценах, % к предыдущему году) и внешнюю среду (макроэкономические условия) (ключевая ставка Банка России) в рассматриваемый период (рис. 10).

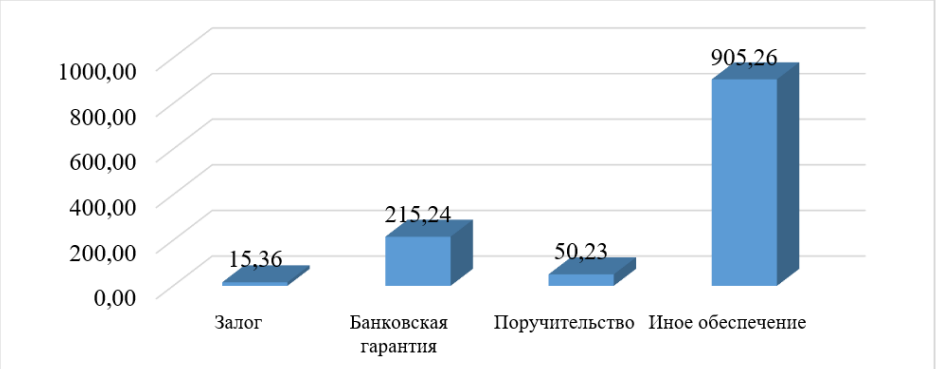
2020 г. и предыдущий 2019 г. характеризовались низкими темпами роста обрабатывающих производств и физического объема инвестиций в основной капитал обрабатывающих производств. В 2021 г. индексы производства и инвестиций в основной капитал увеличиваются до 107,4% и до 109,1% соответственно.

Самые низкие значения этих показателей за рассматриваемый период приходятся на 2022 г.: индекс производства обрабатывающей промышленности составил 100,3%, физический объем инвестиций в сопоставимых ценах по сравнению с предыдущим годом сократился на 4,4%. В 2023 и 2024 гг. следует период роста рассматриваемых показателей обрабатывающих производств (в том числе, компенсационного): объем производства увеличился на 8,7% и на 9,8% соответственно, физический объем инвестиций в основной капитал в сопоставимых ценах вырос на 17,6% в 2023 г. и на 19,0% в 2024 г.

Рассмотрим динамику ключевой ставки Банка России (рис. 11). 2020 г. характеризовался сравнительно невысокими значениями ключевой ставки ЦБ РФ: она в течение этого года с 6,25% годовых снизилась до 4,25% годовых.

В 2021 г. ключевая ставка поднялась до 8,5% годовых. В 2022 г. она в конце февраля повысилась до уровня в 20% годовых, с 11 апреля того же года начала опускаться и к концу года снизилась до 7,5% годовых. В течение 2023 г. ключевая ставка поднялась до уровня в 16% годовых. В течение всего 2024 г. она продолжала расти и в конце года составила 21% годовых. 9 июня 2025 г. ключевая ставка начала снижаться и в конце 2025 года составляла 16% годовых. К концу апреля 2026 г. она снизилась до 14,5% годовых. Таким образом, можно выделить периоды сравнительно невысоких (2020, 2021 гг.) и высоких (2022, 2024, 2025 гг.) значений ключевой ставки. 2023 г. характеризуется умеренными ее значениями в первом полугодии (но это значение выше средних значений в 2020–2021 гг.) и существенным ее повышением во втором полугодии. Существенное повышение ключевой ставки характерно также для второй половины 2024 г. Большие изменения ключевой ставки происходят в 2022 г., сначала в сторону повышения, потом – понижения.

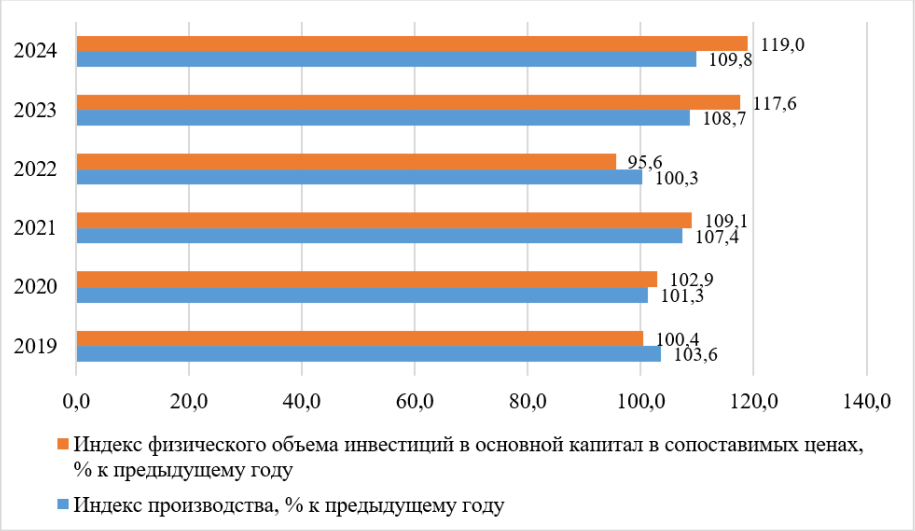
Сопоставим значения показателей, характеризующих состояние и динамику обрабатывающей промышленности (как объекта управления), макроэкономических условий (в которых реализуется государственная промышленная политика) и объемов финансовой поддержки ФРП, предоставляемой промышленным предприятиям (табл. 1).



Источник: составлено авторами на основе данных: ФРП. Бухгалтерская отчетность. Справка о наличии имущества и обязательств на забалансовых счетах. Данные приводятся на конец года. Расчеты авторов.

Рис. 9. Изменение структуры обеспечения исполнения обязательств ФРП по формам обеспечения (деятельность с целевыми средствами), 2024 г. к 2020 г., %

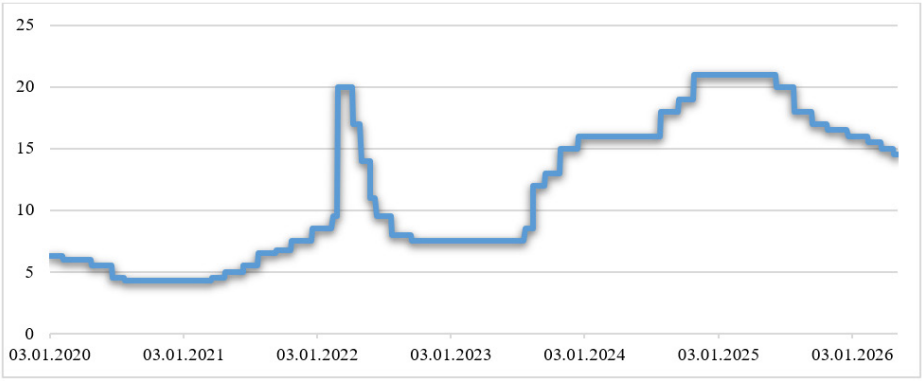
Fig. 9. Change in the structure of security for the fulfillment of obligations of the Industrial Development Fund by forms of security (activities with targeted funds), 2024 to 2020, %



Источник: составлено авторами на основе данных[1].

Рис. 10. Показатели динамики обрабатывающих производств в Российской Федерации

Fig. 10. Indicators of the dynamics of manufacturing industries in the Russian Federation



Источник: составлено на основе данных Банка России (ЦБ РФ)[2].

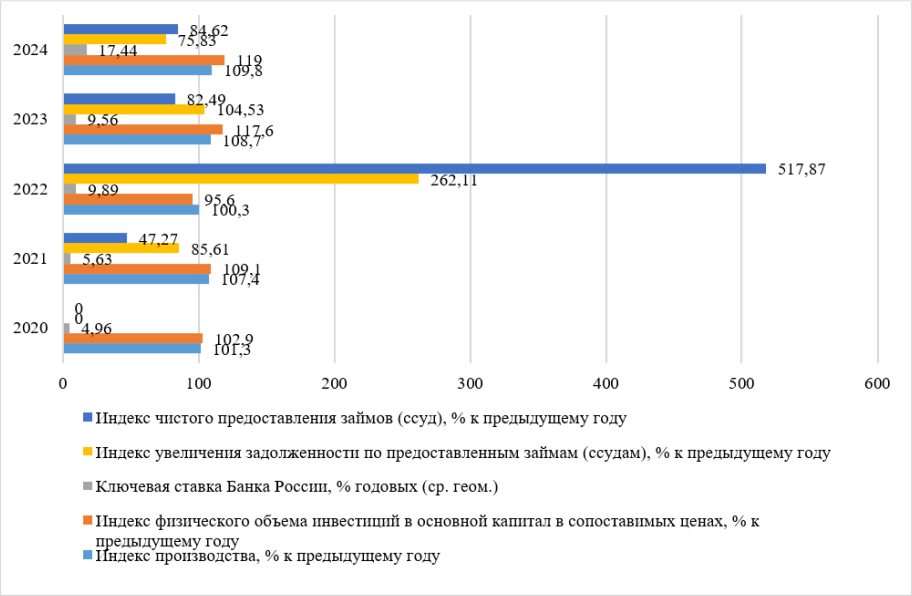
Рис. 11. Динамика ключевой ставки Банка России, % годовых

Fig. 11. Dynamics of the key rate of the Bank of Russia, % per annum

Для 2020 г. характерны низкие темпы роста обрабатывающего производства и инвестиций и низкие значения ключевой ставки ЦБ РФ (средняя геометрическая за год 4,96%). В 2021 г. происходит увеличение индексов производства и инвестиций обрабатывающей промышленности, увеличение ключевой ставки (средняя геометрическая за год 5,63%), и сокращение объемов предоставленных займов ФРП обрабатывающим производствам. 2022 г. характеризуется сокращением объема инвестиций в основной капитал и приростом обрабатывающих производств только на 0,3%, существенным повышением ключевой ставки (средняя геометрическая за год 9,89%) и увеличением в разы объемов предоставленных займов ФРП. Последующие 2023 и 2024 гг. характеризуются сравнительно высокими значениями индексов производства и инвестиций, высокими значениями ключевой ставки (средние геометрические за год 9,56% и

[1] ФСГС (2023, 2024, 2025) *Российский статистический ежегодник*. [online] Available at: https://www.rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994 [Accessed 30.04.2026]. (in Russian)

[2] Ключевая ставка Банка России (2026). *Банк России*. [online] Available at: https://cbr.ru/hd_base/KeyRate/ [Accessed 30.04.2026] (in Russian).



Источник: составлено авторами на основе данных Росстата, ФРП, ЦБ РФ. Расчеты авторов.

Рис. 12. Показатели обрабатывающей промышленности, макроэкономических условий и объемов предоставленных займов (деятельность с целевыми средствами) в оценке отдельных системных взаимосвязей ФРП как подсистемы государственной промышленной политики

Fig. 12. Indicators of the manufacturing industry, macroeconomic conditions and volumes of loans provided (activities with targeted funds) in the assessment of individual systemic interrelations of the Industrial Development Fund as a subsystem of state industrial policy

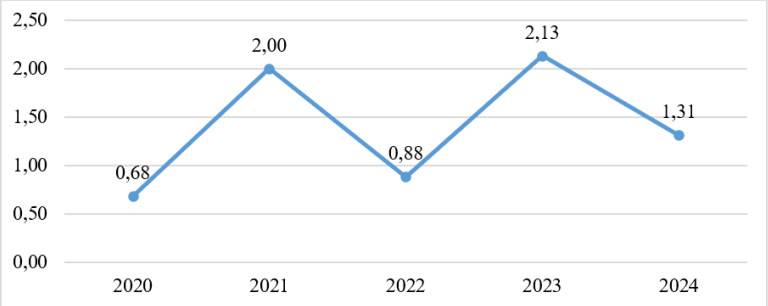
17,44% соответственно) и сокращением чистого предоставления займов ФРП предприятиям промышленности. Задолженность по предоставленным займам в 2023 г. еще незначительно увеличивается на 4,5%, но уже в 2024 г. сокращается почти на четверть от уровня предыдущего года (рис. 12).

Таблица 1. Показатели обрабатывающей промышленности, макроэкономических условий и объемов предоставленных займов (деятельность с целевыми средствами) в оценке отдельных системных взаимосвязей ФРП как подсистемы государственной промышленной политики

Table 1. Indicators of the manufacturing industry, macroeconomic conditions and volumes of loans provided (activities with targeted funds) in the assessment of individual systemic interrelations of the Industrial Development Fund as a subsystem of state industrial policy

Показатели	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Индекс производства, % к предыдущему году	101,3	107,4	100,3	108,7	109,8
Индекс физического объема инвестиций в основной капитал в сопоставимых ценах, % к предыдущему году	102,9	109,1	95,6	117,6	119,0
Ключевая ставка Банка России, % годовых (средняя геометрическая)	4,96	5,63	9,89	9,56	17,44
Индекс увеличения задолженности по предоставленным займам (ссудам), % к предыдущему году	...	85,61	262,11	104,53	75,83
Индекс чистого предоставления займов (ссуд), % к предыдущему году	...	47,27	517,87	82,49	84,62

Источник: составлено авторами на основе данных Росстата, ФРП, ЦБ РФ. Расчеты авторов.



Источник: составлено авторами на основе данных ЦБ РФ. Расчеты авторов.

Рис. 13. Ключевая ставка Банка России, % годовых. Отношение значения на конец года к значению на начало года, разы

Fig. 13. Key rate of the Bank of Russia, % per annum. Ratio of the value at the end of the year to the value at the beginning of the year, index

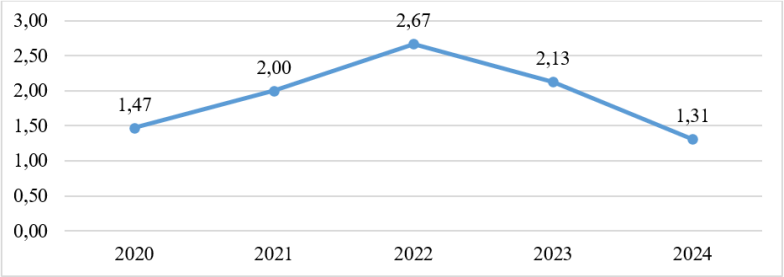
Анализ динамики показателей обрабатывающей промышленности, ключевой ставки и показателей задолженности по предоставленным займам ФРП (деятельность с целевыми средствами) с 2020 по 2024 г. позволяет сделать вывод о том, что в 2021, 2023, 2024 гг., когда темпы прироста производства и инвестиций в основной капитал больше 7%, значение ключевой ставки Банка России на конец года выше ее значения на начало года (рис. 13). И в эти же годы происходит сокращение чистого предоставления займов ФРП промышленным предприятиям (деятельность с целевыми средствами) по сравнению с предыдущим годом. Если увеличение ключевой ставки означает удорожание коммерческого кредита для всех предприятий, не имеющих доступа к инструментам промышленной политики, обеспечивающим льготное финансирование, то сокращение сумм чистого предоставления займов ФРП промышленным предприятиям уменьшает возможности получения таких займов для предприятий, которые могут претендовать на такой инструмент поддержки, по сравнению с предыдущим годом.

Изменчивость ключевой ставки (измеряемая в данном исследовании как отношение максимального значения к минимальному в течение года) самое высокое значение показывает в 2022 г. (рис. 14). На этот же год приходится увеличение в 5 раз чистого предоставления займов по сравнению с предыдущим годом. Изменчивость ключевой ставки ЦБ РФ снижается к концу рассматриваемого периода, но уже при более высоких фактических значениях ключевой ставки и более высоких средних за год значениях (средняя геометрическая).

Таким образом, для оценки системных взаимосвязей ФРП как государственного института развития промышленности, осуществляющего деятельность по реализации государственной промышленной политики, были выделены четыре группы показателей, характеризующих:

1) объемы финансовой поддержки промышленных предприятий через инструменты ФРП;
2) обеспечение обязательств ФРП и взаимосвязи с другими государственными институтами развития;
3) состояние и динамику комплекса обрабатывающей промышленности;
4) влияние на эти взаимодействия внешней среды (макроэкономических условий).

Показано, что за рассматриваемый период (с 2020 по 2024 г.) на 2021, 2023, 2024 гг., в которые происходит значимый прирост производства и инвестиций в основной капитал предприятий обрабатывающей промышленности, приходится увеличение ключевой ставки Банка России, а также сокращение чистого предоставления займов ФРП промышленным предприятиям (деятельность с целевыми средствами). Для 2022 г. характерно самое высокое значение отношения максимального значения ключевой ставки Банка России к минимальному в течение года (отражающего изменчивость ключевой ставки) и увеличение в 5 раз чистого предоставления займов ФРП промышленным предприятиям (деятельность с целевыми средствами)



Источник: составлено авторами на основе данных ЦБ РФ. Расчеты авторов.

Рис. 14. Ключевая ставка Банка России, % годовых. Отношение максимального значения к минимальному в течение года, разы

Fig. 14. Key rate of the Bank of Russia, % per annum. Ratio of the maximum to minimum value during the year, index

по сравнению с предыдущим годом. Изменчивость ключевой ставки ЦБ РФ снижается к концу рассматриваемого периода, но уже при более высоких фактических значениях ключевой ставки и при более высоких средних за год значениях (средняя геометрическая), что означает удорожание коммерческого кредита, в том числе и для промышленных предприятий. Выявленные взаимосвязи отражают взаимодействие механизмов государственной промышленной и денежно-кредитной политики.

Происходят изменения в структуре обеспечения исполнения обязательств ФРП по формам обеспечения: сокращается доля залога и поручительства, увеличивается доля банковской гарантии, которая становится основной формой обеспечения в конце рассматриваемого периода, а также увеличивается доля иного обеспечения. Поскольку к видам основного обеспечения, принимаемого ФРП, кроме независимых гарантий кредитных организаций относятся поручительства и гарантии других государственных институтов развития, то происходящие структурные изменения отражают изменения интенсивности взаимодействия ФРП с другими государственными институтами развития и с кредитными организациями.

Заключение

В рамках данного исследования разрабатываются элементы методического инструментария оценки системных взаимосвязей ФРП как государственного института развития промышленности, осуществляющего деятельность по реализации государственной промышленной политики. Отличительной особенностью разрабатываемого инструментария является учет характера взаимодействий ФРП с органами государственного управления, с другими государственными институтами развития, с промышленными предприятиями, а также влияния на эти взаимодействия внешней среды, в том числе макроэкономических условий, состояния и динамики промышленного комплекса.

Для оценки системных взаимосвязей ФРП как государственного института развития промышленности, осуществляющего деятельность по реализации государственной промышленной политики, были предложены четыре группы показателей, характеризующих: 1) объемы финансовой поддержки промышленных предприятий через инструменты ФРП развития промышленности; 2) обеспечение обязательств ФРП и взаимосвязи с другими государственными институтами развития; 3) состояние и динамику комплекса обрабатывающей промышленности; 4) влияние на эти взаимодействия внешней среды, макроэкономических условий (показателей, характеризующих динамику ключевой ставки Банка России).

Расчеты и анализ были проведены на основе данных официального сайта ФРП, Росстата, Банка России, годовой бухгалтерской (финансовой) отчетности государственного (муниципального) учреждения «Фонд развития промышленности».

Показано, что за рассматриваемый период (с 2020 по 2024 г.) на 2021, 2023, 2024 гг., в которые происходит значимый прирост производства и инвестиций в основной капитал предприятий обрабатывающей промышленности, приходится увеличение ключевой ставки Банка России, а также сокращение чистого предоставления займов ФРП промышленным предприятиям (деятельность с целевыми средствами). Выявленные взаимосвязи отражают взаимодействие механизмов государственной промышленной и денежно-кредитной политики.

Происходят также изменения в структуре обеспечения исполнения обязательств ФРП по формам обеспечения: сокращается доля залога и поручительства, увеличивается доля банковской гарантии, которая становится основной формой обеспечения в конце рассматриваемого периода, а также увеличивается доля иного обеспечения. Выявленные структурные изменения отражают изменения интенсивности взаимодействия ФРП с другими государственными институтами развития и с кредитными организациями.

Направления дальнейших исследований

В рамках разрабатываемого методического инструментария оценки системных взаимосвязей ФРП как государственного института развития можно выделить разработку методических инструментов:

1) оценки взаимодействий ФРП с другими государственными институтами развития;

2) оценки общественной и бюджетной эффективности инвестиционных проектов промышленных предприятий, поддержанных ФРП;

3) оценки экономических эффектов взаимодействия ФРП с промышленными предприятиями, и др.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Михайлова А.А. (2025) Изменение государственных подходов к технологическому развитию: результаты межстрановой оценки стратегий безопасности. *Экономика региона*, 21 (4), 977–998. DOI: 10.17059/ekon.reg.2025-4-5

2. Аршинова А.И. (2025) Стратегирование развития образования в регионах России в контексте управления экономическим ростом, цифровизацией и укрепления технологического суверенитета промышленности. *Экономика промышленности*, 18 (1), 24–34. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-1-1431

3. Правдина Н.В., Данилова И.В., Карпушкина А.В. (2025) Специализации индустриальных регионов в условиях формирования промышленного суверенитета РФ. *Экономика региона*, 21 (4), 945–962. DOI: 10.17059/ekon.reg.2025-4-3

4. Бабкин А.В., Ташкинов А.Г. (2025) Комбинированный подход к управлению проектами цифровой трансформации промышленных предприятий в контексте Индустрии 4.0. *Экономика промышленности*, 18 (4), 472–485. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-4-1553

5. Сборщиков С.Б., Мазур К.Е., Агеев М.А. (2025) Влияние цифровизации на реализацию интеграционных процессов промышленных компаний. *Экономика промышленности*, 18 (2), 265–274. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-2-1437

6. Митяков Е.С., Митяков С.Н. (2026) Методический подход к анализу эффективности отраслевых промышленных экосистем. *Экономика региона*, 22 (1), 145–159. DOI: 10.17059/ekon.reg.2026-1-11

7. Журавлев Д.М., Чаадаев В.К., Михеев Е.Б. (2025) Факторы роста производительности труда промышленного сектора в условиях структурной перестройки экономики. *Экономика промышленности*, 18 (1), 49–62. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-1-1425

8. Квинт В.Л., Власюк Л.И., Новикова И.В., Чхотуа И.З. (2025) Оценка человеческого потенциала в стратегировании промышленных регионов России. *Экономика промышленности*, 18 (4), 459–471. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-4-1564

9. Новикова И.В. (2025) Стратегические особенности формирования кадрового потенциала промышленности в научно-технологическом развитии России. *Экономика промышленности*, 18 (3), 325–332. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-3-1516

10. Голикова В.В., Муковнин С.К., Казун А.П., Ершова Н.В. (2025) Дефицит квалифицированных рабочих в обрабатывающей промышленности: следствие неэффективности фирм или препятствие для роста эффективных? *Вопросы экономики*, 2, 39–65. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-2-39-65

11. Панкратов А.А., Мусаев Р.А., Бадина С.В. (2025) Электронная промышленность Российской Федерации: тенденции, проблемы и стратегирование развития. *Экономика промышленности*, 18 (2), 226–240. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-2-1470

12. Подшивалова М.В., Вайсман Е.Д., Подшивалов Д.В. (2025) Демография организаций в промышленности России в контексте специфики малого бизнеса: свет в конце туннеля? *Вопросы экономики*, 2, 19–38. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-2-19-38

13. Белицкая А.В., Горяшин Д.В., Яковлев А.А. (2025) Переосмысление промышленной политики в контексте общественного договора через призму экономической теории. *Экономика промышленности*, 18 (3), 358–366. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-3-1487

14. Шэн Ф., Чжу Л., Чжу Ш. (2026) Глобальное возрождение промышленной политики: анализ данных GTA-NIPO за 2023 год. *Экономика региона*, 22 (1), 59–72. DOI: 10.17059/ekon.reg.2026-1-5

15. Симачев Ю.В., Федюнина А.А. (2025) Приоритеты и инструменты современной промышленной политики: субсидии для сложной экономики. *Вопросы экономики*, 8, 5–25. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-8-5-25

16. Симачев Ю.В., Кузык М.Г. (2020) Государственная поддержка предприятий: бенефициары и эффекты. *Вопросы экономики*, 3, 63–83. DOI: 10.32609/0042-8736-2020-3-63-83

17. Палаш С.В., Плюснина О.В. (2023) Анализ текущего состояния денежно-кредитной подсистемы государственной поддержки промышленности в Российской Федерации. *Экономика и предпринимательство*, 12 (161), 1468–1475. DOI: 10.34925/EIP.2023.161.12.285

18. Финагин М.И., Иногамова В.Т., Грачева А.А. (2025) Индексы жесткости денежно-кредитных условий для России. *Вопросы экономики*, 9, 62–87. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-9-62-87

19. Дробышевский С.М., Перевышин Ю.Н., Синельников-Мурылев С.Г., Трунин П.В. (2025) Причины повышенной инфляции в российской экономике. *Вопросы экономики*, 1, 5–31. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-1-5-31

20. Ленчук Е.Б. (2015) Финансовые институты развития в решении задач технологической модернизации и инновационного развития. *Федерализм*, 4 (80), 7–24. DOI: 10.21686/2073-1051-2015-4-7-24

21. Чистякова О.В., Бабкин А.В. (2019) Институты развития бизнеса как инструмент государственной поддержки малого и среднего инновационного предпринимательства. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*, 12 (6), 128–138. DOI: 10.18721/JE.12611

22. Сидорова Е.Н., Татаркин Д.А. (2016) Институты развития как инструмент реализации государственной инвестиционной политики: анализ современного состояния, оценка результативности. *Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление*, 15 (4), 506–528. DOI: 10.15826/vestnik.2016.15.4.026

23. Татаркин А.И., Котлярова С.Н. (2013) Региональные институты развития как факторы экономического роста. *Экономика региона*, 3, 9–18. DOI: 10.17059/2013-3-1

24. Иванов О.Б., Бухвальд Е.М. (2018) Региональные институты развития в системе стратегического планирования. *ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика*, 1, 61–77. DOI: 10.24411/2071-6435-2019-10004

25. Мельников Р.М. (2012) Результативность и эффективность российских финансовых институтов развития: подходы к оценке и пути повышения. *Финансы и кредит*, 21 (501), 2–10.

26. Палаш С.В. (2019) Оценка эффективности деятельности Фонда развития промышленности по реализации структурной промышленной политики. *Экономика и предпринимательство*, 6 (107), 266–274.

27. Клейнер Г.Б. (2013) Системная экономика как платформа развития современной экономической теории. *Вопросы экономики*, 6, 4–28. DOI: 10.32609/0042-8736-2013-6-4-28

28. Клейнер Г.Б. (2023) Системная методология Александра Богданова в контексте современного экономического мировоззрения. *Вопросы экономики*, 3, 24–39. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-3-24-39

29. Клейнер Г.Б. (2024) Системная парадигма и теория технологий. *Terra Economicus*, 22 (4), 6–18. DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-4-6-18

30. Гумеров М.Ф. (2026) Системное моделирование в экономике: эволюция подходов и перспективы развития. *π-Economy*, 19 (1), 203–216. DOI: 10.18721/JE.19110

31. Палаш С.В., Палаш М.С. (2025) Государственные институты развития промышленности в системе государственной промышленной политики. *Финансовые рынки и банки*, 12, 726–729.

REFERENCES

1. Mikhaylova A.A. (2025) Changing Government Approaches to Technological Development: Results of a Cross-Country Assessment of Security Strategies. *Economy of regions*, 21 (4), 977–998. DOI: 10.17059/ekon.reg.2025-4-5

2. Arshinova A.I. (2025) Strategizing the development of education in the regions of Russia in the context of managing economic growth, digitalization and strengthening the technological sovereignty of industry. *Russian Journal of Industrial Economics*, 18 (1), 24–34. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-1-1431

3. Pravdina N.V., Danilova I.V., Karpushkina A.V. (2025) Regional Industrial Specialization as a Driver of Russia's Industrial Sovereignty. *Economy of regions*, 21 (4), 945–962. DOI: 10.17059/ekon.reg.2025-4-3

4. Babkin A.V., Tashkinov A.G. (2025) A combined approach to project management of digital transformation of industrial enterprises in the context of Industry 4.0. *Russian Journal of Industrial Economics*, 18 (4), 472–485. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-4-1553

5. Sborshchikov S.B., Mazur K.E., Ageev M.A. (2025) Impact of digitalization on the execution of integration processes in industrial companies. *Russian Journal of Industrial Economics*, 18 (2), 265–274. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-2-1437

6. Mityakov E.S., Mityakov S.N. (2026) Methodical Approach to Efficiency Analysis of Sectoral Industrial Ecosystems. *Economy of regions*, 22 (1), 145–159. DOI: 10.17059/ekon.reg.2026-1-11

7. Zhuravlev D.M., Chaadaev V.K., Mikheev E.B. (2025) Factors of labour productivity growth of the industrial sector in the context of the economic restructuring. *Russian Journal of Industrial Economics*, 18 (1), 49–62. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-1-1425

8. Kvint V.L., Vlasyuk L.I., Novikova I.V., Chkhotua I.Z. (2025) Assessment of human potential in the strategizing of industrial regions of Russia. *Russian Journal of Industrial Economics*, 18 (4), 459–471. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-4-1564

9. Novikova I.V. (2025) Strategic features of formation of human resources potential of industry in scientific and technological development of Russia. *Russian Journal of Industrial Economics*, 18 (3), 325–332. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-3-1516

10. Golikova V.V., Mukovnin S.K., Kazun A.P., Ershova N.V. (2025) Shortage of skilled workforce in manufacturing: A consequence of firms ineffectiveness or an obstacle for the growth of effective firms? *Voprosy Ekonomiki*, 2, 39–65. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-2-39-65

11. Pankratov A.A., Musaev R.A., Badina S.V. (2025) Electronic industry of the Russian Federation: trends, problems and strategizing its development. *Russian Journal of Industrial Economics*, 18 (2), 226–240. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-2-1470

12. Podshivalova M.V., Vaisman E.D., Podshivalov D.V. (2025) Firm demography in Russian industry in the context of small business specifics: Is there a silver lining? *Voprosy Ekonomiki*, 2, 19–38. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-2-19-38

13. Belitskaya A.V., Goryashin D.V., Yakovlev A.A. (2025) Rethinking industrial policy in the context of the social contract through the lens of economic theory. *Russian Journal of Industrial Economics*, 18 (3), 358–366. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-3-1487

14. Sheng F., Zhu L., Zhu S. (2026) Global Resurgence of Industrial Policy: Evidence from 2023 GTA-NIPO Data. *Economy of regions*, 22 (1), 59–72. DOI: 10.17059/ekon.reg.2026-1-5

15. Simachev Yu.V., Fedyunina A.A. (2025) Priorities and instruments of modern industrial policy: Subsidies for economic complexity. *Voprosy Ekonomiki*, 8, 5–25. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-8-5-25

16. Simachev Yu.V., Kuzyk M.G. (2020) State support of enterprises in Russia: Beneficiaries and effects. *Voprosy Ekonomiki*, 3, 63–83. DOI: 10.32609/0042-8736-2020-3-63-83

17. Palash S.V., Plyusnina O.V. (2023) Analysis of the current state of the monetary subsystem of state support for industry in the Russian Federation. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [*Economics and Entrepreneurship*], 12 (161), 1468–1475. DOI: 10.34925/EIP.2023.161.12.285

18. Finagin M.I., Inogamova V.T., Gracheva A.A. (2025) Monetary conditions tightness indices for Russia. *Voprosy Ekonomiki*, 9, 62–87. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-9-62-87

19. Drobyshevsky S.M., Perevyshin Yu.N., Sinelnikov-Murylev S.G., Trunin P.V. (2025) Reasons for accelerating inflation in the Russian economy. *Voprosy Ekonomiki*, 1, 5–31. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-1-5-31

20. Lenchuk E.B. (2015) Financial institutions of development in the solution of the tasks of technological modernization and innovative development. *Federalism*, 4 (80), 7–24. DOI: 10.21686/2073-1051-2015-4-7-24

21. Chistyakova O.V., Babkin A.V. (2019) Business development institutes as tool of state support of small and medium-sized innovative entrepreneurship. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 12 (6), 128–138. DOI: 10.18721/JE.12611

22. Sidorova E.N., Tatarkin D.A. (2016) The Role of the Development Institutions in the Public Investment Policy: Analysis of the Current State and Assessment of Performance. *Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management*, 15 (4), 506–528. DOI: 10.15826/vestnik.2016.15.4.026

23. Tatarkin A.I., Kotlyarova S.N. (2013) Regional development institutions as an economic growth factors. *Ekonomika regiona* [*Regional economy*], 3, 9–18. DOI: 10.17059/2013-3-1

24. Ivanov O.B., Bukhvald E.M. (2018) Regional'nye instituty razvitiia v sisteme strategicheskogo planirovaniia [Regional development institutions in the strategic planning system]. *ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice*, 1, 61–77. DOI: 10.24411/2071-6435-2019-10004

25. Mel'nikov R.M. (2012) Rezul'tativnost' i effektivnost' rossiiskikh finansovykh institutov razvitiia: podkhody k otsenke i puti povysheniia [The effectiveness and efficiency of Russian development finance institutions: approaches to assessment and ways to improve]. *Finansy i kredit* [*Finance and credit*], 21 (501), 2–10.

26. Palash S.V. (2019) Evaluation of the effectiveness of the industrial development fund in the implementation of structural industrial policy. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [*Economics and Entrepreneurship*], 6 (107), 266–274.

27. Kleiner G. (2013) System Economics as a Platformfor development of modern Economic Theory. *Voprosy Ekonomiki*, 6, 4–28. DOI: 10.32609/0042-8736-2013-6-4-28

28. Kleiner G.B. (2023) Alexander Bogdanov's system methodology from the perspective of the modern economic worldview. *Voprosy Ekonomiki*, 3, 24–39. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-3-24-39

29. Kleiner G.B. (2024) The systems paradigm and the theory of technology. *Terra Economicus*, 22 (4), 6–18. DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-4-6-18

30. Gumerov M.F. (2026) System modeling in economics: evolution of approaches and development prospects. *π-Economy*, 19 (1), 203–216. DOI: 10.18721/JE.19110

31. Palash S.V., Palash M.S. (2025) State industrial development institutions in the system of state industrial policy. *Finansovye rynki i banki* [*Financial markets and banks*], 12, 726–729.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ПАЛАШ Светлана Витальевна
E-mail: svpalash@yandex.ru
Svetlana V. PALASH
E-mail: svpalash@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7308-1935

ПАЛАШ Марина Сергеевна
E-mail: palash1997@mail.ru
Marina S. PALASH
E-mail: palash1997@mail.ru

Поступила: 12.05.2026; Одобрена: 16.07.2026; Принята: 17.07.2026.
Submitted: 12.05.2026; Approved: 16.07.2026; Accepted: 17.07.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 84–101.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 84–101.

Научная статья
УДК 332.14+338.48+004.8
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19405
EDN: https://elibrary/QPZJSY

КРЕАТИВНЫЙ СЕКТОР КАК ИСТОЧНИК МАЛЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭФФЕКТОВ: МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДЛЯ РЕСУРСНОГО МАКРОРЕГИОНА

А.В. Михайлова ✉

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Якутск, Российская Федерация

✉ mikanya23@mail.ru

Аннотация. Креативные индустрии все активнее включаются в процессы регионального предпринимательского и пространственного развития, постепенно выходя за рамки собственно культурной сферы. Их влияние проявляется не только в создании культурных продуктов и в формировании новых видов занятости, но и в развитии малого и среднего предпринимательства, туризма, цифровых сервисов и локальных рынков. В связи с этим возрастает потребность в методическом подходе, который позволяет оценивать как масштабы креативного сектора, так и формируемые им дополнительные социально-экономические эффекты в удаленных регионах с преобладающей ресурсной специализацией. Цель статьи заключается в обосновании и апробации методического подхода к оценке потенциала креативного сектора и связанных с ним предпринимательских и туристических эффектов с учетом цифровых, социально-трудовых и институциональных условий. Информационно-эмпирическую базу работы образует сбалансированная панель наблюдений по 11 субъектам Дальневосточного федерального округа, охватывающая период 2019–2025 гг. В качестве объекта исследования выступает креативный сектор Дальнего Востока, трактуемый как элемент системы пространственного развития макрорегиона. За базу при расчете индексов принят 2019 г. – последний полный год до начала пандемии COVID-19; такой выбор обеспечивает сопоставимость временных рядов и позволяет адекватно учесть сдвиги, произошедшие в региональной экономике в 2020–2025 гг. Источниками данных послужили материалы официальной статистики и Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства. Методологически исследование опирается на схему «ресурс – канал – эффект», предполагающую поэтапный анализ исходных ресурсов креативного сектора, механизмов их экономической реализации и формируемых социально-экономических результатов. Применяемый инструментарий включает нормирование показателей, распределенных по пяти блокам – ресурсному, цифровому, рыночному, социально-трудовому и институциональному, – а также набор эконометрических процедур. Основными этапами работы стали подготовка и нормирование исходного массива данных, конструирование интегрального индекса потенциала креативного сектора, оценивание панельных моделей с фиксированными эффектами и тестирование устойчивости полученных оценок. Отличие предлагаемого подхода от традиционных, ориентированных главным образом на измерение прямого вклада креативных индустрий в валовой региональный продукт (ВРП), состоит в акценте на сопутствующих эффектах их развития. Проведенные расчеты подтверждают наличие статистически устойчивой положительной связи доли валовой добавленной стоимости креативной экономики в ВРП с показателями развития малого и среднего предпринимательства и с величиной туристического потока. Разработанный интегральный индекс позволяет детализировать картину межрегиональных различий в развитии креативного сектора. Полученный методический аппарат может быть востребован органами государственной власти при обосновании мер поддержки креативных индустрий, при расстановке региональных приоритетов, а также в рамках мониторинга и оценки эффективности программ развития креативного сектора в российских регионах.

© Михайлова А.В., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Ключевые слова: креативный сектор, малые пространственные эффекты, Дальний Восток, панельные данные, интегральный показатель потенциала креативного сектора, региональная политика

Благодарности: Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы Финансово-экономического института ФГАОУ ВО «СВФУ имени М.К. Аммосова» (регистрационный номер НИОКТР: АААА-А21-121010890095-8).

Для цитирования: Михайлова А.В. (2026) Креативный сектор как источник малых пространственных эффектов: методический подход к оценке для ресурсного макрорегиона. π-Economy, 19 (4), 84–101. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19405

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19405

CREATIVE SECTOR AS A SOURCE OF SMALL SPATIAL EFFECTS: A METHODOLOGICAL APPROACH FOR A RESOURCE-BASED MACROREGION

A.V. Mikhailova ✉

North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

✉ mikanya23@mail.ru

Abstract. Creative industries are increasingly becoming involved in regional entrepreneurial and spatial development, gradually moving beyond the cultural sphere. Their influence is reflected not only in the creation of cultural products and new forms of employment, but also in the development of small and medium-sized enterprises, tourism, digital services, and local markets. This increases the need for a methodological approach that can assess both the scale of the creative sector and the additional socio-economic effects it generates in remote regions with a predominantly resource-based specialization. The aim of the article is to substantiate and test a methodological approach to assessing the potential of the creative sector and its associated entrepreneurial and tourism effects, taking into account digital, social and labor, and institutional conditions. The empirical base is a balanced panel of 11 regions of the Far Eastern Federal District covering 2019–2025. The research object is the creative sector of the Far Eastern regions, interpreted as an element of the macroregion's spatial development system. The year 2019, the last pre-pandemic year, is used as the base year for index calculations; this ensures the comparability of time series and makes it possible to account for the changes that occurred in regional economies in 2020–2025. The data are drawn from official statistics and the Unified Register of Small and Medium-Sized Enterprises. Methodologically, the study is based on a "resource – channel – effect" framework involving a step-by-step analysis of the creative sector's initial resources, the mechanisms of their economic realization and the resulting socio-economic outcomes. The toolkit includes the normalization of indicators grouped into five blocks – resource, digital, market, social and labor, and institutional – as well as a set of econometric procedures. The main stages are the preparation and normalization of the initial dataset, construction of an integral creative-sector potential index, estimation of panel models with fixed effects and robustness testing. The proposed approach differs from conventional methods focused mainly on the direct contribution of creative industries to gross regional product (GRP) by emphasizing the accompanying effects of their development. The calculations indicate a statistically robust positive association between the share of creative-economy gross value added in GRP and indicators of small and medium-sized enterprise development and tourist flows. The integral index provides a more detailed picture of interregional differences in creative-sector development. The proposed methodological framework can support public authorities in designing measures for creative-industry development, setting regional priorities, and monitoring and evaluating regional creative-sector programs.

Keywords: creative sector, small spatial effects, Russian Far East, panel data, creative-sector potential index, regional policy

© Mikhailova A.V., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Acknowledgements: The article was prepared within the research work of the Finance and Economic Institute of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University (R&D registration No. AAAA-A21-121010890095-8).

Citation: Mikhailova A.V. (2026) Creative sector as a source of small spatial effects: a methodological approach for a resource-based microregion. π-Economy, 19 (4), 84–101. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19405

Введение

Переход креативного сектора из культурной повестки в сферу долгосрочного пространственного и предпринимательского развития делает актуальной задачу измерения его экономического результата именно на региональном уровне. В июне 2026 г. на рассмотрение правительства был вынесен проект Стратегии развития креативной экономики (КЭ) в Российской Федерации до 2036 г., который связывает креативные индустрии с ростом их вклада в ВВП, с расширением экспорта творческих товаров и услуг и с увеличением числа организаций и индивидуальных предпринимателей[1].

Нормативно-стратегическую основу исследования формируют Федеральный закон от 8 августа 2024 г. № 330-ФЗ «О развитии креативных (творческих) индустрий в Российской Федерации» и проект Стратегии развития креативной экономики в Российской Федерации до 2036 г. Эти документы закрепляют понятийную рамку креативных индустрий, ориентиры государственной поддержки и необходимость регионального мониторинга, что обосновывает включение институционального блока в предлагаемую методическую схему.

Для Дальневосточного федерального округа (ДФО) Российской Федерации данная повестка приобретает практическое значение: развитие креативных индустрий в макрорегионе уже переходит от точечных инициатив к формированию системной инфраструктуры – действует креативный кластер в Республике Саха (Якутии), открывается площадка в Улан-Удэ, готовятся к запуску центры в Благовещенске, Владивостоке и Петропавловске-Камчатском; при этом в России функционируют свыше 90 школ креативных индустрий, значительная часть которых расположена в субъектах ДФО, а целевой ориентир макрорегиона предполагает увеличение доли креативного сектора в экономике Дальнего Востока до 6% к 2030 г.[2]

В ресурсных и удаленных макрорегионах, к числу которых относится ДФО, федеральные ориентиры нуждаются в территориальной адаптации. Емкость локальных рынков маленькая. Плотность населения низкая. Стоимость логистики и связанности ресурсов очень высока. Соответственно, креативный сектор не будет иметь высокую долю в валовом региональном продукте (ВРП) и, более того, не может рассматриваться как альтернатива добывающей, энергетической и транспортно-логистической специализациям. Федеральная повестка и опыт отдельных субъектов Российской Федерации свидетельствуют о том, что при последовательном региональном управлении развитие креативных индустрий способно обеспечивать заметные экономические и социальные результаты. Вместе с тем в настоящее время недостаточно разработан методический инструментарий, позволяющий оценивать не только прямые результаты функционирования креативного сектора, но и формируемые им локальные пространственные эффекты в условиях удаленных макрорегионов с преобладающей ресурсной специализацией.

Многие регионы располагают значительным культурным, историческим и этнокультурным потенциалом, однако само по себе наличие таких ресурсов не обеспечивает их экономической реализации. Исходное положение статьи состоит в том, что в ресурсном и территориально удаленном макрорегионе культурный ресурс приобретает экономическое значение только при наличии механизмов его включения в систему регионального развития. К подобным механизмам

[1] Петрова В. (2026) *Креативу подобрали стратегию: Минэкономики подготовило концепцию развития творческих индустрий*. [online] Available at: https://www.kommersant.ru/doc/8534072 [Accessed 30.06.2026]. (in Russian)

[2] ДВИУ РАНХиГС (2026) *От контента к капиталу: как креативная экономика меняет Дальний Восток*. [online] Available at: https://dviu.ranepa.ru/news/ot-kontenta-k-kapitalu-kak-kreativnaya-ekonomika-menyaet-dalniy-vostok/ [Accessed 30.06.2026]. (in Russian)

относятся цифровизация представления и продвижения креативного продукта, формирование спроса со стороны туристической и сервисной сфер, стимулирование местного предпринимательства, а также институциональное согласование действий органов власти, бизнеса и организаций креативного сектора.

С учетом этого в исследовании используется методическая схема «ресурс – канал – эффект», которая дает возможность последовательно проследить движение от накопленного потенциала через каналы его экономической реализации к дополнительным результатам в области предпринимательства, туризма, занятости и цифрового развития. Применение данной схемы нацелено на выявление приростных эффектов, возникающих при вовлечении креативных ресурсов в региональный экономический оборот. Подобная постановка задачи носит более узкий характер по сравнению с концепциями, в которых КЭ трактуется как самостоятельный драйвер роста крупных городских агломераций, и в большей мере отвечает специфике удаленных ресурсных территорий.

Литературный обзор

Обзор литературы построен с учетом того, насколько существующие подходы применимы к условиям ДФО и какие из них требуют уточнения. Границы сектора заданы в докладах конференции ООН по торговле и развитию (United Nations Conference on Trade and Development, UNCTAD), где КЭ охватывает виды деятельности, связанные с производством, распространением и коммерциализацией интеллектуального продукта[3]. Это определение позволяет рассматривать креативный сектор как часть экономической системы, не ограничивая его культурной сферой. Вместе с тем доклады UNCTAD дают общую рамку измерения и не рассматривают отдельно малые пространственные эффекты в ресурсных и удаленных макрорегионах.

Теоретическую основу исследования составили работы Р. Флориды, Ч. Лэндри, Дж. Хоукинса и Э. Пратта [1–4]. В них показана роль творческого класса и человеческого капитала, обосновано значение качества городской среды, раскрыты механизм создания стоимости на основе идей, а также связь культурных индустрий с занятостью и городскими рынками. В настоящей статье эти идеи используются для анализа экономических связей, формируемых креативным сектором. Ограничение классических концепций связано с их преимущественной ориентацией на городскую среду. Они хорошо объясняют развитие крупных агломераций, но в меньшей степени учитывают низкую плотность населения, дисперсное расселение и высокую стоимость пространственной связности.

В более поздних исследованиях внимание постепенно смещается от крупных городов и агломераций к сельским, периферийным и проектно-организованным территориям. Ф. Вигано, Л. Инглэнд и Р. Комуниан рассматривают этот процесс как переход от традиционной кластерной модели к креативным экосистемам, формирующимся на пересечении ремесленного производства, дизайна и традиционных отраслей экономики [5]. Н. Даксбери, В. Дуррер и Р. Ситас раскрывают роль культурной политики в обеспечении устойчивого территориального развития [6]. Т. Ма, Ю. Ван, Л. Чжан, У. Хун, С. Ян анализируют значение креативных активов, человеческого потенциала и особенностей места для локального развития территорий, находящихся вне крупных экономических центров [7]. Р. Фреитас, Э. Давель и Ж. Берюбе, в свою очередь, рассматривают проектную организацию культурной деятельности как самостоятельную форму креативной практики [8].

Объединяющим основанием этих работ является внимание не столько к количественным масштабам креативного сектора, сколько к характеру связей между имеющимися ресурсами,

[3] UNCTAD (2008) *Creative Economy Report 2008: The Challenge of Assessing the Creative Economy towards Informed Policymaking*. [online] Available at: https://unctad.org/publication/creative-economy-report-2008-challenge-assessing-creative-economy-towards-informed [Accessed 15.07.2026]; UNCTAD (2010) Creative Economy Report 2010: *Creative Economy – A Feasible Development Option*. [online] Available at: https://unctad.org/publication/creative-economy-report-2010 [Accessed 15.07.2026]

реализуемыми проектами, локальными сообществами и рынками. Именно через такие связи культурный и творческий потенциал территории получает возможность перехода в экономически значимые результаты.

Отдельное направление исследований связано с внешними эффектами КЭ и с ролью цифровых каналов в их формировании. Д. Гойя показывает, что результаты деятельности креативных индустрий во многом зависят от характера локальной концентрации, отраслевой специализации и интенсивности межотраслевых взаимодействий [9]. Х. Гао отмечает, что развитие цифровой экономики расширяет возможности коммерциализации креативных продуктов, их продвижения и масштабирования деятельности цифровых предприятий [10].

Для субъектов ДФО цифровые витрины, платформенные решения, дистанционные продажи и онлайн-продвижение имеют особое значение. Они позволяют частично преодолевать ограничения, связанные с территориальной удаленностью, низкой плотностью населения и ограниченным доступом к крупным рынкам сбыта. Вместе с тем в научной литературе цифровой канал чаще рассматривается как фактор повышения эффективности отдельных предприятий или платформ. Его роль как элемента комплексной региональной оценки локальных пространственных эффектов остается изученной в меньшей степени.

Исследования в области туризма позволяют выделить еще один канал, посредством которого культурный ресурс приобретает экономическую форму. Дж.С. Чен показывает, что на северных территориях туристический результат определяется не только наличием природных и культурных ресурсов, но и качеством взаимодействия между участниками туристического рынка, органами власти и местными сообществами [11]. Дж.С. Чен и Ю.-Л. Чен обращают внимание на сервисные разрывы, характерные для удаленных туристических дестинаций, включая ограниченность инфраструктуры, неравномерное качество услуг и недостаточную согласованность действий участников [12].

С. Фокс и Х. Хантингтон связывают инновации и практические действия с обменом локальными знаниями [13], а Н. Ислам и Ш. Садхукан рассматривают креативный туризм в связи с креативными индустриями и событийной активностью [14]. В рамках данной статьи туризм трактуется как рыночный канал коммерциализации культурного ресурса через события, маршруты, локальные бренды и спрос на сервисные услуги, а не как обособленная отрасль.

Еще одно направление современной литературы охватывает воздействие искусственного интеллекта (ИИ) и генеративных технологий на креативные индустрии. Н. Анантрасиричай и Д. Булл анализируют ИИ как инструмент, меняющий создание, обработку и распространение креативного контента [15]. З. Эпштейн и А. Херцман исследуют то, как генеративный ИИ изменяет границы авторства, экспертизы и ценности креативного продукта [16]. В настоящем исследовании эти работы привлекаются не для отдельного анализа ИИ, а для обоснования роли цифровой упаковки и технологических инструментов в продвижении креативного продукта за пределы локального рынка.

Российские исследования развивают указанные подходы применительно к региональным, сельским, северным и арктическим территориям. О.Е. Акимова, С.К. Волков и А.Б. Симонов предлагают методику оценки влияния креативных центров на качество жизни населения сельских территорий [17], что важно для понимания социального эффекта креативной инфраструктуры. И.С. Антонова и Е.А. Малеева рассматривают эффект перетока креативных индустрий [18], тем самым расширяя представление о воздействии сектора за пределы его прямого выпуска. А.В. Михайлова, А.В. Федорова, Н.Н. Петрова и Н.И. Петрова анализируют потенциал креативных индустрий в Арктике [19], А.В. Михайлова и Н.С. Шкурко раскрывают роль креативных пространств и креативного туризма в формировании креатосферы [20], а А.В. Михайлова и Л.Н. Попова рассматривают креатосферу применительно к арктическим регионам России [21]. Эти работы важны для настоящей статьи тем, что показывают применимость категории

креативного сектора к северным и удаленным территориям, однако в них в меньшей степени разработан панельный инструментарий оценки предпринимательских и туристических эффектов на уровне всех субъектов макрорегиона.

Близкий к проблематике статьи круг работ объединяет темы туризма, территориальной привлекательности и региональной политики. Г.А. Карпова и Е.О. Валеева трактуют туризм как конкурентное преимущество территории [22]. Г.А. Карпова, А.В. Кучумов, О.О. Сиренко и П.Ю. Еремичева изучают цифровое предпринимательство в туризме [23], а Г.А. Карпова и А.В. Ходанова – влияние культурно-событийных мероприятий на аттрактивный потенциал дестинации [24]. Их выводы позволяют включить туристический и событийный каналы в методическую схему оценки малых пространственных эффектов. При применении этой концепции к Дальнему Востоку следует принимать во внимание, что туристический результат определяется не только привлекательностью территории, но и транспортной доступностью, сезонностью, качеством цифрового продвижения и уровнем развития сервисной инфраструктуры.

Пространственная и институциональная специфика макрорегиона получает дополнительное освещение в исследованиях, выполненных на арктическом материале. В.Ф. Богачев и А.С. Микуленок рассматривают вопросы межрегиональной интеграции арктических территорий [25], А.Н. Пилясов – принципы определения состава арктических территорий для целей государственной поддержки [26], А.Д. Волков и соавторы – методику оценки эффективности особой экономической зоны Российской Арктики [27]. Из указанных работ следует, что результативность региональной политики в значительной степени обусловлена территориальной адресностью применяемых мер, характером институционального режима и степенью межрегиональной связности. Этот вывод принципиально важен для анализа Дальнего Востока: эффекты креативного сектора заведомо различаются в крупных сервисных центрах, в ресурсных и островных регионах, на приграничных территориях и в малых северных субъектах.

Методологическую часть обзора образуют работы, посвященные моделям, индикаторам и процедурам оценки креативных индустрий. В их числе – исследование А.А. Королевой о маркетинговом потенциале креативных индустрий городской среды [28], систематизация методологических подходов И.Н. Сокорнова [29], анализ моделей развития креативных индустрий Р.З. Хестанова [30], а также аналитический материал С.В. Бредихина и соавторов, соотносящий теоретические подходы с измеряемыми индикаторами [31]. Публикации обосновывают переход от описательного анализа к системе показателей, однако не предлагают завершенного решения, которое в панельной оценке субъектов ДФО объединяло бы ресурсный, цифровой, рыночный, социально-трудовой и институциональный блоки.

Обзор показывает, что в литературе уже сформированы основные теоретические предпосылки исследования. КЭ рассматривается как система производства и коммерциализации интеллектуального продукта. Для креативных индустрий выявлены внешние, туристические, цифровые и предпринимательские эффекты, а в региональной политике обоснована необходимость территориальной настройки мер поддержки.

Нерешенным, однако, остается вопрос о воспроизводимой оценке малых пространственных эффектов креативного сектора в ресурсном и удаленном макрорегионе. Большинство имеющихся работ посвящено крупным городам; сектор оценивается по укрупненным объемным показателям, а отдельные проекты описываются без панельной проверки. Требуется методический подход, который связывает культурный ресурс, цифровые и рыночные каналы, институциональную поддержку с наблюдаемыми предпринимательскими и туристическими результатами субъектов ДФО.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – обосновать и апробировать методический подход к оценке потенциала креативного сектора и связанных с ним предпринимательских и туристических малых пространственных эффектов по данным субъектов ДФО за 2019–2025 гг. Цифровые, социально-трудовые и институциональные характеристики рассматриваются как условия и каналы формирования этих эффектов. *Объектом* выступает креативный сектор субъектов ДФО в системе пространственного развития макрорегиона. *Предмет исследования* составляют методические инструметы оценки эффектов, формирующихся в результате взаимодействия культурных ресурсов, цифровых каналов продвижения, туристического спроса, локального предпринимательства и механизмов институциональной координации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- систематизировать теоретические и нормативно-стратегические основы исследования и сформировать аналитическую схему «ресурс – канал – эффект»;
- обосновать состав статистической базы и систему показателей для анализа субъектов ДФО;
- рассчитать интегральный показатель потенциала креативного сектора и выявить территориальные различия;
- оценить устойчивость связи креативного сектора с динамикой малого и среднего предпринимательства и туристического потока с использованием моделей с фиксированными эффектами, инструментальных переменных и метода «разность разностей».

Предлагаемая аналитическая схема раскрывает процесс преобразования культурных ресурсов в измеримые экономические результаты с учетом особенностей удаленного и ресурсно-ориентированного макрорегиона. Особое внимание уделяется промежуточным каналам, через которые культурный потенциал влияет на предпринимательскую активность, туристический спрос и развитие территорий. Логика формирования локальных пространственных эффектов представлена на рис. 1.

Рис. 1 иллюстрирует исходную логику исследования. Мы уже отметили, что само по себе наличие культурного ресурса не гарантирует устойчивого экономического результата: последний формируется лишь при включении ресурса в цепочку, объединяющую цифровую упаковку и продвижение, туристический и сервисный спрос, локальное малое и среднее предпринимательство и институциональную координацию. Соответственно, предметом оценки выступают дополнительные предпринимательские, туристические, цифровые и социально-трудовые результаты, возникающие на пересечении ресурсов, каналов и мер поддержки.

Методы и материалы

Методический подход реализуется в пять последовательных этапов:



Источник: составлено автором.

Рис. 1. Аналитическая схема формирования малых пространственных эффектов

Fig. 1. Analytical scheme of small spatial effects formation

1) На первом этапе формируется сбалансированная панель субъектов ДФО за 2019–2025 гг.

2) Второй этап предполагает отбор показателей по пяти блокам: ресурсному, цифровому, рыночному, социально-трудовому и институциональному.

3) На третьем этапе выполняется нормирование показателей и рассчитывается интегральный индекс потенциала креативного сектора.

4) Четвертый этап посвящен оценке связи креативного сектора с предпринимательскими и туристическими результатами на основе панельных моделей с фиксированными эффектами.

5) На пятом этапе устойчивость полученных оценок проверяется с использованием инструментальной спецификации и дизайна «разность разностей».

В совокупности перечисленные этапы образуют воспроизводимый алгоритм диагностики малых пространственных эффектов.

Панель охватывает 11 субъектов ДФО за 2019–2025 гг. и насчитывает 77 наблюдений. В ее состав входят Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия), Забайкальский, Камчатский, Приморский и Хабаровский края, Амурская, Магаданская и Сахалинская области, Еврейская автономная область (ЕАО) и Чукотский автономный округ (Чукотский АО). В аналитических целях дополнительно выделена арктическая подвыборка ДФО, включающая Республику Саха (Якутию), Камчатский край, Магаданскую область и Чукотский АО.

Исходные показатели второго этапа сформированы на основе официальных данных Росстата, Минэкономразвития России, ФНС России, туристической статистики и нормативных правовых актов. Для показателей валовой добавленной стоимости (ВДС) КЭ и ее доли в ВРП использованы материалы раздела «Национальные счета» Росстата; для показателей малого и среднего предпринимательства – открытые данные Единого реестра субъектов МСП ФНС России; для туристических показателей – раздел статистики туризма Росстата; для доступа домашних хозяйств к Интернету – система показателей Росстата; для самозанятости – данные Аналитического портала ФНС России. Базовым для расчета индексов принят 2019 г. – последний полный год до пандемии COVID-19, что позволяет исключить завышение последующей динамики вследствие низкой базы 2020 г. Перечень переменных, их источники и функции в методической схеме представлены в табл. 1.

Таблица 1. Переменные, источники и роль показателей
Table 1. Variables, sources and role of indicators

Блок	Показатели	Источник	Роль в методике
Ресурсный	ВДС КЭ; доля ВДС КЭ в ВРП	Росстат	исходная характеристика сектора
Цифровой	доступ домохозяйств к Интернету; цифровые каналы продвижения	Росстат; региональные данные	снижение издержек удалённости
Рыночный	индекс МСП; туристический индекс	ФНС России; Росстат	коммерциализация культурного ресурса
Социально-трудовой	занятость в сервисных и культурных сегментах; самозанятость	Росстат; ФНС России	распределение эффекта в занятости
Институциональный	региональные программы; центры «Мой бизнес»; *Treat* × *Post*	Федеральные и региональные НПА	закрепление и усиление каналов

Источник: составлено автором по данным Росстата, Минэкономразвития России, ФНС, туристической статистики и региональных НПА.

Табл. 1 соотносит содержательные каналы аналитической схемы с наблюдаемыми показателями и с источниками данных. Это обеспечивает прозрачность методического подхода и воспроизводимость последующих расчетов на основе региональной статистики. На третьем этапе исходные показатели приводятся к сопоставимому виду с помощью минимаксного нормирования. Для каждого показателя k применяется формула:

$$z_{itk} = \frac{x_{itk} - \min(x_k)}{\max(x_k) - \min(x_k)}, \quad (1)$$

где z_{itk} – нормированное значение k-го показателя для региона i в году t; x_{itk} – исходное значение показателя; $\min(x_k)$ и $\max(x_k)$ – соответственно минимальное и максимальное значения показателя в анализируемой совокупности. На основе нормированных значений рассчитывается интегральный показатель потенциала креативного сектора (ИПКП):

$$\text{ИПКП}_{it} = \sum_{k=1}^{K} w_k z_{itk}, \quad (2)$$

где w_k – вес k-го компонента интегрального показателя; K – общее число включенных компонентов. В базовом варианте расчета всем компонентам присваиваются равные веса, поскольку задача исследования состоит в сопоставлении каналов формирования эффекта, а не в построении итогового рейтинга субъектов ДФО.

На четвертом этапе оценивается панельная регрессионная модель с региональными и временными фиксированными эффектами:

$$Y_{it} = \alpha + \beta \text{Creative}_{it} + \gamma' X_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it}, \quad (3)$$

где Y_{it} – результирующий показатель малого пространственного эффекта, которым в зависимости от спецификации выступает показатель динамики малого и среднего предпринимательства либо туристического потока; Creative_{it} – доля ВДС КЭ в ВРП; X_{it} – вектор контрольных переменных; μ_i и τ_t – соответственно региональные и годовые фиксированные эффекты; ε_{it} – случайная ошибка модели.

Для проверки устойчивости полученных оценок применяется инструментальный подход. Следующая формула представляет первое уравнение инструментальной панельной модели:

$$\text{Creative}_{it} = \pi_0 + \pi_1 Z_{i,t-1} + \pi' X_{it} + \mu_i + \tau_t + \nu_{it}, \quad (4)$$

где $Z_{i,t-1}$ – лаговый показатель, характеризующий занятость и организационную базу культурных и смежных сегментов; π_0, π_1 и π' – оцениваемые параметры; ν_{it} – случайная ошибка первого уравнения.

В качестве дополнительной проверки используется дизайн «разность разностей»:

$$Y_{it} = \alpha + \delta(\text{Treat}_i \times \text{Post}_t) + \gamma' X_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it}, \quad (5)$$

где переменная Treat_i принимает значение единицы для регионов, в которых поддержка креативных индустрий была введена раньше либо получила более выраженное институциональное оформление, переменная Post_t характеризует период после усиления правовой и программной основы сектора и принимает значение единицы начиная с 2024 г., а для предшествующих лет – нуля, коэффициент δ отражает среднее изменение результирующего показателя в группе

воздействия относительно контрольной группы после рассматриваемого институционального изменения.

Формулы (1) и (2) образуют расчетный блок методики: с их помощью исходные данные приводятся к сопоставимому виду и формируется интегральная оценка потенциала каждого субъекта ДФО. Формулы (3–5) составляют эконометрический блок и используются для оценки связи креативного сектора с динамикой малого и среднего предпринимательства и туристического потока. Такая последовательность анализа позволяет сначала сопоставить региональные профили потенциала, а затем проверить устойчивость выявленных различий с помощью панельных моделей, инструментальной оценки и дизайна «разность разностей».

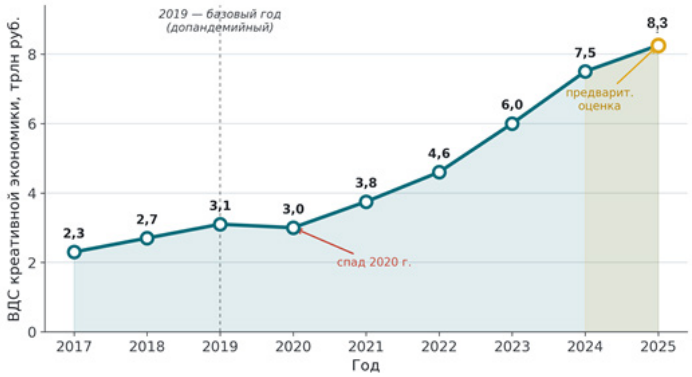
Результаты и обсуждение

Общероссийская динамика ВДС КЭ используется как внешний контекст для анализа субъектов ДФО. Ее учет позволяет отделить общий рост сектора в стране от особенностей его пространственного распределения в ресурсном и удаленном макрорегионе. Динамика ВДС КЭ России за 2017–2025 гг. показана на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что сектор вырос относительно допандемийного уровня, а значит, региональная оценка должна принимать во внимание не только общий рост КЭ, но и неоднородность его пространственного распределения. Сама по себе положительная общероссийская динамика ничего не говорит о том, за счет каких региональных каналов – предпринимательских, туристических, цифровых или институциональных – этот рост формируется. Поэтому далее анализ переходит от агрегированной национальной динамики к сопоставлению субъектов ДФО по трем группам показателей: объему ВДС КЭ, ее доле в ВРП и ИПКП.

В статье ИПКП характеризует не только масштаб сектора, но и связанность условий, в которых он реализуется. Показатель объединяет ресурсный, цифровой, рыночный, социально-трудовой и институциональный блоки. Благодаря этому он показывает, насколько культурный ресурс региона может преобразовываться в инфраструктурные, предпринимательские, туристические и цифровые эффекты, а также в рост занятости. Ключевые показатели субъектов ДФО за 2025 г. сопоставлены в табл. 2.

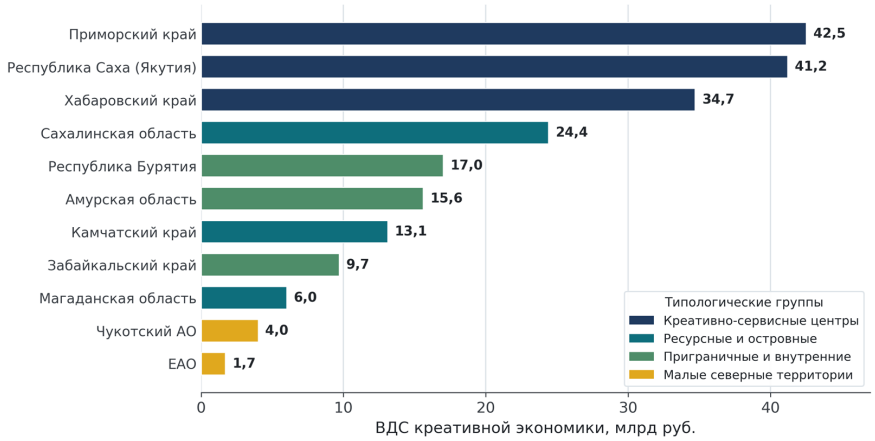
Данные табл. 2 свидетельствуют, что высокий объем ВДС КЭ не всегда сопровождается ее максимальной долей в ВРП или наибольшим интегральным потенциалом. Приморский край и Республика Саха (Якутия), например, близки по объему ВДС КЭ, но различаются по конфигурации каналов: в Приморском крае более заметны сервисные и событийные эффекты, в



Источник: составлено автором по данным Росстата и Минэкономразвития России;
2025 г. – предварительная оценка (8,26 трлн руб.).

Рис. 2. Динамика ВДС КЭ Российской Федерации, 2017–2025 гг.

Fig. 2. Dynamics of the Russian Federation creative economy gross value added, 2017–2025



Источник: составлено автором по данным Росстата, Минэкономразвития России и сформированной панели.

Рис. 3. Распределение ВДС КЭ ДФО, 2025 г.

Fig. 3. Distribution of creative economy gross value added in the Far East, 2025

Республике Саха (Якутии) – цифровой и туристический каналы. У Хабаровского края абсолютный объем сектора ниже, чем у Приморского края, однако ИПКП Хабаровского края высок благодаря связи сервисов с малым и средним предпринимательством. Следовательно, для региональной политики значимы как размер сектора, так и каналы, через которые культурный ресурс превращается в наблюдаемый экономический результат.

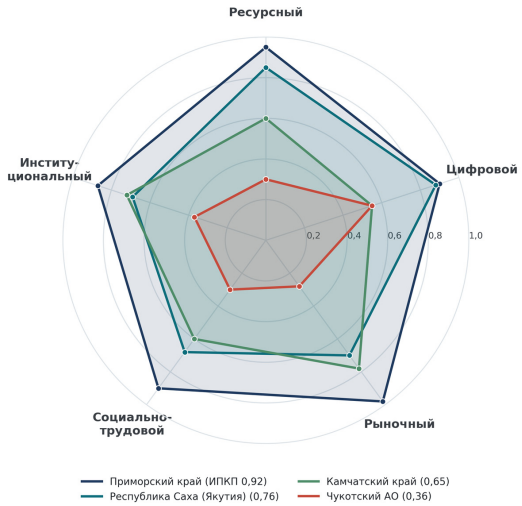
Дополнительно различия между субъектами ДФО по объему ВДС КЭ представлены на рис. 3.

Таблица 2. Ключевые показатели субъектов ДФО в 2025 г.
Table 2. Key indicators of the Far Eastern regions in 2025

Субъект ДФО	ВДС КЭ, млрд руб.	ВДС КЭ / ВРП, %	ИПКП	Канал
Приморский край	42,5	2,03	0,92	сервисы, события
Республика Саха (Якутия)	41,2	1,96	0,76	цифровой, туризм
Хабаровский край	34,7	2,09	0,83	сервисы, МСП
Сахалинская область	24,4	1,29	0,65	туризм, бренды
Республика Бурятия	17,0	2,03	0,54	культурный туризм
Амурская область	15,6	1,78	0,50	маршруты
Камчатский край	13,1	2,14	0,65	туризм, события
Забайкальский край	9,7	1,25	0,41	приграничные бренды
Магаданская область	6,0	1,13	0,50	северный туризм
Чукотский АО	4,0	1,63	0,36	цифровой сбыт
ЕАО	1,7	0,88	0,27	микропроекты

Источник: составлено автором по данным Росстата, Минэкономразвития России и авторским расчетам ИПКП.

Как видно на рис. 3, основная часть ВДС КЭ сосредоточена в нескольких региональных центрах. Наибольшие значения имеют Приморский край, Республика Саха (Якутия), Хабаровский край и Сахалинская область. В малых северных и приграничных регионах абсолютный масштаб сектора существенно меньше, что ожидаемо для макрорегиона с выраженной пространственной неоднородностью. Данное распределение не означает, что поддержку следует



Источник: авторские расчеты на основе оценок ИПКП по данным Росстата и ФНС России.

Рис. 4. Профили ИПКП по блокам разных субъектов ДФО, 2025 г.

Fig. 4. Block profiles of the creative-sector potential for different Far Eastern regions, 2025

сосредоточить только в крупнейших центрах. Для малых и удаленных субъектов важнее способность отдельных каналов – цифрового сбыта, событийного туризма, локальных брендов и самозанятости – давать приростный результат при ограниченном локальном рынке.

Объем ВДС не позволяет сам по себе судить о структуре потенциала. При близких интегральных значениях регионы могут заметно различаться по профилю каналов, а у территории с небольшим сектором могут быть отдельные сильные направления. Для их выявления ИПКП разлагается на пять блоков. Профили четырех типологически различных субъектов ДФО представлены на рис. 4.

Поблочное разложение ИПКП на рис. 4 позволяет перейти от ранжирования регионов к анализу структуры их возможностей. В Приморском крае ресурсный, рыночный и цифровой блоки имеют сбалансированно высокие значения, характерные для крупного сервисного и событийного центра макрорегиона. Высокий потенциал Республики Саха (Якутии) сочетает сильные ресурсный и цифровой блоки с более умеренным рыночным каналом; здесь культурный ресурс соединяется с цифровой упаковкой и внешним продвижением. Камчатский край в большей степени опирается на рыночный (туристический) и институциональный блоки; его креативный эффект связан с событиями, природно-культурным туризмом и региональной координацией. В Чукотском АО преобладает цифровой канал при слабых рыночном и ресурсном блоках. Такой профиль характерен для малых северных территорий с ограниченным внутренним спросом и с зависимостью от дистанционного продвижения.

Расчет ИПКП указывает на необходимость согласовывать меры поддержки с конфигурацией каналов, а не только с общим объемом сектора. Для одних регионов приоритетны событийная экономика и экспорт креативных продуктов, для других – цифровые витрины, туристические маршруты, поддержка самозанятых, локальных брендов и микропроектов.

Для эконометрической проверки выявленных различий используются два результирующих индекса. Индекс малого и среднего предпринимательства отражает предпринимательский канал коммерциализации креативного сектора. Туристический индекс характеризует связь креативных индустрий с туристическим и событийным спросом. Основная объясняющая переменная – доля ВДС КЭ в ВРП. Этот показатель фиксирует относительную значимость сектора в региональной экономике, а не его абсолютный объем.

Устойчивость оценок проверяется в трех спецификациях. Модель с фиксированными эффектами (FE) контролирует неизменные характеристики регионов и общие для них годовые шоки. Инструментальная модель с фиксированными эффектами (IV-FE) уменьшает риск обратной причинности, при которой не только креативный сектор влияет на предпринимательство и туризм, но и развитые рынки создают условия для роста КЭ. Модель «разность разностей» (DiD) позволяет установить, изменились ли результаты в регионах с более ранней или институционально выраженной поддержкой креативных индустрий после усиления правовой и программной рамки сектора.

Таблица 3. Сводные результаты FE-, IV-FE- и DiD-оценок, 2019–2025 гг.
Table 3. Summary of FE, IV-FE and DiD estimates, 2019–2025

Модель	Зависимая переменная	Регрессор	Оценка	Вывод
FE + ИПКП	малого и среднего предпринимательства индекс	ВДС КЭ / ВРП, %	1,88**	положительная связь при FE-контроле
IV-FE	малого и среднего предпринимательства индекс	ВДС КЭ / ВРП, %	2,41**	устойчиво к обратной причинности
DiD	малого и среднего предпринимательства индекс	*Treat* × *Post*	4,62**	прирост в активных регионах
FE + ИПКП	туристический индекс	ВДС КЭ / ВРП, %	2,47**	связь с туристическим каналом
IV-FE	туристический индекс	ВДС КЭ / ВРП, %	3,14**	устойчиво к эндогенности
DiD	туристический индекс	*Treat* × *Post* [4]	6,84**	прирост туристического канала

Источник: рассчитано автором на панели субъектов ДФО, 2019–2025 гг. Примечание: *, ** – статистическая значимость на 10%-ном и 5%-ном уровнях соответственно.

Табл. 3 показывает, что коэффициенты сохраняют положительный знак в разных спецификациях, а значит, связь креативного сектора с предпринимательским и туристическим каналами не сводится к одному расчетному варианту. Полученные оценки согласуются с литературой, в которой КЭ рассматривается не только как совокупность отраслей, но и как система каналов: человеческого капитала, локальных брендов, цифровой упаковки, событийности, туризма и предпринимательства [5, 6, 9, 10, 14]. Для ДФО это особенно важно, поскольку малые эффекты проявляются не в резком изменении структуры ВРП, а в дополнительном спросе на услуги, занятости, самозанятости и развитии локальных проектов.

С учетом объема панели полученные коэффициенты интерпретируются как устойчивые оценки связи, а не как исчерпывающее доказательство причинности. Спецификации IV-FE и DiD используются как проверки устойчивости основного результата; расширенная причинная интерпретация требует дополнительного представления диагностики первой стадии, проверки параллельных трендов и расчетов на более широкой региональной панели.

Практическая интерпретация полученных результатов для региональной политики приведена в табл. 4. Необходимость пространственной дифференциации обусловлена тем, что одинаковые показатели креативного сектора имеют разное управленческое значение в крупных сервисных

[4] Переменная взаимодействия, отражающая принадлежность региона к группе с более выраженной поддержкой креативных индустрий и период после усиления правовой рамки сектора.

центрах, ресурсных и островных регионах, приграничных территориях и малых северных субъектах.

Табл. 4 обобщает прикладной результат исследования: меры поддержки креативного сектора должны учитывать профиль территории и связанность ресурсного, цифрового, рыночного и институционального каналов. Для крупных креативно-сервисных центров с емким спросом, развитой предпринимательской средой и доступными цифровыми каналами продвижения целесообразны событийная экономика, экспорт креативных продуктов и платформенные витрины. В ресурсных и островных регионах приоритетна связь туризма, локальных брендов и сервисного малого и среднего предпринимательства, через которую культурный ресурс включается в экономический оборот.

Таблица 4. Пространственная интерпретация для региональной политики
Table 4. Spatial interpretation for regional policy

Группа регионов	Примеры	Диагностический профиль	Приоритет политики
Крупные креативно-сервисные центры	Приморский край; Хабаровский край; Республика Саха (Якутия)	высокий объем ВДС КЭ и ИПКП; выраженные цифровые и рыночные каналы	событийная экономика; экспорт креативных продуктов; платформенные витрины
Ресурсные и островные регионы	Сахалинская область; Камчатский край; Магаданская область	умеренный ИПКП; зависимость от транспортной доступности и туризма	связка туризма, локальных брендов и сервисных МСП
Приграничные и внутренние регионы	Республика Бурятия; Забайкальский край; Амурская область	потенциал культурного туризма при ограниченной цифровой упаковке	маршруты; межрегиональные события; обучение предпринимателей
Малые северные территории	Чукотский АО; ЕАО	низкий масштаб рынка и высокая чувствительность к связанности каналов	цифровые каналы сбыта; микропроекты; поддержка самозанятости

Источник: составлено автором по результатам диагностики ИПКП и панельных оценок.

Для приграничных и внутренних регионов более актуальны туристические маршруты, межрегиональные события и обучение предпринимателей, поскольку развитие культурного туризма здесь ограничивают недостаточная цифровая упаковка и слабая коммерциализация локальных продуктов. На малых северных территориях первостепенное значение имеют цифровые каналы сбыта, микропроекты и поддержка самозанятости. При малой емкости локального рынка приростные эффекты чаще создают дистанционное продвижение и малые предпринимательские формы. Поэтому меры поддержки следует дифференцировать по способности конкретного канала связывать культурный ресурс с предпринимательским, туристическим или цифровым результатами, а не равномерно распределять ресурсы между группами регионов.

Заключение

Итоги исследования соотносятся с четырьмя поставленными задачами.

1. Систематизированы теоретические и нормативно-стратегические основания анализа, включая федеральную правовую рамку и проект стратегического документа. Сформирована аналитическая схема «ресурс – канал – эффект». Предпринимательские и туристические результаты определены как измеряемые малые пространственные эффекты, а цифровые, социально-трудовые и институциональные характеристики – как условия и каналы их формирования.

2. Сформированы сбалансированная панель из 77 наблюдений по 11 субъектам ДФО за 2019–2025 гг. и система переменных, распределенных по пяти блокам.

3. Рассчитан интегральный показатель потенциала креативного сектора и выявлены территориальные различия. Результат позволяет перейти от сопоставления только объема ВДС к анализу связанности ресурсного, цифрового, рыночного, социально-трудового и институционального блоков.

4. Проведена панельная проверка устойчивости связи креативного сектора с индексом МСП и с туристическим индексом.

Таким образом, поставленная цель достигнута: методический подход к оценке потенциала креативного сектора и связанных с ним предпринимательских и туристических малых пространственных эффектов обоснован, апробирован на сбалансированной панели субъектов ДФО Российской Федерации и дополнен пространственной интерпретацией результатов.

Креативный сектор ресурсных макрорегионов следует оценивать как источник малых, но управляемых пространственных эффектов. Управленческая значимость этих эффектов проявляется не в универсальном увеличении расходов, а в настройке мер поддержки под профиль территории и под степень связанности каналов. Предложенный методический подход может применяться в региональном мониторинге программ креативных индустрий, при согласовании культурной, туристической и предпринимательской политики, а также при обосновании цифровых каналов продвижения локальных брендов и креативных продуктов.

Направления дальнейших исследований

Дальнейшие исследования целесообразно развивать в четырех направлениях. Первое – построение полной региональной панели субъектов Российской Федерации для проверки, сохраняются ли выявленные связи за пределами ДФО. Второе – применение пространственно-эконометрических моделей SAR/SEM, позволяющих оценить межрегиональные перетоки креативных эффектов. Третье – проверка устойчивости DiD-результатов с применением метода синтетического контроля. Четвертое – детализация муниципального уровня для арктических территорий ДФО, где значительная часть культурного ресурса и событийной активности сосредоточена вне региональных столиц.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Florida R. (2002) *The Rise of the Creative Class*, New York: Basic Books.

2. Landry C. (2000) *The Creative City: A Toolkit for Urban Innovators*, London: Earthscan.

3. Howkins J. (2002) *The Creative Economy: How People Make Money from Ideas*, London: Penguin Books.

4. Pratt A.C. (2008) Creative cities: the cultural industries and the creative class. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 90 (2), 107–117. DOI: 10.1111/j.1468-0467.2008.00281.x

5. Viganò F., England L., Comunian R. (2023) Connecting craft, design and the wood industry in South Tyrol: From clusters to creative ecosystem. *Journal of Rural Studies*, 104, art. no. 103149. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2023.103149

6. Duxbury N., Durrer V., Sitas R. (2024) Cultural policy actions towards urban sustainability: Research and practice collaborations. *City, Culture and Society*, 37, art. no. 100584. DOI: 10.1016/j.ccs.2024.100584

7. Tao Ma, YueNing Wang, Li Zhang, Wuyang Hong, Xiaochun Yang (2025) Creative assets, people, and places: Rural art action practices of US nonprofit organizations. *Journal of Rural Studies*, 113, art. no. 103476. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2024.103476

8. Freitas R.G., Davel E., Bérubé J. (2025) Managing cultural projects: Plural creativity as creative practice. *International Journal of Project Management*, 43 (3), art. no. 102708. DOI: 10.1016/j.ijproman.2025.102708

9. Goya D. (2024) Marshallian and Jacobian externalities in creative industries: Evidence from Chile. *Papers in Regional Science*, 103 (4), art. no. 100028. DOI: 10.1016/j.pirs.2024.100028

10. Gao H. (2025) The impact of digital economy development on the performance of digital creative enterprises. *Finance Research Letters*, 84, art. no. 107761. DOI: 10.1016/j.frl.2025.107761

11. Chen J.S. (2015) Tourism stakeholders attitudes toward sustainable development: A case in the Arctic. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 22, 225–230. DOI: 10.1016/j.jretconser.2014.08.003

12. Chen J.S., Chen Y.-L. (2016) Tourism stakeholders' perceptions of service gaps in Arctic destinations: Lessons from Norway's Finnmark region. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 16, 1–6. DOI: 10.1016/j.jort.2016.04.006

13. Fox S., Huntington H. (2024) Community knowledge exchange in research leads to innovation and action in the Arctic. *Arctic Science*, 11, 1–12. DOI: 10.1139/as-2024-0015

14. Islam N., Sadhukhan S. (2025) Relationship among creative tourism development strategies, creative industries, and activities: A case study of Lucknow, India. *Journal of Destination Marketing & Management*, 36, art. no. 100988. DOI: 10.1016/j.jdmm.2024.100988

15. Anantrasirichai N., Bull D. (2022) Artificial intelligence in the creative industries: a review. *Artificial Intelligence Review*, 55, 589–656. DOI: 10.1007/s10462-021-10039-7

16. Epstein Z., Hertzmann A. (2023) Art and the science of generative AI. *Science*, 380 (6650), 1110–1111. DOI: 10.1126/science.adh4451

17. Акимова О.Е., Волков С.К., Симонов А.Б. (2024) Методика анализа и оценки эффективности влияния креативных центров на повышение качества жизни населения сельских территорий. *Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки*, 17 (3), 416–429.

18. Антонова И.С., Малеева Е.А. (2023) Эффект перетока креативных индустрий: понятие, виды, показатели оценки. *Российские регионы в фокусе перемен*, 710–712.

19. Михайлова А.В., Федорова А.В., Петрова Н.Н., Петрова Н.И. (2024) Оценка потенциала креативных индустрий в Арктике Российской Федерации. *Креативная экономика*, 18 (3), 675–696. DOI: 10.18334/ce.18.3.120607

20. Михайлова А.В., Шкурко Н.С. (2023) Роль креативных пространств и креативного туризма в формировании креатосферы. *Креативная экономика*, 17 (8), 2873–2886. DOI: 10.18334/ce.17.8.118767

21. Михайлова А.В., Попова Л.Н. (2024) Креатосфера в Арктических регионах России. *Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии*, 4, 231–235.

22. Карпова Г.А., Валеева Е.О. (2015) Развитие туризма как конкурентное преимущество территории (на примере субъектов СЗФО). *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 1 (91), 44–51.

23. Карпова Г.А., Кучумов А.В., Сиренко О.О., Еремичева П.Ю. (2024) Основные тенденции развития цифрового предпринимательства в туризме. *Сервис в России и за рубежом*, 18 (3), 16–25. DOI: 10.5281/zenodo.14254290

24. Карпова Г.А., Ходанова А.В. (2023) Оценка влияния культурно-событийных мероприятий на аттрактивный потенциал дестинации. *Профессорский журнал. Серия: Рекреация и туризм*, 1 (17), 41–47. DOI: 10.18572/2686-858X-2023-17-1-41-47

25. Богачев В.Ф., Микуленок А.С. (2024) Межрегиональная интеграция арктических территорий. *Наука и технологии в трансформации социально-экономического ландшафта*, 11–13. DOI: 10.53115/9785001885337

26. Пилясов А.Н. (2024) Состав арктических территорий для государственной поддержки: куда идти? *Арктика и Север*, 56, 92–111. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2024.56.92

27. Волков А.Д., Рослякова Н.А., Слепцов Р.С., Никитина А.С. (2024) Методика оценки эффективности особой экономической зоны Российской Арктики. *Север и рынок: формирование экономического порядка*, 27 (3), 7–26. DOI: 10.37614/2220-802X.3.2024.85.001

28. Королева А.А. (2017) Маркетинговый анализ потенциала креативных индустрий городской среды. *Креативная экономика*, 11 (4), 445–456. DOI: 10.18334/ce.11.4.37759

29. Сокорнов И.Н. (2025) Методология исследования креативных индустрий. *Креативная экономика*, 19 (2), 277–302. DOI: 10.18334/ce.19.2.122560

30. Хестанов Р.З. (2018) Креативные индустрии – модели развития. *Социологическое обозрение*, 17 (3), 173–196. DOI: 10.17323/1728-192X-2018-3-173-196

31. Бредихин С.В., Власова В.В., Гаврилова Н.В., Гершман М.А., Гохберг Л.М., Демьянова А.В., Иванова И.А., Попова Я.А. (2021) *Развитие креативных индустрий в России: ключевые индикаторы*, М.: НИУ ВШЭ.

REFERENCES

1. Florida R. (2002) *The Rise of the Creative Class*, New York: Basic Books.
2. Landry C. (2000) *The Creative City: A Toolkit for Urban Innovators*, London: Earthscan.
3. Howkins J. (2002) *The Creative Economy: How People Make Money from Ideas*, London: Penguin Books.
4. Pratt A.C. (2008) Creative cities: the cultural industries and the creative class. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 90 (2), 107–117. DOI: 10.1111/j.1468-0467.2008.00281.x
5. Viganò F., England L., Comunian R. (2023) Connecting craft, design and the wood industry in South Tyrol: From clusters to creative ecosystem. *Journal of Rural Studies*, 104, art. no. 103149. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2023.103149
6. Duxbury N., Durrer V., Sitas R. (2024) Cultural policy actions towards urban sustainability: Research and practice collaborations. *City, Culture and Society*, 37, art. no. 100584. DOI: 10.1016/j.ccs.2024.100584
7. Tao Ma, YueNing Wang, Li Zhang, Wuyang Hong, Xiaochun Yang (2025) Creative assets, people, and places: Rural art action practices of US nonprofit organizations. *Journal of Rural Studies*, 113, art. no. 103476. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2024.103476
8. Freitas R.G., Davel E., Bérubé J. (2025) Managing cultural projects: Plural creativity as creative practice. *International Journal of Project Management*, 43 (3), art. no. 102708. DOI: 10.1016/j.ijproman.2025.102708
9. Goya D. (2024) Marshallian and Jacobian externalities in creative industries: Evidence from Chile. *Papers in Regional Science*, 103 (4), art. no. 100028. DOI: 10.1016/j.pirs.2024.100028
10. Gao H. (2025) The impact of digital economy development on the performance of digital creative enterprises. *Finance Research Letters*, 84, art. no. 107761. DOI: 10.1016/j.frl.2025.107761
11. Chen J.S. (2015) Tourism stakeholders attitudes toward sustainable development: A case in the Arctic. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 22, 225–230. DOI: 10.1016/j.jretconser.2014.08.003
12. Chen J.S., Chen Y.-L. (2016) Tourism stakeholders' perceptions of service gaps in Arctic destinations: Lessons from Norway's Finnmark region. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 16, 1–6. DOI: 10.1016/j.jort.2016.04.006
13. Fox S., Huntington H.P., Stammler F. et al. (2024) Community knowledge exchange in research leads to innovation and action in the Arctic. *Arctic Science*, 11, 1–12. DOI: 10.1139/as-2024-0015
14. Islam N., Sadhukhan S. (2025) Relationship among creative tourism development strategies, creative industries, and activities: A case study of Lucknow, India. *Journal of Destination Marketing & Management*, 36, art. no. 100988. DOI: 10.1016/j.jdmm.2024.100988
15. Anantrasirichai N., Bull D. (2022) Artificial intelligence in the creative industries: a review. *Artificial Intelligence Review*, 55, 589–656. DOI: 10.1007/s10462-021-10039-7
16. Epstein Z., Hertzmann A. (2023) Art and the science of generative AI. *Science*, 380 (6650), 1110–1111. DOI: 10.1126/science.adh4451
17. Akimova O.E., Volkov S.K., Simonov A.B. (2024) Methodology for Analyzing and Assessing the Efficiency of the Impact of Creative Centers on Improving the Population's Quality of Life in Rural Territories. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, 17 (3), 416–429.
18. Antonova I., Maleeva E. (2023) Spillover Effect of Creative Industry: Definition, Types, Evaluation Indicators. *Rossiiskie regiony v fokuse peremen* [*Russian regions in the spotlight of change*], 710–712.
19. Mikhaylova A.V., Fedorova A.V., Petrova N.N., Petrova N.I. (2024) Assessing the potential of creative industries in the Russian Arctic. *Creative Economy*, 18 (3), 675–696. DOI: 10.18334/ce.18.3.120607
20. Mikhaylova A.V., Shkurko N.S. (2023) The role of creative spaces and creative tourism in Russian regions in creatosphere formation. *Creative Economy*, 17 (8), 2873–2886. DOI: 10.18334/ce.17.8.118767
21. Mikhailova A.V., Popova L.N. (2024) Kreatosfera v Arkticheskikh regionakh Rossii [Kreatosphere in the arctic regions of Russia]. *Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii* [*Competitiveness in the global world: economy, science, technology*], 4, 231–235.
22. Karpova G.A., Valeeva E.O. (2015) Tourism development as the competitive advantage of the territory (on the example of the Northwest Federal District subjects). *Izvestiâ Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo èkonomičeskogo universiteta*, 1 (91), 44–51.

23. Karpova G.A., Kuchumov A.V., Sirenko O.O., Eremicheva P.Yu. (2024) The main trends in the development of digital entrepreneurship in tourism. *Services in Russia and Abroad*, 18 (3), 16–25. DOI: 10.5281/zenodo.14254290

24. Karpova G., Khodanova A. (2023) Assessment of the impact of cultural and event events on the attractive potential of the destination. *The Professors' Magazine. Recreation and Tourism Series*, 1 (17), 41–47. DOI: 10.18572/2686-858X-2023-17-1-41-47

25. Bogachev V.F., Mikulenok A.S. (2024) Mezhregional'naia integratsiia arkticheskikh territorii [Interregional integration of Arctic territories]. *Nauka i tekhnologii v transformatsii sotsial'no-ekonomicheskogo landshafta* [*Science and technology in the transformation of the socio-economic landscape*], 11–13. DOI: 10.53115/9785001885337

26. Pilyasov A.N. (2024) Composition of Arctic Territories for State Support: Which Way to Choose? *Arctic and North*, 56, 92–111. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2024.56.92

27. Volkov A.D., Roslyakova N.A., Sleptsov R.S., Nikitina A.S. (2024) A method for measuring the performance of the Russian Arctic as a special economic zone: Accounting for regional specificities. *The North and the Market: Forming the Economic Order*, 3, 7–26. DOI: 10.37614/2220-802X.3.2024.85.001

28. Koroleva A.A. (2017) Marketing analysis of the potential of creative industries in the urban environment. *Creative Economy*, 11 (4), 445–456. DOI: 10.18334/ce.11.4.37759

29. Sokornov I.N. (2025) Methodology of research in the creative industries. *Creative Economy*, 19 (2), 277–302. DOI: 10.18334/ce.19.2.122560

30. Khestanov R. (2018) Creative Industries – Models of Development. *Russian Sociological Review*, 17 (3), 173–196. DOI: 10.17323/1728-192X-2018-3-173-196

31. Bredikhin S.V., Vlasova V.V., Gavrilova N.V., Gershman M.A., Gokhberg L.M., Dem'ianova A.V., Ivanova I.A., Popova Ia.A. (2021) *Razvitie kreativnykh industrii v Rossii: kliuchevye indikatory* [*Development of creative industries in Russia: key indicators*], Moscow: NIU VSHE.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

МИХАЙЛОВА Анна Викторовна
E-mail: mikanya23@mail.ru
Anna V. MIKHAILOVA
E-mail: mikanya23@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3110-7017

Поступила: 16.05.2026; Одобрена: 17.07.2026; Принята: 17.07.2026.
Submitted: 16.05.2026; Approved: 17.07.2026; Accepted: 17.07.2026.

π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 102–113.
π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 102–113.

Research article
UDC 338.24.004
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19406
EDN: https://elibrary/YCQBAG

INTERREGIONAL COOPERATION AS A TOOL FOR REDUCING SPATIAL DIFFERENTIATION: GOVERNANCE MECHANISMS AND SUCCESS FACTORS

M. Mwamba ✉

Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

✉ mwambasr@gmail.com

Abstract. This article examines interregional cooperation as a strategic instrument for reducing spatial differentiation in the Russian Federation. *The relevance of the study* is due to the persistence of significant regional disparities despite the prolonged use of equalization policies, highlighting the need for mechanisms that move beyond redistributive approaches toward coordinated development. *The aim of the study* is to identify governance mechanisms of vertical and horizontal cooperation and determine the factors that ensure their effectiveness in reducing spatial inequality. The central hypothesis is that the success of interregional initiatives depends on the presence of structured governance mechanisms capable of ensuring institutional synergy and overcoming administrative fragmentation. The research is based on a qualitative case study methodology. Four successful interregional projects are analyzed: the West Siberian Interregional Research and Education Center, the Oil and Gas Cluster of Tyumen Oblast, the Interregional Cluster for Nuclear Power Engineering, and subcontracting projects between the Chambers of Commerce and Industry of Arkhangelsk and Yaroslavl Oblasts. The empirical base includes official documents, analytical reports, expert assessments, and open-source materials. *The results* identify three key models of interregional cooperation: institutional, coordination, and network-based. The findings demonstrate that the most sustainable outcomes emerge from hybrid configurations combining vertical support (federal, institutional recognition, regulatory backing) with horizontal interaction (regional collaboration, business participation, and knowledge exchange). Key success factors include political commitment of regional leadership, reliance on established economic specialization, active involvement of private sector actors, the presence of dedicated project management structures, diversified financing mechanisms, and a results-oriented project approach. *The scientific novelty* lies in the systematization of governance models of regional cooperation and the empirical identification of success factors within the Russian spatial development context. *The practical significance* lies in the applicability of these findings for designing interregional initiatives and improving public policy instruments. The study concludes that interregional cooperation is an effective mechanism for reducing spatial differentiation when supported by institutional formalization, diversified, and coordinated stakeholder engagement. The greatest potential is observed in sectors critical to technological sovereignty, including the fuel and energy complex, nuclear power engineering, science and education. The study is limited by its focus on successful cases. *Future research* should examine unsuccessful projects, assess long-term impacts on regional inequality, develop quantitative evaluation tools, and explore the role of digital platforms in scaling cooperative models.

Keywords: interregional cooperation, spatial differentiation, governance mechanisms, industrial clusters, regional development, vertical integration, horizontal integration, economic geography

Citation: Mwamba M. (2026) Interregional cooperation as a tool for reducing spatial differentiation: governance mechanisms and success factors. π-Economy, 19 (4), 102–113. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19406

© Mwamba M., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Научная статья
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19406

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ КООПЕРАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ: УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ФАКТОРЫ УСПЕХА

М. Мвамба ✉

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Российская Федерация

✉ mwambasr@gmail.com

Аннотация. В статье исследуется межрегиональная кооперация как стратегический инструмент снижения пространственной дифференциации в Российской Федерации. *Актуальность работы* обусловлена сохранением значительных межрегиональных диспропорций, несмотря на длительное применение политики выравнивания, что требует поиска механизмов, обеспечивающих совместное развитие, а не только перераспределение ресурсов. *Цель исследования* – выявление управленческих механизмов вертикальной и горизонтальной кооперации, а также факторов, определяющих их эффективность в снижении пространственного неравенства. Центральная гипотеза заключается в том, что результативность межрегиональных инициатив зависит от наличия структурированных механизмов управления, способных обеспечивать институциональную синергию и преодолевать административную фрагментацию. *Методологической основой* выступает качественный анализ кейсов. В работе рассмотрены четыре успешных межрегиональных проекта: Западно-Сибирский межрегиональный научно-образовательный центр, Нефтегазовый кластер Тюменской области, Межрегиональный кластер атомного энергетического машиностроения, а также проекты субконтрактации между торгово-промышленными палатами Архангельской и Ярославской областей. Эмпирическая база включает официальные документы, аналитические отчеты, экспертные оценки и открытые источники. В результате выделены три базовые модели межрегиональной кооперации: институциональная, координационная и сетевая. Установлено, что наибольшая устойчивость достигается при их комбинировании – через интеграцию вертикальной поддержки (федеральное финансирование, институциональное признание, нормативная поддержка) и горизонтального взаимодействия (межрегиональные соглашения, участие бизнеса, обмен знаниями). Ключевыми факторами успеха являются политическая воля региональных лидеров, опора на сложившуюся экономическую специализацию, активное участие бизнеса, наличие проектных офисов, диверсификация источников финансирования и применение проектного подхода. *Научная новизна исследования* заключается в систематизации моделей управления межрегиональной кооперацией и эмпирическом выявлении факторов ее эффективности в условиях российской пространственной экономики. *Практическая значимость* состоит в возможности использования полученных результатов при разработке межрегиональных инициатив и совершенствовании инструментов государственной политики. Сделан вывод о том, что межрегиональная кооперация является эффективным инструментом снижения пространственной дифференциации при наличии институциональной оформленности, диверсифицированного финансирования и согласованного взаимодействия участников. Наибольший потенциал демонстрируют проекты в сферах технологического суверенитета: топливно-энергетический комплекс, атомное машиностроение, наука и образование. Ограничением исследования является фокус на успешных кейсах. *Перспективы дальнейших исследований* включают анализ неудачных проектов, оценку долгосрочных эффектов кооперации, разработку количественных методов оценки эффективности и изучение роли цифровых платформ в масштабировании сетевых моделей.

Ключевые слова: межрегиональная кооперация, пространственная дифференциация, управленческие механизмы, промышленные кластеры, региональное развитие, вертикальная интеграция, горизонтальная интеграция, экономическая география

Для цитирования: Мвамба М. (2026) Межрегиональная кооперация как инструмент снижения пространственной дифференциации: управленческие механизмы и факторы успеха. π-Economy, 19 (4), 102–113. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19406

© Мвамба М., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Introduction

Spatial differentiation remains a persistent feature of national economies, particularly in large and heterogeneous countries such as Russia. Despite long-term regional policy interventions, disparities in economic performance, infrastructure, and income levels continue to exist [12, 15]. Studies of regional convergence record the persistence of the gap between resource-extracting, industrial, and depressed territories, as well as the formation of stable "clubs" of regions with similar development trajectories [10, 11]. In these conditions, the search for tools that not only redistribute resources from wealthy to poor regions but create conditions for joint development based on cooperation becomes particularly relevant.

Interregional cooperation is considered in modern economic literature as a mechanism that allows overcoming the limited resources of individual territories, combining competencies, and creating distributed value chains[1] [1, 5, 6, 17, 21, 24, 25]. Of fundamental importance is the distinction between vertical cooperation (interaction with the federal center and development institutions) and horizontal cooperation (direct links between regions, municipalities, and businesses). Their combination can generate synergistic effects that reduce interregional disparities.

Literature review

The theoretical justification for the effectiveness of cooperation is provided by theories of agglomeration effects and new economic geography, according to which the spatial concentration of economic activity generates positive externalities [5, 11, 16, 34]. However, in the context of Russian specifics – vast territory, fragmentation of scientific and industrial potential – the emphasis shifts from local agglomeration to interregional networks that allow connecting competencies without physical concentration.

Vertical cooperation is understood as the interaction of regional authorities and economic agents with federal authorities, development institutions (VEB.RF, Fund for the Development of Industry, ASI), and state corporations. This interaction provides access to federal resources, inclusion in national projects and state programs, and obtaining status advantages (for example, inclusion in the register of clusters of the Ministry of Industry and Trade). Horizontal cooperation covers direct links between regions, municipalities, enterprises, and organizations of different territories [6, 11, 21, 24, 25]. It can take the form of interregional agreements, joint development institutions, cluster associations, subcontracting exchanges, and business missions. It is horizontal links that create the basis for the formation of distributed value chains and overcoming local deficits.

The connection between cooperation and the reduction of interregional differentiation is mediated by several mechanisms. First, cooperation allows less developed regions to gain access to the competencies, technologies, and markets of leading territories. Second, it helps overcome the fragmentation of the scientific and technological space by connecting knowledge-donor regions with knowledge-consumer regions. Third, joint projects create jobs and a tax base in the periphery, reducing migration outflows and stimulating local development.

At the same time, as noted in the literature, cooperation does not guarantee automatic equalization; purposeful governance efforts and institutional formalization of interaction are necessary. There is a scientific problem: while the benefits of cooperation are theoretically substantiated, there is a lack of empirical research identifying specific governance mechanisms and success factors for interregional cooperation in the Russian context.

The purpose of this article is to identify specific governance mechanisms of vertical and horizontal cooperation, as well as the factors that ensure their effectiveness in reducing spatial differentiation, based on an analysis of successful interregional projects in the Russian Federation.

The tasks of the study are:

1) to identify and typologize governance models of interregional cooperation;

[1] Полозов Л. (2025) Интеграция вместо изоляции как новая модель технологического развития регионов. Экономика и жизнь, 44 (10108). [online] Available at: https://www.eg-online.ru/article/500492/ [Accessed 08.09.2026].

2) to analyze the financing and coordination mechanisms of successful projects;
3) to determine the key success factors and their interrelations;
4) to formulate recommendations for regional policy.

Conceptual framework of interregional cooperation

To better understand the mechanisms through which interregional cooperation influences spatial differentiation, this study proposes a conceptual framework integrating three analytical dimensions:

1) governance structure,
2) resource flows,
3) value chain integration.

First, *governance structure* reflects the institutional arrangements that coordinate interaction between actors. This includes both vertical governance mechanisms (federal programs, regulatory frameworks, development institutions) and horizontal mechanisms (agreements between regions, business partnerships, and cluster initiatives) [6, 11, 21, 24, 25].

Second, *resource flows* represent the movement of financial, human, and technological resources across regions. Interregional cooperation allows regions with limited capacity to access external knowledge, investment, and infrastructure, thereby reducing structural disadvantages [16, 17, 21, 23].

Third, *value chain integration* refers to the extent to which regions participate in shared production and innovation processes. Unlike traditional models of regional development based on localized clusters, interregional cooperation enables the formation of distributed production systems, where different regions contribute complementary capabilities [3, 4, 17, 18, 21].

The interaction of these three dimensions creates synergistic effects, which can reduce spatial inequality through:

- diffusion of innovation;
- improved allocation of resources;
- increased productivity across regions.

This framework underpins the empirical analysis and allows for systematic comparison of governance models.

Materials and methods

The study was carried out in a qualitative case study approach, widely used in regional and innovation research. Case selection was based on the following criteria:

1) presence of formalized interregional interaction;
2) recognized success of the project by experts;
3) representativeness of various cooperation models;
4) availability of information from open sources.

The final sample included four projects:

1. West Siberian Interregional Research and Education Center[2];
2. Oil and Gas Cluster of Tyumen Oblast (involving 26 regions)[3];
3. Interregional Cluster for Nuclear Power Engineering[4];

[2] Ministry of Economic Development of the Russian Federation (2025) Russia successfully concludes its chairmanship of the Greater Tumen Initiative. [online] Available at: https://en.economy.gov.ru/material/news/russia_successfully_concludes_its_chairmanship_of_the_greater_tumen_initiative.html [Accessed 08.09.2026].

[3] 72.ru (2025) «Выбираем кооперацию». В Тюмени обсудили пути развития региона. [online] Available at: https://72.ru/text/business/2025/11/12/76117155/?ysclid=mtscgw0bq872945472 [Accessed 08.09.2026].

[4] Инвестиционный портал Калужской области (2025) В Калужской области создается новый промышленный кластер. [online] Available at: https://investkaluga.com/media/news/v-kaluzhskoy-oblasti-sozdaetsya-novyy-promyshlennyy-klaster/?ysclid=mtsdhcvtb3875359485 [Accessed 08.09.2026].

4. Subcontracting projects between the Chambers of Commerce and trade of Arkhangelsk and Yaroslavl Oblasts[5,6].

The source base consisted of official publications of authorities[2], analytical materials, expert assessments, and media publications.

A comparative analysis of organizational models, institutional conditions, and success factors was applied. The stages of the analysis included:

1) description of each case;
2) identification of governance mechanisms;
3) comparison of cases according to key parameters;
4) synthesis of success factors;
5) formulation of recommendations.

Analytical framework and indicators

To ensure comparability across cases, the study applies a structured analytical framework based on five evaluation criteria:

1. *Institutionalization level* – presence of formal governance structures;
2. *Financing structure* – diversity and stability of funding sources;
3. *Coordination intensity* – frequency and depth of interaction between actors;
4. *Economic integration* – degree of value chain linkage across regions;
5. *Scalability* – potential for replication and expansion.

Each case was qualitatively assessed against these criteria using a three-level scale (low, medium, high).

Results and discussion

Case studies of successful interregional projects

West Siberian Interregional Research and Education Center

The West Siberian Research and Education Center became one of the first interregional research and education centers in Russia, created within the framework of the national project "Science and Universities". The initiative came from Tyumen Oblast, which proposed to combine the potential of three constituent entities: Tyumen Oblast, Khanty-Mansi Autonomous Okrug Yugra, and Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. **Governance mechanisms** include a specialized governing council with representatives of all participating regions, a project office coordinating the implementation of scientific and technological projects, and co-financing from the budgets of three regions and federal grants. **Success factors** are the political will of the governor of Tyumen Oblast, complementarity of competencies (scientific potential of Tyumen, resource base of the Okrugs), a clear applied task (introduction of innovations into the real sector), and support from the federal center.

Oil and Gas Cluster of Tyumen Oblast

The Oil and Gas Cluster is a unique example of horizontal cooperation, uniting companies from 26 regions of Russia[7]. The cluster is focused on import substitution and technological development of the fuel and energy complex. **Governance mechanisms** include a specialized organization ("Oil and Gas Cluster" Association), project management with the formation of technological chains from enterprises of different regions, a product marking and certification system, and working groups on key technological areas. **Success factors** are reliance on the established specialization of the region in the oil and gas

[5] Национальные проекты РФ (2025) Поморские предприниматели приняли участие в межрегиональной бизнес-миссии. [online] Available at: https://национальныепроекты.рф/news/pomorskie-predprinimateli-prinyali-uchastie-v-mezhregionalnoy-biznes-missii/?ysclid=mtscix-uoa2168758888 [Accessed 08.09.2026].

[6] Союз «Торгово-промышленная палата Архангельской области» (2026) Ярославль и Архангельск наладили мост для бизнес-кооперации. [online] Available at: https://arkhangelsk.tpprf.ru/ru/news/593684/?ysclid=mtsdz0x4l7164162143 [Accessed 08.09.2026].

[7] 72.ru (2025) «Выбираем кооперацию». В Тюмени обсудили пути развития региона. [online] Available at: https://72.ru/text/business/2025/11/12/76117155/?ysclid=mtscgw0bq872945472 [Accessed 08.09.2026].

sector, involvement of large customers (state corporations, vertically integrated oil companies), and the ability to offer small and medium-sized enterprises access to the markets of large businesses.

Interregional Cluster for Nuclear Power Engineering

In 2025, Kaluga Oblast initiated the creation of an interregional industrial cluster for nuclear power engineering. The project passed the pre-defense within the framework of the methodological program of the Ministry of Industry and Trade of Russia "PROCLUSTERS" and received high expert assessment. **Governance mechanisms** include anchor participants (Kaluga Plant of Nuclear Power Engineering, Kaluga Turbine Plant, Power Machines, Vorotynsky Energy Repair Plant, Elektrostal Manufacturing and Trading Company), clear specialization (development and production of turbines with a capacity of 4 to 60 MW, modernization of existing installations), coordination through the Agency for Innovative Development of Kaluga Oblast, and participation in the federal program for cluster support. **Success factors** are the high level of elaboration of the project and import substitution, the presence of recognized competencies in nuclear engineering in the region, and support from the federal ministry.

Subcontracting projects between the Chambers of Commerce and Industry of Arkhangelsk and Yaroslavl oblasts

In January 2026, a project for the development of subcontracting projects between the Chambers of Commerce and trade of Arkhangelsk and Yaroslavl Oblasts was launched. The initiative was supported by the "National Partnership for the Development of Subcontracting" Association. **Governance mechanisms** include the use of subcontracting and engineering exchanges as platforms for finding partners, organization of specialized negotiations between customers and suppliers, inclusion of enterprises in economic missions, and methodological support from a specialized association. **Success factors** are solving a specific problem of enterprises (unreasonably expensive import of components in the presence of Russian analogues), business interest in reducing costs and simplifying logistics, and the active role of development institutions.

Identification of organizational models

Based on the analysis of the cases, three basic models for organizing interregional interaction can be identified (Fig. 1):

1. *Institutional model* (creation of a specialized organization with a legal entity, budget, and staff).

1. Advantages: transparency, stability, a single center of responsibility, accumulation of resources.

2. Disadvantages: bureaucratization, difficulty of exit, dependence on founders.

Examples: Oil and Gas Cluster of Tyumen Oblast, West Siberian Interregional Research and Education Center.

2. *Coordination model* (council or committee without formation of a legal entity, cooperation agreements).

1. Advantages: ease of launch, flexibility, preservation of autonomy.

2. Disadvantages: dependence on the goodwill of participants, difficulty of control.

Example: early stages of cluster projects.

3. *Network model* (exchange) (digital platforms, subcontracting exchanges, regular events).

1. Advantages: low entry threshold, focus on specific transactions, scalability.

2. Disadvantages: superficiality of contacts, weak institutionalization.

Example: Subcontracting cooperation initiatives between the Chambers of Commerce and Industry of Arkhangelsk and Yaroslavl Oblasts.

4. *Hybrid model* (combination of institutional, coordination, and network mechanisms, with a formal coordinating structure complemented by flexible digital and project-based interaction).

1. Advantages: combination of institutional stability and network flexibility, diversification of funding and resources, adaptability to different types of projects, stronger coordination while preserving the autonomy of participants.

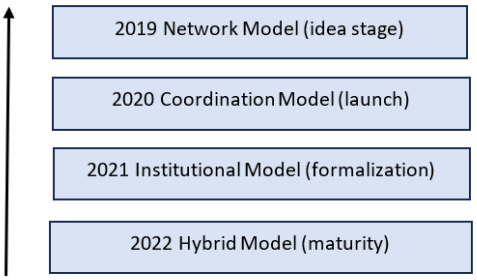


Fig. 1. Organizational models of interregional interaction

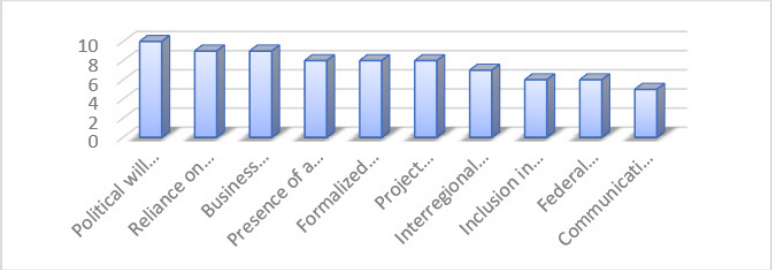


Fig. 2. Success factors of interregional projects

2. Disadvantages: greater organizational complexity, potential overlap of responsibilities, higher coordination costs, and the risk of conflicts between formal and informal mechanisms.

Example: interregional development initiatives combining a formal coordinating organization or council with project-based cooperation, digital platforms, and regular interaction among regional authorities, universities, businesses, and development institutions.

Analysis of the cases shows that the most sustainable projects combine elements of different models. For example, the West Siberian Research and Education Center has institutional formalization but is coordinated through a council of participants. The Oil and Gas Cluster of Tyumen Oblast, being an association, actively uses network mechanisms of enterprise interaction.

Financing mechanisms

The analysis identified three main sources of financing for interregional projects:

1) federal funds (grants within national projects, subsidies from the Ministry of Industry and Trade for clusters included in the register);

2) regional budgets (shared participation of participating regions);

3) business funds (investments of participating companies in joint projects).

Success factors

The Republic of Bashkortostan, which topped the cluster development rating, received 140 million rubles of federal funding in 2024 (40% of all funds allocated in Russia). A key success factor is the diversification of sources, which reduces dependence on any single channel and increases project sustainability.

Based on a comparative analysis of the cases, the following key success factors can be identified:

• *Institutional factors*: presence of a project office or specialized structure; formalized financing mechanisms; inclusion in federal registers and programs (e.g., inclusion in the register of clusters of the Ministry of Industry and Trade opens access to resources and increases attractiveness for participants).

• *Political factors*: political will of regional leaders; interregional coordination of interests; support from the federal center.

• *Economic factors*: reliance on established specialization; business involvement; focus on import substitution and technological sovereignty.

• *Organizational factors*: project approach; development of communications (regular events, contact exchanges, digital platforms); monitoring and evaluation.

As noted by the Governor of Tyumen Oblast Alexander Moor, "Cooperation allows regions and businesses, and therefore the country as a whole, to make the most efficient use of the limited resources we have: qualified personnel, money, and time"[8]. The analysis confirms that the most successful projects are those initiated "from below" (by regions and businesses) but supported "from above" (federal resources and status).

Impact of interregional cooperation on spatial differentiation

The analysis demonstrates that interregional cooperation contributes to reducing spatial differentiation through three main channels.

First, cooperation enhances technological diffusion. Regions with lower innovation capacity benefit from access to advanced technologies and research infrastructure located in more developed regions. This supports findings from international studies on innovation networks [5, 6, 16, 21, 24].

Second, cooperation improves resource allocation efficiency. By linking complementary regional economies, cooperation reduces duplication of investments and allows for specialization based on comparative advantages [17–21].

Third, cooperation strengthens economic resilience. Regions integrated into interregional networks are less vulnerable to external shocks, as they can rely on diversified economic linkages.

However, the results also indicate that the impact is not automatic. Without strong governance structures, cooperation may remain symbolic and fail to produce measurable outcomes.

Table 1. Comparative analysis of interregional projects

Project	Institutionalization	Financing	Integration	Scalability
West Siberian Interregional Research and Education Center	High	High	High	High
Oil and Gas Cluster of Tyumen Oblast	High	High	High	Medium
Interregional Cluster for Nuclear Power Engineering	Medium	Medium	High	High
Subcontracting projects between the Chambers of Commerce and Industry of Arkhangelsk and Yaroslavl oblasts	Low	Low	Medium	High

Conclusion

The conducted analysis has confirmed that interregional cooperation can serve as an effective tool for reducing spatial differentiation, provided that adequate governance mechanisms are applied. Successful projects demonstrate a combination of institutional formalization, diversified financing, political support, and business involvement.

The key findings of the study are:

1. *Three organizational models* of interregional cooperation have been identified: institutional (creation of a specialized organization), coordination (council without a legal entity), and network (subcontracting exchange), each with its own advantages and risks. The most sustainable are hybrid forms that combine elements of different models.

[8] 72.ru (2025) «Выбираем кооперацию». В Тюмени обсудили пути развития региона. [online] Available at: https://72.ru/text/business/2025/11/12/76117155/?ysclid=mtscgw0bq872945472 [Accessed 08.09.2026].

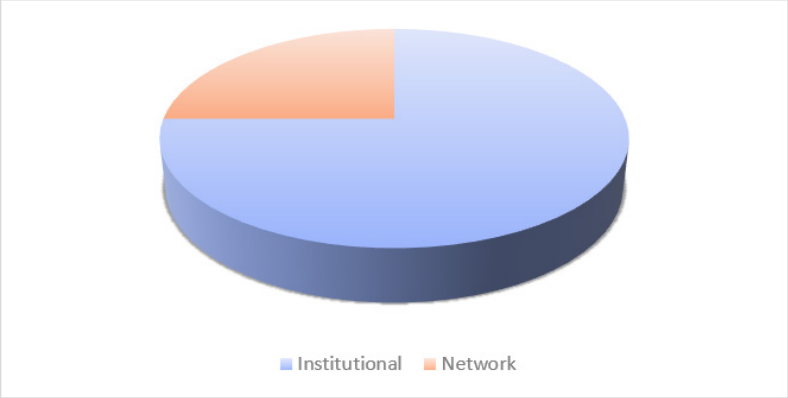


Fig. 3. Distribution of projects by cooperation model

2. *Diversified financing* (federal, regional, and business funds) is a critical condition for sustainability, reducing dependence on a single source and increasing the resilience of projects.

3. *Presence of a project office* or specialized coordination structure is an institutional success factor that ensures continuity, transparency, and accountability of interaction.

4. *Political will of regional leaders* and their personal involvement are a critical driving force for the launch and sustainability of interregional projects.

5. *Reliance on established specialization* and the involvement of large anchor businesses are economic factors that ensure the market foundation of cooperation.

The main conclusion is the need for a project approach to interregional interaction: not declarations of intent, but specific projects with measurable results, creating real value chains and providing a synergistic effect for participants. The greatest potential today is demonstrated by projects in areas critical to technological sovereignty – fuel and energy, nuclear engineering, science and education.

The practical value of the results lies in the possibility of using the proposed models and success factors in the design of new interregional initiatives and the improvement of state support instruments for spatial development.

The limitations of the study are related to the focus on successful cases, which requires further analysis of unsuccessful projects to identify barriers and risks. The long-term effects of cooperation on the dynamics of interregional inequality remain insufficiently studied.

Directions for further research

Future research should be directed towards:

1. Analysis of unsuccessful interregional projects to identify barriers, risks, and failure factors that may be more informative for policy design than the analysis of successes alone.

2. Assessment of the long-term effects of cooperation on the dynamics of interregional inequality, including the impact on the growth rates of GRP, investment activity, and the level of per capita income of participating regions.

3. Study of the possibilities of international cooperation in new geopolitical conditions, including the development of ties with the BRICS countries and the countries of the Global South.

4. Development of methods for quantitative assessment of the effectiveness of interregional projects, including the construction of indices of cooperation activity and the assessment of their impact on the integral indicators of regional development.

5. Investigation of the role of digital platforms in scaling up the network model to a large number of participants, including the study of the effectiveness of subcontracting exchanges and other forms of digital interaction.

Practical implications for regional policy

The findings of this study have direct implications for policymakers.

First, regional policy should shift from isolated interventions toward project-based interregional initiatives.

Second, governments should prioritize the creation of institutional platforms that facilitate cooperation, such as cluster organizations and project offices.

Third, financing mechanisms must be designed to encourage private sector participation, ensuring long-term sustainability.

Fourth, digital tools and platforms should be used to scale network-based cooperation models.

Finally, monitoring systems should be implemented to assess the effectiveness of cooperation initiatives and adjust policies accordingly.

REFERENCES

1. Cooke P. (1992) Regional innovation systems: Competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, 23 (3), 365–382. DOI: 10.1016/0016-7185(92)90048-9

2. Fritsch M. (2001) Co-operation in regional innovation systems. *Regional Studies*, 35 (4), 297–307. DOI: 10.1080/00343400124434

3. Cooke P. (2001) Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy. *Industrial and Corporate Change*, 10 (4), 945–974. DOI: 10.1093/icc/10.4.945

4. Cooke P. (2002) Regional innovation systems: General findings and some new evidence from biotechnology clusters. The Journal of Technology Transfer, 27 (1), 133–145. DOI: 10.1023/A:1013160923450

5. Asheim B.T., Coenen L. (2006) Contextualising regional innovation systems in a globalising learning economy: On knowledge bases and institutional frameworks. *The Journal of Technology Transfer*, 31, 163–173. DOI: 10.1007/s10961-005-5028-0

6. Trippl M. (2010) Developing cross-border regional innovation systems: Key factors and challenges. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 101 (2), 150–160. DOI: 10.1111/j.1467-9663.2009.00522.x

7. Belousov D.R., Apokin A.Iu., Sukhareva I.O., Frolov A.S. (2012) *Dolgosrochnoe prognozirovanie sotsial'no-ekonomicheskogo i nauchno-tekhnologicheskogo razvitiia Rossii: metodologiia* [*Long-term forecasting of Russia's socio-economic and scientific-technological development: methodology*], Moscow: MAKS Press.

8. Karavaeva T.I., Komkova M.S., Burkov A.S., Klimanov V.V., Mikhailova A.A., IAgovkina V.A., Fedorov I.I. (2023) *Ob"ediniaia vozmozhnosti. Mezhmunitsipal'nye i mezhregional'nye proekty v aglomeratsiiakh i ne tol'ko* [*Combining capabilities. Inter-municipal and inter-regional projects in agglomerations and beyond*], Moscow: Fond "Tsentr strategicheskikh razrabotok" (TsSR).

9. Kobzev V.V., Babkin A.V., Skorobogatov A.S. (2022) Digital transformation of industrial enterprises in the new reality. *π-Economy*, 15 (5), 7–27. DOI: 10.18721/JE.15501

10. Kuznetsova O.V. (2022) Development of municipal issues in the state spatial policy of Russia. *Regional Research*, 2, 16–24.

11. Asheim B.T., Lawton Smith H., Oughton C. (2011) Regional innovation systems: Theory, empirics and policy. *Regional Studies*, 45 (7), 875–891. DOI: 10.1080/00343404.2011.596701

12. Rodríguez-Pose A. (2013) Do institutions matter for regional development? *Regional Studies*, 47 (7), 1034–1047. DOI: 10.1080/00343404.2012.748978

13. Barca F., McCann P., Rodríguez-Pose A. (2012) The case for regional development intervention: Place-based versus place-neutral approaches. *Journal of Regional Science*, 52 (1), 134–152. DOI: 10.1111/j.1467-9787.2011.00756.x

14. Zubarevich N.V. (2010) *Regiony Rossii: neravenstvo, krizis, modernizatsiiam* [*Russia's Regions: Inequality, Crisis, Modernization. Moscow: Independent Institute for Social Policy*], Moscow: Nezavisimyi institut sotsial'noi politiki.

15. Zubarevich N.V. (2019) Spatial development Strategy: Priorities and instruments. *Voprosy Ekonomiki*, 1, 135–145. DOI: 10.32609/0042-8736-2019-1-135-145

16. Boschma R. (2005) Proximity and innovation: A critical assessment. *Regional Studies*, 39 (1), 61–74. DOI: 10.1080/0034340052000320887

17. Boschma R., Iammarino S. (2009) Related variety, trade linkages, and regional growth in Italy. *Economic Geography*, 85 (3), 289–311. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2009.01034.x

18. Boschma R., Minondo A., Navarro M. (2012) Related variety and regional growth in Spain. *Papers in Regional Science*, 91 (2), 241–257. DOI: 10.1111/j.1435-5957.2011.00387.x

19. Boschma R. (2017) Relatedness as a driver of regional diversification: A research agenda. *Regional Studies*, 51 (3), 351–364. DOI: 10.1080/00343404.2016.1254767

20. Neffke F., Henning M., Boschma R. (2011) How do regions diversify over time? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions. *Economic Geography*, 87 (3), 237–265. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2011.01121.x

21. Balland P.-A., Boschma R. (2021) Complementary interregional linkages and smart specialisation: An empirical study on European regions. *Regional Studies*, 55 (6), 1059–1070. DOI: 10.1080/00343404.2020.1861240

22. McCann P., Ortega-Argilés R. (2015) Smart specialization, regional growth and applications to European Union cohesion policy. *Regional Studies*, 49 (8), 1291–1302. DOI: 10.1080/00343404.2013.799769

23. Trippl M., Zukauskaite E., Healy A. (2020) Shaping smart specialization: The role of place-specific factors in advanced, intermediate and less-developed European regions. *Regional Studies*, 54 (10), 1328–1340. DOI: 10.1080/00343404.2019.1582763

24. Makkonen T., Weidenfeld A., Williams A.M. (2017) Cross-Border Regional Innovation System Integration: An Analytical Framework. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 108 (6), 805–820. DOI: 10.1111/tesg.12223

25. Derudder B., Liu X. (2025) Cross-border regional innovation systems: Concepts, approaches and perspectives. *Regional Studies*, 59 (1), art. no. 2418704. DOI: 10.1080/00343404.2024.2418704

26. Shaheen I., Brakman S., Canello J., Garretsen H. (2025) Globalisation in flux: Examining the role of inter-regional linkages in building regional resilience. *Regional Studies, Regional Science*, 12 (1), 943–962. DOI: 10.1080/21681376.2025.2581470

27. Pike A., Dawley S., Tomaney J. (2010) Resilience, adaptation and adaptability. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3 (1), 59–70. DOI: 10.1093/cjres/rsq001

28. Boschma R. (2015) Towards an evolutionary perspective on regional resilience. *Regional Studies*, 49 (5), 733–751. DOI: 10.1080/00343404.2014.959481

29. Oshchepkov A., Lehmann H., Silvagni M.G. (2023) Regional convergence in Russia: Estimating an augmented Solow model. *Economic Systems*, 47 (4), art. no. 101128. DOI: 10.1016/j.ecosys.2023.101128

30. Taymaz E. (2022) Regional convergence or polarization: The case of the Russian Federation. *Regional Research of Russia*, 12, 469–482. DOI: 10.1134/S2079970522700198

31. Zubarevich N.V., Safronov S.G. (2024) Interregional inequality in Russia and Post-Soviet countries in the 21st century. *Regional Research of Russia*, 14, 513–524. DOI: 10.1134/S2079970524600537

32. Fedorov L. (2002) Regional Inequality and Regional Polarization in Russia, 1990–99. *World Development*, 30 (3), 443–456. DOI: 10.1016/S0305-750X(01)00124-3

33. Rodríguez-Pose A., Crescenzi R. (2008) Research and development, spillovers, innovation systems, and the genesis of regional growth in Europe. *Regional Studies*, 42 (1), 51–67. DOI: 10.1080/00343400701654186

34. Balland P.-A., Rigby D. (2017). The geography of complex knowledge. *Economic Geography*, 93 (1), 1–23. DOI: 10.1080/00130095.2016.1205947

35. Deegan J., Broekel T., Haus-Reve S., Fitjar R.D. (2024) How regions diversify into new jobs: From related industries or related occupations? *Regional Studies*, 58 (11), 1965–1980. DOI: 10.1080/00343404.2024.2335265

INFORMATION ABOUT AUTHORS / СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МВАМБА Мартин
E-mail: mwambasr@gmail.com
MWAMBA Martin
E-mail: mwambasr@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-1213-0836

Поступила: 04.05.2025; Одобрена: 17.07.2026; Принята: 20.07.2026.
Submitted: 04.05.2025; Approved: 17.07.2026; Accepted: 20.07.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 114–136.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 114–136.

Управление инновациями
Innovations management

Научная статья
УДК 658
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19407
EDN: https://elibrary/RDCLZK

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОЦЕНКА ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.В. Шкарупета[1,2], С.П. Кирильчук[3], Е.В. Наливайченко[3], П.А. Михайлов[1] ✉

[1] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация;

[2] Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация;

[3] Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

✉ pavel-mixailov1999@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам инновационного развития высокотехнологичной промышленности и оценке цифровой зрелости экономических систем. Целью исследования является разработка теоретических и прикладных подходов к оценке эффективности высокотехнологичной промышленности на основе методов экономики инноваций и машинного обучения в контексте анализа и повышения цифровой зрелости предприятий и экосистем. Использованы методы системного анализа, экономико-статистического анализа (включая анализ динамики валового регионального продукта, производительности труда и инновационной активности), методы оценки эффективности цифровых активов (LTV, CAC), а также структурное моделирование бизнес-процессов. В статье исследуется эволюция подходов к управлению инновациями в промышленности на примере Республики Крым. В первой части работы проведен анализ текущего состояния высокотехнологичного сектора региона с применением метрик экономики данных, выявлен разрыв в уровне цифровой зрелости между крымскими предприятиями и общероссийскими лидерами. Во второй части исследования рассмотрены архитектуры построения предиктивных систем ценообразования и моделей децентрализованного взаимодействия (Web3). Установлено, что ключевым барьером остается низкий уровень валовой добавленной стоимости в наукоемких отраслях при одновременном росте инвестиций в основной капитал. Показано, что точечное внедрение алгоритмов машинного обучения в управление запасами и логистикой способно увеличить операционную эффективность на 12–15% без значительных капитальных затрат. Разработана и обоснована модифицированная система сбалансированных показателей (Digital BSC), адаптированная для оценки цифровой зрелости промышленных предприятий региона. Предложена методика оценки цифровой зрелости экосистемы с учетом коэволюционных процессов. Предложенная система Digital BSC, включающая наряду с финансовыми результатами метрики качества данных (Data Quality Index, DQI) и инновационной восприимчивости персонала, позволяет количественно оценить уровень цифровой зрелости и идентифицировать «узкие места» в управлении данными. Обоснована необходимость перехода от экстенсивной цифровизации к целенаправленному развитию компетенций в области Data Science и промышленного дизайна как основы для повышения цифровой зрелости экосистем. Для промышленности Крыма проведена декомпозиция инновационных процессов на уровне «данные → прогноз →

© Шкарупета Е.В., Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В., Михайлов П.А., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

решение», выявлены диспропорции в структуре инвестирования в НИОКР и предложен механизм «цифрового двойника» регионального промышленного комплекса для тестирования мер государственной поддержки.

Ключевые слова: экономика инноваций, промышленность, машинное обучение, искусственный интеллект, цифровая трансформация, цифровая зрелость, экономика данных, Web3

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках реализации проекта «Стратегическое управление интеллектуальной зрелостью промышленных экосистем в условиях экономики данных: методология, фреймворк, инструментарий» (Соглашение №25-18-00978; https://rscf.ru/project/25-18-00978/).

Для цитирования: Шкарупета Е.В., Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В., Михайлов П.А. (2026) Инновационное развитие высокотехнологичной промышленности и оценка цифровой зрелости экономических систем. π-Economy, 19 (4), 114–136. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19407

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19407

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF HIGH-TECH INDUSTRY AND ASSESSMENT OF THE DIGITAL MATURITY OF ECONOMIC SYSTEMS

E.V. Shkarupeta[1,2], S.P. Kirilchuk[3], E.V. Nalivaichenko[3], P.A. Mikhailov[1] ✉

[1] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation;

[2] Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation;

[3] V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

✉ pavel-mixailov1999@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the issues of innovative development of high-tech industry and assessment of digital maturity of economic systems. The aim of the research is to develop theoretical and applied approaches to assessing the effectiveness of high-tech industry based on the methods of innovation economics and machine learning (ML) in the context of analyzing and increasing the digital maturity of enterprises and ecosystems. Methods of system analysis, economic and statistical analysis (including analysis of GRP dynamics, labor productivity and innovation activity), methods for evaluating the effectiveness of digital assets (LTV, CAC), as well as structural modeling of business processes were used. The article examines the evolution of approaches to innovation management in industry using the example of the Republic of Crimea. In the first part of the work, an analysis of the current state of the region's high-tech sector was carried out using data economy metrics, and a gap in the level of digital maturity between Crimean enterprises and all-Russian leaders was revealed. The second part of the study examines the architectures of predictive pricing systems and models of decentralized interaction (Web3). It has been established that the key barrier remains the low level of gross value added in knowledge-intensive industries, while investments in fixed assets are growing. It is shown that the targeted implementation of ML algorithms in inventory and logistics management can increase operational efficiency by 12–15% without significant capital costs. A modified balanced scorecard (Digital BSC) has been developed and substantiated, adapted to assess the digital maturity of industrial enterprises in the region. A methodology for assessing the digital maturity of an ecosystem is proposed, taking into account coevolutionary processes. The proposed Digital BSC system, which includes, along with financial results, Data Quality Index and staff innovation sensitivity metrics, makes it possible to quantify the level of digital maturity and identify "bottlenecks" in data management. The necessity of the transition from extensive digitalization to the purposeful development of competencies in the field of Data Science and industrial design as a basis for increasing the digital maturity of ecosystems is substantiated. For the Crimean industry,

© Shkarupeta E.V., Kirilchuk S.P., Nalivaichenko E.V., Mikhailov P.A., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

a decomposition of innovation processes was carried out at the level of "data → forecast → solution", imbalances in the structure of investment in R&D were identified, and a mechanism for the "digital twin" of the regional industrial complex was proposed for testing government support measures.

Keywords: economics of innovation, industry, machine learning, artificial intelligence, digital transformation, digital maturity, data economics, Web3

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project "Strategic Management of Intellectual Maturity of Industrial Ecosystems in the Data Economy: Methodology, Framework, and Tools" (Agreement No. 25-18-00978; available online: https://rscf.ru/project/25-18-00978/).

Citation: Shkarupeta E.V., Kirilchuk S.P., Nalivaichenko E.V., Mikhailov P.A. (2026) Innovative development of high-tech industry and assessment of the digital maturity of economic systems. π-Economy, 19 (4), 114–136. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19407

Введение

Экономика инноваций в промышленности переживает фундаментальную трансформацию, связанную с переходом от линейных моделей «исследования → разработки → производство» к сетевым, динамическим экосистемам, управляемым данными [1]. Традиционные методы оценки эффективности, опирающиеся на показатели фондоотдачи или численности занятых, все чаще демонстрируют свою несостоятельность в контексте Индустрий 4.0 и 5.0 [2]. На смену им приходит экономика данных (Data Economics), где ключевым активом выступает информация, а конкурентное преимущество создается за счет скорости и точности прогнозирования [3].

Однако региональные промышленные комплексы, особенно такие, как в Республике Крым, сталкиваются с двойным вызовом: необходимостью одновременно модернизировать физическую инфраструктуру (третий и четвертый технологические уклады) и внедрять сквозные цифровые технологии, характерные для шестого технологического уклада [4]. Как показывают данные мониторинга ИСИЭЗ НИУ ВШЭ за 2025 г.[1], инновационно активные предприятия в России демонстрируют высокую «зрелость управления» (более 85% ведут планирование инноваций), но при этом главным риском остается дефицит квалифицированных кадров и современного отечественного программного обеспечения (ПО) [5].

Цель исследования: разработать теоретические и прикладные аспекты применения методов экономики инноваций и машинного обучения для оценки и повышения эффективности промышленных предприятий и экосистем региона в контексте анализа их цифровой зрелости.

Объект исследования: промышленный комплекс как субъект инновационной деятельности (на примере Республики Крым).

Предмет исследования: организационно-экономические отношения, возникающие в процессе цифровой трансформации промышленности, и методы их количественной оценки.

Задачи исследования:

1. Проанализировать текущее состояние инновационной активности в промышленности Крыма в контексте общероссийских трендов.

2. Систематизировать методы прогнозирования спроса и ценообразования на основе данных (Data-Driven Pricing).

3. Исследовать потенциал применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) и децентрализованных систем (Web3) для автоматизации бизнес-процессов.

4. Предложить адаптированную систему ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки цифровой фирмы.

[1] Абашкин В.Л., Абдрахманова Г.И., Вишневский К.О., Гохберг Л.М. и др. (2025) *Цифровая экономика: 2025*, краткий статистический сборник, М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2025. [online] Available at: https://newsletter.radensa.ru/wp-content/uploads/2024/12/ВШЭ_Цифровая-экономика_2025.pdf [Accessed 22.04.2026]. (in Russian)

5. Представить понятие цифровой зрелости предприятия и экосистемы, а также подход и методику оценки цифровой зрелости на основе концептуальной рамки в виде цифрового потенциала и цифрового форсайта. На примере рассмотренной промышленной экосистемы провести апробацию разработанной методики.

Литературный обзор

Теоретической базой исследования послужили работы по экономике инноваций и теории цифровой трансформации. Значительный вклад в понимание роли данных как актива внесли исследования зарубежных авторов о динамических возможностях фирм в цифровой среде [6]. Вопросы оценки человеческого капитала в условиях автоматизации рассматриваются в работах, посвященных влиянию цифровизации на рынок труда [7].

Особый интерес представляют эмпирические исследования последних лет. Согласно данным OECD, растет доля предприятий, вовлеченных в проекты повышения производительности труда, что стало следствием ускоренного внедрения технологий [8]. Как отмечается в работах по методологии оценки зрелости промышленных экосистем, значительная доля инновационных компаний уже использует технологии цифрового моделирования и виртуальных испытательных стендов, а также системы поддержки принятия решений на основе ИИ [9].

В зарубежной литературе активно развивается направление применения ИИ в промышленности (Industrial AI) и предиктивная аналитика (Predictive Analytics), использующая машинное обучение для прогнозирования будущих тенденций и результатов. Исследователи подчеркивают, что переход к Индустрии 5.0 означает не просто автоматизацию, а симбиоз человека и машины, где ценность создается через персонализацию и устойчивое развитие [10]. Методология оценки зрелости промышленных экосистем в рамках цифровизации предложена в работах, посвященных анализу внедрения цифровых технологий [11].

Исследования влияния цифровизации на рынок труда показывают, что автоматизация приводит к структурным сдвигам в занятости, требуя от работников новых компетенций [12]. В работах российских авторов анализируется динамика показателей трудового фактора во взаимосвязи со стратегическим развитием региональной экономики [13]. Проблемы формирования организационно-управленческого механизма развития регионального рынка труда в условиях цифровизации рассматриваются в современных исследованиях [14].

Анализ промышленной политики Республики Крым в контексте развития высокотехнологичных производств показывает наличие структурных диспропорций [15]. Индексная оценка развития информационной сферы в регионе свидетельствует о неравномерности цифровой трансформации отраслей [16].

Вопросы формирования кадрового потенциала для инновационного развития региона в рамках модели «тройной спирали» рассматриваются в работах, посвященных взаимодействию университетов, бизнеса и государства [17]. Цифровизация российского рынка труда и ее последствия анализируются в эмпирических исследованиях последних лет [18].

Проблемы формирования и реализации модели цифровой организации труда на промышленном предприятии, а также стратегии цифровой трансформации промышленных предприятий активно исследуются в современной российской экономической науке [19, 20]. Теоретические положения программирования стратегического развития промышленности в условиях формирования Индустрии 5.0 разработаны в трудах российских ученых [21].

Зарубежные исследования последних лет посвящены анализу ключевых факторов перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0 [22], а также будущему рынка труда за пределами эффективности и производительности [23]. Влияние ИИ на навыки сотрудников, профессиональное развитие и переподготовку в организациях анализируется в работах по организационной психологии и экономике труда [24]. Использование графов знаний для повышения эффективности интеллектуальных цифровых двойников рассматривается в технических исследованиях, имеющих важное

прикладное значение для промышленности [25]. Предпринимательские стратегии устойчивого роста в контексте облачных технологий анализируются в работах по инновационному предпринимательству [26].

Отдельный блок исследований посвящен проблеме оценки цифровой зрелости предприятий и отраслевых комплексов. В работах [11, 27, 28] предлагаются различные методики, основанные на анализе проникновения сквозных технологий, уровня автоматизации процессов и компетенций персонала. Обобщение этих подходов показывает, что для региональных промышленных систем, характеризующихся гетерогенностью технологических укладов, необходима адаптация существующих моделей зрелости с учетом отраслевой специфики и ограниченности ресурсов на цифровую трансформацию [29, 30].

Несмотря на обилие теоретических работ, остается пробел в адаптации сложных математических моделей (например, ансамблей деревьев или рекуррентных нейронных сетей) для региональных промышленных предприятий с ограниченными ресурсами и невысоким качеством исходных данных. Данная статья призвана восполнить этот пробел на примере Крыма [27–30].

Методы и материалы

Исследование базируется на данных Федеральной службы государственной статистики (Крымстат), на аналитических материалах, а также на результатах мониторинга инновационного поведения предприятий.

В работе использованы:

– методы эконометрического анализа для выявления корреляции между инвестициями в ИТ и ростом производительности труда;

– метод сравнительного анализа инновационной активности Крыма и среднероссийских показателей;

– метод моделирования бизнес-процессов для построения контура управления спросом и ценообразованием;

– методика оценки цифровых активов.

Статистическая база исследования охватывает период 2022–2025 гг. с прогнозными оценками.

Результаты и обсуждение

Анализ инновационной активности промышленности Крыма в контексте экономики данных

Экономика инноваций оперирует не только физическими объемами производства, но и такими нематериальными активами, как патенты, лицензии, ПО и компетенции [1, 4]. В Республике Крым, где традиционно развиты позиции пищевой промышленности и энергетики, доля высокотехнологичных отраслей в структуре ВРП остается низкой [15, 16].

Анализ данных[2] за 2022–2025 гг. (табл. 1) показывает противоречивую динамику. С одной стороны, наблюдаются рост числа высокопроизводительных рабочих мест и увеличение доли инновационной продукции в ВРП. С другой стороны, индекс производительности труда в промышленности имеет отрицательную динамику, что говорит об экстенсивном характере роста. Это указывает на то, что увеличение выпуска достигается преимущественно за счет занятости, а не технологической эффективности [27].

[2] Крымстат (2023) *Статистический ежегодник Республики Крым. 2022*. [online] Available at: https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Статистический%20ежегодник%20Республики%20Крым.%202022.pdf [Accessed 22.04.2026]. (in Russian); Крымстат (2024) *Статистический ежегодник Республики Крым. 2023*. [online] Available at: https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Статистический%20ежегодник%20Республики%20Крым.%202023.pdf [Accessed 22.04.2026]. (in Russian); Крымстат (2025) *Республика Крым в цифрах. 2024*. [online] Available at: https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Республика%20Крым%20в%20цифрах%202024(1).pdf [Accessed 22.04.2026]. (in Russian); *Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю*. [online] Available at: https://82.rosstat.gov.ru/ [Accessed 22.04.2026]. (in Russian)

Таблица 1. Показатели инновационного развития промышленности Крыма
Table 1. Indicators of the innovative development of the Crimean industry

Показатели	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г. (оценка)
Доля инновационной продукции в ВРП, %	19,0	20,9	23,0	25,3
Удельный вес прибыльных предприятий, %	68,5	61,3	62,9	64,5
Инвестиции в основной капитал, % к ВРП	32,7	32,4	33,3	38,9
Производительность труда, % к предыдущему году	98,8	97,0	99,1	100,0
Использование облачных технологий (кол-во предприятий)	2283	6121	7000	8005

Источник: составлено авторами по [16, 17, 19] на основе[3].

Примечателен рост использования облачных технологий и технологий больших данных (Big Data) – количество предприятий, их применяющих, к 2025 г. выросло в 3,5 раза. Это создает технологическую базу для внедрения более сложных алгоритмов машинного обучения [3, 26].

Однако, сравнивая Крым с общероссийскими лидерами инноваций, можно заметить отставание. Как отмечается в исследованиях [13, 21], уровень инновационной активности в лидирующих регионах существенно выше. Основная причина – структурные диспропорции и низкий спрос на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки со стороны крупного бизнеса [15, 20].

Прогнозирование спроса и динамическое ценообразование как драйверы эффективности

В условиях цифровой экономики переход от «реагирования» на спрос к его прогнозированию становится критическим фактором выживания. Традиционные методы (ARIMA) могут давать существенные сбои из-за нестабильности рынка (санкции, логистические сбои) и невозможности быстро адаптироваться к структурным сдвигам [8].

Для промышленных предприятий Крыма (производство стройматериалов, пищевая промышленность) наиболее перспективным представляется использование ансамблевых методов машинного обучения (Gradient Boosting) [8, 26]. Эти методы (XGBoost, LightGBM) позволяют:

1) учитывать сотни факторов: погоду, курс рубля, активность конкурентов;
2) обрабатывать пропуски в данных (что критично для региональной статистики);
3) обеспечивать интерпретируемость результатов («важность признаков») [9, 25].

Стратегия ценообразования на основе данных (Data-Driven Pricing) предполагает отказ от модели «издержки плюс» [3, 6]. Примером для Крыма может служить динамическое ценообразование в туристической индустрии, которая тесно связана с промпроизводством (сувениры, продукты питания). Внедрение алгоритмов, оценивающих ценовую эластичность в реальном времени, по оценкам экспертов, способно увеличить маржинальность на 5–10% без потери объема продаж [8, 26].

Для количественной оценки потенциального эффекта от внедрения машинного обучения в промышленности Крыма было проведено имитационное моделирование на основе данных трех предприятий пищевой, строительной и химической отраслей (2024–2025 гг.). Сравнение с базовым методом (экспоненциальное сглаживание) показало, что средняя абсолютная процентная ошибка (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) прогноза спроса на горизонте 4–6 недель снижается на 15–20% в зависимости от степени нестабильности внешних факторов (табл. 2). Основной вклад в точность вносят следующие признаки: курс рубля, сезонность и активность конкурентов в электронных тендерах.

[3] Там же.



Источник: составлено авторами.

Рис. 1. Цикл управления спросом и ценообразованием на основе машинного обучения

Fig. 1. Cycle of demand management and pricing based on machine learning

Таблица 2. Сравнение точности прогнозирования спроса (MAPE, %)
Table 2. Comparison of demand forecasting accuracy (MAPE, %)

Метод	Предприятие А (пищевое)	Предприятие Б (стройматериалы)	Предприятие В (химическое)
Экспоненциальное сглаживание	24,3%	31,7%	28,1%
Машинное обучение (XGBoost)	19,8%	25,1%	23,5%
Снижение ошибки	–18,5%	–20,8%	–16,4%

Источник: составлено авторами на основе данных предприятий и открытых источников.

На рис. 1 представлен цикл управления спросом, основанный на данных. Замкнутый контур «Сбор данных → ML-прогноз → Оптимизация цены → Мониторинг реакции» позволяет системе самообучаться и адаптироваться к рыночным изменениям [3, 9].

Интеграция ИИ, автоматизации и концепций Web3

Современный этап развития промышленности (Индустрия 5.0) характеризуется конвергенцией технологий [10, 22]. Если Индустрия 4.0 фокусировалась на «умных фабриках», то Индустрия 5.0 – на «человекоцентричности» и устойчивом развитии [2, 23].

Анализ данных Росстата и отраслевых обзоров показывает, что в России активно растет рынок промышленной роботизации [21]. Однако для Крыма приоритетом является не замена людей роботами (из-за социальной значимости занятости), а внедрение когнитивной автоматизации [19, 24].

Когнитивная автоматизация (Robotic Process Automation, RPA) с элементами компьютерного зрения и технологии обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) позволяет автоматизировать [24, 25]:

– ввод первичной документации (сканы накладных);

– контроль качества продукции (дефектоскопия на основе ИИ);

– взаимодействие с контролирующими органами (подача отчетности через программный интерфейс приложений (Application Programming Interface, API)).

Что касается Web3 – «Интернета владения» (децентрализованные реестры, токенизация), для Крыма это пока остается технологией отдаленного будущего. Однако потенциально возможны экспериментальные сценарии: использование смарт-контрактов для расчетов с контрагентами в рамках пилотных режимов или токенизация прав на результаты интеллектуальной деятельности (патенты, ноу-хау) [1, 22]. Как показывает опыт Татарстана, цифровизация процессов управления изобретениями (цифровой банк идей) позволяет сократить время от идеи до внедрения на 30% [17, 21].

Оценка эффективности цифровой фирмы: региональная специфика

Традиционные мультипликаторы (EV/EBITDA, ROE) плохо работают для компаний, находящихся в активной фазе цифровой трансформации, так как значительная часть прибыли реинвестируется в нематериальные активы [6, 11]. На основе обобщения подходов [9, 11] и рекомендаций ведущих исследователей [10, 23] предлагается внедрение модифицированной системы сбалансированных показателей (Digital Balanced Scorecard, Digital BSC) для промышленности Крыма (табл. 3).

Таблица 3. Ключевые показатели эффективности цифровой промышленной фирмы (Digital KPI)
Table 3. Key performance indicators of a digital industrial company (Digital KPI)

Проекция	Показатель (KPI)	Формула/Смысл
Финансы	LTV/CAC (Окупаемость привлечения клиента)	Показывает эффективность маркетинга в B2B-сегменте
	Доля выручки от цифровых услуг/продуктов	Уровень монетизации данных (АСУ ТП, телеметрия)
Клиенты	Цифровая доля рынка	Доля компании в поисковых запросах/тендерах онлайн
Процессы	Индекс автоматизации процессов	% операций, выполняемых RPA/API без участия человека
Инновации	Показатель количественной оценки качества данных	Полнота, актуальность и непротиворечивость данных в системе ПО бизнес-процессов

Источник: составлено авторами.

Из табл. 3 следуют ключевые показатели эффективности цифровой промышленной фирмы (Digital KPI):

1. Финансовая проекция: отношение пожизненной ценности клиента к стоимости его привлечения (LTV/CAC) [6]; доля выручки от цифровых продуктов и услуг [3, 26];

2. Клиентская проекция: цифровая доля рынка (доля компании в онлайн-пространстве, поисковых запросах, электронных тендерах) [12].

3. Проекция внутренних процессов: индекс автоматизации процессов (доля операций, выполняемых RPA/API без участия человека) [19, 24].

4. Проекция инноваций и обучения: индекс качества данных (Data Quality Index, DQI), оценивающий полноту, актуальность и непротиворечивость данных в корпоративных информационных системах [9, 25].

Внедрение предложенной системы Digital BSC на промышленных предприятиях позволяет не только оценить текущий уровень цифровой зрелости, но и идентифицировать «узкие места» в управлении данными и инновационной восприимчивости персонала. Это создает основу для формирования дорожной карты повышения цифровой зрелости как отдельного предприятия, так и промышленного комплекса региона в целом, позволяя перейти от точечной автоматизации к системному управлению на основе данных.

Для оценки эффективности инвестиций в данные целесообразно использовать метрику «возврат инвестиций в данные» (Return on Data Investment, RODI), которая рассчитывается как отношение прироста операционной прибыли, полученного за счет использования данных, к затратам на их сбор, очистку и хранение. Ориентировочное значение RODI для промышленных предприятий Крыма на начальном этапе цифровой трансформации может составлять 120–150%.

Как показывают исследования, 75% компаний оценивают эффективность цифровых решений комплексно [8, 26]. Это подтверждает, что в регионе назрела необходимость перехода от точечной автоматизации к управлению на основе больших данных [27–30].

Цифровая зрелость предприятий и экосистем высокотехнологичной промышленности

В настоящее время цифровая экономика перестала быть абстрактной концепцией будущего и стала важным направлением развития большинства государств. Ее суть заключается не просто в автоматизации отдельных процессов, а в фундаментальной смене модели создания стоимости. Если на начальных этапах цифровизация воспринималась как точечное внедрение информационных систем, то сегодня речь идет уже о формировании новой экономической парадигмы, где данные и информация становятся основным фактором производства наравне с трудом, капиталом и природными ресурсами [31, 32].

Ключевым технологическим фундаментом современной цифровой экономики выступают цифровые технологии, которые проникают во все отрасли и позволяют стирать границы между секторами экономики. Основы этого фундамента закладываются в рамках концепции Индустрии 4.0, которая рассматривает производство как интегрированную киберфизическую систему. Ее основу составляют такие технологии, как промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), объединяющий станки, датчики и логистические цепочки в единую сеть с возможностью обмена данными; технологии Big Data и продвинутой аналитики, позволяющие обрабатывать огромные массивы информации для оптимизации процессов и более эффективного прогнозирования; ИИ и машинное обучение, наделяющие системы способностью к автономному принятию решений без вмешательства человека; облачные вычисления, обеспечивающие распределенные мощности для хранения и обработки данных в реальном времени; а также аддитивное производство (3D-печать) и технологии виртуальной и дополненной реальности (VR/AR), меняющие подходы к процессу производства и обучения персонала. В совокупности эти цифровые технологии превращают традиционные заводы в «умные фабрики», где стирается грань между обменом информацией и процессом производства [33, 34].

Более того, сегодня все чаще поднимается вопрос о том, что одна лишь автоматизация не исчерпывают потенциал цифровой экономики и цифровых технологий – на смену Индустрии 4.0 приходит концепция Индустрии 5.0, дополняющая технологическую эффективность человекоцентричностью, устойчивостью и адаптивностью. Если Индустрия 4.0 ставила во главу угла эффективность и объединение машин, то Индустрия 5.0 возвращает в центр производства человека, превращая его из оператора и контроллера в полноценного участника. Ключевыми технологиями этого этапа становятся коллаборативные роботы (коботы), способные безопасно работать бок о бок с людьми и обучаться на их действиях; цифровые двойники, которые не просто отражают состояние объекта, а моделируют сценарии и взаимодействуют с реальным прототипом в обе стороны; зеленые цифровые технологии, встроенные в экономику замкнутого цикла (циркулярная экономика) и ряд других. Особенностью Индустрии 5.0 становится не

просто устранение межотраслевых границ, а формирование полноценных промышленных экосистем, где технологии служат не заменой человеку, а инструментом раскрытия его творческого и интеллектуального потенциала [35].

Развитие цифровых технологий создают различные эффекты на нескольких уровнях. Для компаний цифровые технологии позволяют значительно сократить издержки, снизить число ошибок, повысить гибкость и управляемость процессов, их прозрачность, скорость и качество принятия решений и многое другое. Постепенно формируются полноценные рынки данных, где полученные массивы информации становятся полноценным товаром, который можно оценивать, продавать и закладывать в основу новых бизнес-моделей. Появляется вопрос регулирования и защиты интеллектуальных прав и защиты персональных данных, проблемы кибербезопасности [36, 37].

Кроме того, происходит стремительный рост цифровых платформ – многосторонних площадок в рамках цифровой среды, связывающих производителей и потребителей напрямую и извлекающих прибыль из сетевых эффектов. Платформенная экономика уже доминирует в розничной торговле, медиа, финансовом секторе и гостиничном бизнесе, а также активно расширяется в сферы здравоохранение, образование и строительство [38].

Происходит развитие в том числе организационных форм экономических агентов. Традиционное предприятие строилось как вертикально интегрированная иерархия с жесткими границами, линейными цепочками поставок и внутренней оптимизацией издержек. Первым шагом развития цифровой экономики стало появление цифровых предприятий, в которых цифровые технологии Индустрии 4.0 – IIoT, большие данные, облачные вычисления, цифровые двойники – преобразуют внутренние процессы в гибкие, прозрачные и способные к быстрой перенастройке под новые условия рынка.

Однако существенное развитие произошло с выходом за пределы отдельной фирмы и предприятия: постепенно вокруг цифровых платформ начали формироваться промышленные экосистемы – устойчивые сети независимых экономических участников (производителей, разработчиков, сервисных компаний, логистических операторов), объединенных общей технологической средой и совместно создающих комплексную ценность для конечного потребителя. Отдельный акцент при таком формате взаимодействия делается на добровольном характере взаимодействия и взаимовыгодных отношениях для всех участников, при этом конкуренция переносится с уровня отдельных продуктов на уровень экосистемных предложений, а ключевым активом становятся также данные и сетевые эффекты, а не только физическая инфраструктура [39].

Дальнейший переход к концепции Индустрии 5.0 ведет к становлению интеллектуальных промышленных экосистем. Их отличает способность к автономному саморегулированию на основе ИИ: алгоритмы не только оптимизируют цепочки поставок в реальном времени, но и прогнозируют системные сбои, перераспределяют ресурсы без участия человека и адаптируют продукцию под персонализированные запросы. При этом, как уже отмечалось ранее, в центр экосистемы возвращается человек – как носитель уникальных знаний и творческих навыков [40].

Усложнение форм организации производства – от традиционных предприятий к цифровым, а от них – к промышленным экосистемам – и одновременно с тем все большее проникновение и развитие цифровых технологий переводят цифровизацию и цифровую трансформацию из разовых проектов в непрерывный стратегический процесс. На ранних этапах цифровизации было достаточно зафиксировать сам факт наличия информационной системы или автоматизированного процесса, но теперь подобной оценки недостаточно. Появилась необходимость учета наличия у сотрудников нужных цифровых компетенций, развитость ИТ-отдела и наличие нужных цифровых технологий, наличие подходящей инфраструктуры, финансовых ресурсов и многое другое. Для промышленных экосистем необходимо также учитывать особенности подобного формата взаимодействия, наличия сетевых эффектов.

Возникает вопрос, каким образом можно оценить готовность предприятия и экосистемы к внедрению цифровых технологий? Какие направления будут затрагиваться для проведения этих изменений? Все это говорит о необходимости проводить оценку уровня внедрения цифровых технологий на предприятиях и экосистемах.

Ответом на данный вопрос является рассмотрение понятия цифровой зрелости. В широком смысле цифровая зрелость представляет собой комплексную характеристику, отражающую не только текущий уровень технологической оснащенности предприятия или экосистемы, но и способность организации или экосистемы системно управлять изменениями, извлекать экономическую ценность из данных и адаптировать свою бизнес-модель к условиям цифровой экономики.

Рассмотрим существующие подходы авторов к понятию цифровой зрелости:

Так, А.А. Афанасьев сформировал следующее определение: «Цифровая зрелость – это интегральная характеристика способности промышленного производства функционировать в цифровой среде с высоким уровнем гибкости, адаптивности и операционной эффективности» [41].

Здесь основной акцент делается на комплексный характер оценки цифровой зрелости, а также на основные привносимые цифровыми технологиями преимущества, которые и необходимо оценить – повышение эффективности, гибкости процессов и т.д.

К.К. Капустин и Л.А. Ильина формируют следующий подход к цифровой зрелости: «Цифровая зрелость представляет собой комплексный показатель, отражающий способность организации адаптироваться к современным изменениям и эффективно использовать инновационные технологии. Этот показатель характеризуется рядом ключевых элементов, включая стратегию, организацию, людей, технологии и данные, которые в совокупности обеспечивают целостность цифровой трансформации» [42].

Автор подчеркивает важность учета эффективности инноваций при оценке цифровой зрелости, что достигается путем внедрения цифровых технологий Индустрии 4.0. При этом серьезное внимание уделяется также и другим направления развития предприятия, включая его стратегию и организацию деятельности.

Интересен также подход А.Д. Соболева, который использует следующее определение: «Цифровая зрелость представляет собой совокупность показателей по трем основным блокам: социальной зрелости компании – анализа внешней и внутренней среды предприятия, финансовой зрелости – эффективности использования финансовых ресурсов, а также зрелости бизнес-процессов, отражающей оценку цифровизации бизнес-процессов предприятия» [43].

Соболев подчеркивает важность оценки не только внутренней среды предприятия, ее активов и инфраструктуры, но также и внешней среды – взаимодействие с внешними участниками, уровень их интеграции на платформу и прочее. Не меньшее внимание уделяется финансовой составляющей, которая обеспечивает возможность внедрения цифровых технологий и поддержание их дальнейшей работоспособности.

Таким образом, комплексное определение цифровой зрелости имеет следующий вид: «Цифровая зрелость предприятия – это оцениваемые степень цифровой трансформации направлений деятельности предприятия, приспособленности цифровой инфраструктуры к внедрению цифровых решений, а также уровень цифровых компетенций сотрудников предприятия и совершенство системы управления цифровой трансформацией, в том числе на базе сравнения с лучшими международными практиками» [44].

В таком случае под цифровой зрелостью экосистемы можно понимать «свойство экосистемы, которое отражает уровень ее технологической, инфраструктурной и архитектурной цифровизации и оценивается с помощью комплексного показателя, отражающего способности и возможности всех участников экосистемы (предприятий, научных организаций, производственных

комплексов) эффективно использовать ее потенциал и цифровые технологии, включая получение симбиотических, коэволюционных и синергетических эффектов от взаимодействия»[40].

Данный подход позволяет рассматривать цифровую зрелость как комплексную оценку предприятия или экосистемы, отражающую степень интеграции цифровых технологий в деятельность участников и текущее состояние технологического развития системы в целом. Это позволяет модифицировать критерии оценки под конкретную специфику, обеспечивать базу для сравнительного анализа различных предприятий и экосистем, применять методику к организациям любого формата и отраслевой принадлежности.

Оценку цифровой зрелости предприятия или экосистемы можно свети к нескольким основным принципам:

Принцип 1. Многофакторность. Цифровая зрелость не сводится к уровню автоматизации и парку оборудования. Она оценивается по ряду направлений, которые более подробно описываются далее. В целом их можно свети к следующим пунктам:

- стратегия и культура – наличие цифрового видения, лидерство, готовность персонала к изменениям;
- технологии и инфраструктура – охват интернетом вещей, облачными сервисами, ИИ-решениями, цифровыми двойниками;
- данные и аналитика – зрелость управления данными, способность к предиктивной аналитике и принятию решений на основе данных;
- экосистемные взаимодействия (дополнительное измерение для экосистем) – интенсивность обмена данными, наличие единых стандартов, уровень доверия и взаимодействия между участниками.

Принцип 2. Уровневая шкала. Цифровая зрелость (ЦЗ) описывается не по критерию «есть/нет», а по эволюционной шкале, адаптированной для предприятий и экосистем. Например, ее можно представить в таком виде:

ЦЗ $\geq$ 0,75 – очень высокий уровень цифровой зрелости;

0,50 $\leq$ ЦЗ $\leq$ 0,74 – средний/высокий уровень цифровой зрелости;

0,25 $\leq$ ЦЗ $\leq$ 0,49 – низкий / ниже среднего уровень цифровой зрелости;

ЦЗ $\leq$ 0,25 – практически полное отсутствие цифровой зрелости.

Принцип 3. Адаптивность. Для экосистемы цифровая зрелость не равна сумме цифровой зрелости отдельных участников. При ее рассмотрении вводится дополнительный субпотенциал, учитывающий уровень взаимодействия между участниками экосистемы, наличие единой платформы, обмен данными и информацией, синергетический эффект от сетевого взаимодействия и прочее.

Рассмотрим методику оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы в виде ряда основных этапов ее реализации [45].

1) **Определение понятия и сущности цифровой зрелости предприятия/экосистемы**

Оценка цифровой зрелости предприятия – это оценка состояния его подсистем/элементов, уровень которого обеспечивает возможность эффективного функционирования в условиях цифровой экономики, применения цифровых технологий в бизнес-процессах в обеспечение достижения своих стратегических целей. Это начальный шаг на пути к разработке и реализации стратегии цифровой трансформации организации, так как для того, чтобы управлять системой, необходимо оценить ее текущее состояние, определить целевой уровень и затем разработать план по достижению целевого уровня.

В то же время определение уровня цифровой зрелости позволяет выявить узкие места предприятия или экосистемы – будь то человеческие ресурсы, финансы или ИТ-инфраструктура.

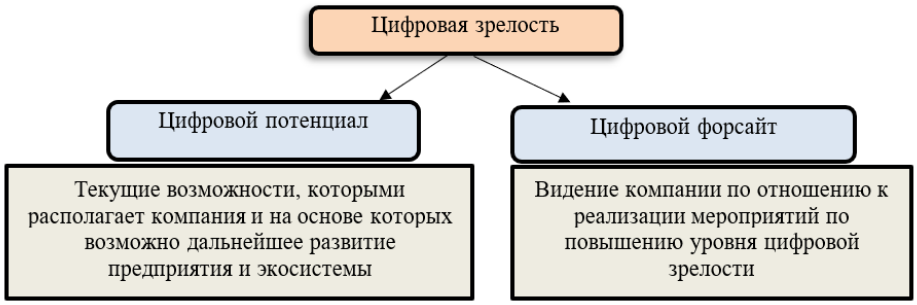


Рис. 2. Основные элементы цифровой зрелости
Fig. 2. Key elements of digital maturity

2) **Определение составных элементов цифровой зрелости**

Цифровая зрелость включает в себя текущие возможности, которыми располагает компания и на основе которых мы можем повысить уровень ее цифровой зрелости с целью получения конкурентных преимуществ, улучшения работы предприятия, а также предвидение компании по отношению к повышению уровня цифровой зрелости – т.е. ее цифровая стратегия, целеполагание (рис. 2).

3) **Структура цифровой зрелости. Субпотенциалы для оценки**

При этом и цифровой потенциал предприятия или экосистемы, и его цифровой форсайт включают в себя ряд отдельных направлений, представленных ниже.

Направления и критерии, входящие в цифровой потенциал, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Субпотенциалы цифрового потенциала предприятия или экосистемы
Table 4. Subpotentials of the digital potential of an enterprise or ecosystem

Цифровой потенциал
1. *Материально-техническое направление:* стоимость основных средств, уровень освоения новой техники, обеспеченность оборотными средствами, уровень износа и т.д.
2. *Финансово-экономическое направление:* уровень затрат на приобретение технологий, машин и оборудования, ПО, стоимость собственных финансовых ресурсов, прибыль и выручка предприятия или экосистемы.
3. *Инновационные критерии:* затраты на проведение инноваций и НИОКР, доля и объем инновационной продукции, количество проданных лицензий, количество новых видов продукции за определенное время.
4. *Организационно-управленческое направление:* скорость принятия тактических решений, «высота» организационной структуры, загруженность менеджмента, система мотивации работников, количество лабораторий, уровень организационного развития, включенность менеджмента в инновационный процесс.
5. *Кадровая политика:* количество работников, готовность сотрудников к принятию изменений, уровень качества подготовки сотрудников компании к применению цифровых технологий, уровень затрат на дополнительное обучение персонала.
6. *Информационное направление и ИТ-сфера:* обеспечение сотрудников персональным компьютером, внедрение технологий Индустрии 4.0/5.0 (IIoT, ИИ, большие данные и т.д.), использование цифровых инструментов.
7. *Экосистемная синергия* (*характерна только для экосистемы*) – единая инфраструктура и стандарты, совместное использование данных и знаний, сетевые эффекты и совместное создание ценности, плотность и качество цифровых связей между участниками экосистемы и т.д.

Источник: составлено авторами по [45].

Таким образом, разные сферы деятельности компании рассматриваются раздельно – к примеру, предприятие или экосистема может иметь хорошо развитое производственное направление,

в котором внедрены передовые цифровые технологии, однако отставать по кадровой политике, так как работники не готовы принимать новые изменения, не имеют нужной квалификации для их эффективного использования. Именно рассмотрение этих направлений в совокупности показывает цифровую зрелость.

Видение предприятия или экосистемы по отношению к реализации возможностей цифровых технологий, их цифровой форсайт включает направления, представленные в табл. 5.

Таблица 5. Субпотенциалы цифрового форсайта предприятия или экосистемы
Table 5. Subpotentials of a digital foresight of an enterprise or ecosystem

Цифровой форсайт
1. *Цифровое видение:* общая стратегическая инициатива, объединяющая и координирующая все усилия компании по максимальному раскрытию преимуществ цифровых технологий.
2. *Миссия:* цель компании при проведении цифровой трансформации бизнес-процессов, описанная ключевыми тезисами.
3. *Целеполагание:* постановка генеральной цели и задач при проведении цифровой трансформации.
4. *Управление ценностью продуктов и услуг:* повышение предоставляемой клиенту ценности продукции за счет применения цифровых технологий, более эффективных средств аналитики и т.д.
5. *Брендирование продуктов:* формирование новых приемов и идейных посылов, связанных с цифровыми технологиями.
6. *Стратегия цифровизации / цифровой трансформации:* основополагающий документ предприятия, описывающий его текущий этап цифровой зрелости, дальнейшие направления развития и основные шаги для их реализации, необходимые проекты и источники денежных и иных ресурсов.

Источник: составлено авторами по [45].

На основе данных субпотенциалов можно сказать, что цифровой потенциал представляет собой «настоящее», т.е. текущие возможности и ресурсы предприятия, в то время как цифровой форсайт направлен в первую очередь на «будущее», отражает глобальную цель компании при проведении цифровой трансформации и шаги, необходимые для ее реализации.

4) **Определение интегрального и комплексных показателей оценки цифровой зрелости**

На основе сформированных направлений и критериев будет формироваться общий интегральный показатель цифровой зрелости предприятия.

Так, цифровую зрелость можно представить как сумму выявленных субпотенциалов цифрового потенциала и цифрового форсайта, взвешенных по силе их воздействия на процесс цифровой трансформации W:

$$W = aW_1 + bW_2, \quad (1)$$

где W – показатель, отражающий цифровую зрелость экосистемы/предприятия; W_1 – комплексный показатель, отражающий цифровой потенциал экосистемы/предприятия; W_2 – комплексный показатель, отражающий цифровой форсайт экосистемы/предприятия; a и b – вес каждой из групп факторов.

Применение весовых коэффициентов необходимо, чтобы учесть силу влияния каждой из группы факторов. Кроме того, очевидно, что для компаний каждой отрасли существует своя специфика, которую следует учитывать – где-то государство оказывает огромное влияние на рынок, жестко его контролирует, где-то компании практически полностью (насколько это возможно) зависят только от своих собственных действий.

Для каждой отдельно взятой группы факторов L будет действовать тот же принцип:

$$L = aL_1 + bL_2 + cL_3 + dL_4 + \ldots, \quad (2)$$

где L – сумма по группе факторов (например, финансовые факторы или же конкуренты); L_1, L_2, L_3, L_4 – отдельно взятые факторы в каждой из групп (например, для группы внутренних факторов «Информационно-телекоммуникационное направление» сюда относятся следующие параметры: наличие и квалификация специалистов ИТ-сферы, наличие специального оборудование, качество программного обеспечения и т.д.); a, b, c, d – вес каждого отдельно взятого фактора в зависимости от силы оказываемого им влияния на общий результат.

Как и в случае более «высокого» уровня иерархии показателя, вес позволяет учесть специфику той или иной компании, правильнее оценить силу воздействия каждого из отдельно взятых факторов.

К примеру, фактор персонала L можно представить как сумму факторов компетентности персонала L_1, его терпимости и готовности к внедрению цифровых технологий L_2, уровня трудовой дисциплины L_3 и активности персонала по внедрению рационализаторских предложений L_4, взвешенных в определенной пропорции, уникальной для предприятия.

Для оценки критериев может быть применен метод опроса или анкетирования работников рассматриваемого предприятия или же экспертной оценки самих исследователей.

5) **Интерпретация полученных результатов**

Полученное значение уровня цифровой зрелости можно будет интерпретировать, например, таким образом:

ЦЗ $\geq 0{,}75$ – очень высокий уровень цифровой зрелости;

$0{,}50 \leq$ ЦЗ $\leq 0{,}74$ – средний/высокий уровень цифровой зрелости;

$0{,}25 \leq$ ЦЗ $\leq 0{,}49$ – низкий/ниже среднего уровень цифровой зрелости;

ЦЗ $\leq 0{,}25$ – практически полное отсутствие цифровой зрелости.

Применение подобного показателя позволяет также проводить сравнение нескольких предприятий или экосистем друг с другом, что может быть полезно для выявления слабых или сильных сторон компании.

Рассмотрим применение методики на примере авиастроительной промышленной экосистемы, которая объединяет головного производителя авиатехники, поставщиков компонентов, двигателестроительное предприятие, авиакомпании, сервисные центры, разработчиков ПО для цифровых двойников и логистических операторов. Данная экосистема находится на этапе перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0, активно использует IIoT, предиктивную аналитику, цифровые двойники изделий и коллаборативных роботов в сборочных процессах, но еще не достигла уровня полноценной интеллектуальной экосистемы.

Прежде всего был оценен цифровой потенциал рассматриваемой экосистемы по 7 основным субпотенциалам, полученные значения и веса субпотенциалов, а также итоговая оценка цифровой потенциала экосистемы представлены в табл. 6.

Полученные значения субпотенциалов соответствуют особенностям данной экосистемы – высокие баллы у технологических и инновационных направлений, так как авиастроение является отраслью высоких технологий и этим направлениям уделяется особое внимание, заметно ниже получены значения – у организационно-управленческого субпотенциала из-за инерции крупных предприятий и экосистемной синергии, так как глубокая интеграция партнеров и общие стандарты данных еще находятся в стадии формирования.

Веса были распределены следующим образом:

– наибольший вес (20%) у экосистемной синергии – поскольку именно данный субпотенциал определяет переход от суммы отдельных предприятий к синергетической целостности, в которой заинтересована компания при проведении оценки;

– по 15% получили материально-техническое, инновационное, кадровое и информационное направления – как важные столпы производственной компании и экосистемы;

– по 10% получили финансово-экономическое и организационно-управленческое направления, т.к. они важны в качестве обеспечивающих направлений, но в целом оценивались как чуть менее критичные для цифровой зрелости по сравнению с технологическим и экосистемным ядром.

Таблица 6. Значения и веса субпотенциалов цифрового потенциала рассматриваемой экосистемы
Table 6. Values and weights of subpotentials of the digital potential of the ecosystem under consideration

№	Субпотенциал	Значение	Вес	Итого
1	Материально-техническое направление	0,72	15%	0,11
2	Финансово-экономическое направление	0,65	10%	0,07
3	Инновационное направление	0,8	15%	0,12
4	Организационно-управленческое направление	0,58	10%	0,06
5	Кадровая политика	0,6	15%	0,09
6	Информационное направление и ИТ-сфера	0,78	15%	0,12
7	Экосистемная синергия	0,55	20%	0,11
	Итого		100%	0,67

Источник: составлено авторами на основе данных предприятий и открытых источников.

На текущем этапе можно сделать вывод о необходимости инвестировать в развитие организационно-управленческого и экосистемного субпотенциала, так как именно по данным направлениям получены наименьшие значения.

При этом экосистемная синергия при оценке имеет наибольший вес для экосистемы, что подчеркивает важность развития данного направления.

Таким образом, на данном этапе низкий уровень взаимодействия между участниками экосистемы и неполная стандартизация данных между партнерами тормозят общий рост зрелости, несмотря на сильную технологическую базу.

Цифровой форсайт данной экосистемы представлен в табл. 7.

Таблица 7. Значения и веса субпотенциалов цифрового форсайта рассматриваемой экосистемы
Table 7. Values and weights of the subpotentials of the digital foresight of the ecosystem under consideration

	Субпотенциал	Значение (0–1)	Вес	Итого
1	Цифровое видение	0,85	25%	0,21
2	Миссия	0,75	15%	0,11
3	Целеполагание	0,8	15%	0,12
4	Управление ценностью продуктов и услуг	0,7	15%	0,11
5	Брендирование продуктов	0,6	10%	0,06
6	Стратегия цифровизации / цифровой трансформации	0,75	20%	0,15
		Общий вес:	100%	0,76

Источник: составлено авторами на основе данных предприятий и открытых источников.

Эта экосистема обладает проработанной долгосрочной стратегией цифровой трансформации, но находится на стадии активного выстраивания единого информационного пространства между участниками, что отражается на оценках:

Цифровое видение (0,85) – у головной компании и ключевых партнеров сформулирован образ «цифрового авиастроительного предприятия», подкрепленный дорожными картами внедрения цифровых двойников, предиктивной аналитики. Однако не все участники экосистемы одинаково глубоко разделяют это видение;

Миссия (0,75) – включает ценности безопасности, подключенности и устойчивости, но ее «цифровая» компонента еще недостаточно отражена во внешних коммуникациях и внутренних документах;

Целеполагание (0,8) – цифровые цели экосистемы определены в виде конкретных KPI, но не на достаточном уровне.

Управление ценностью продуктов и услуг (0,7): внедрены цифровые сервисы управления жизненным циклом изделия;

Брендирование продуктов (0,6) – цифровые продукты слабо выделены в самостоятельные бренды, продвижение ведется преимущественно под традиционными брендами авиатехники;

Стратегия цифровизации / цифровой трансформации (0,75) – существует единая стратегия цифровой трансформации экосистемы до 2030 г., охватывающая производство, логистику и послепродажное обслуживание, однако она недостаточно хорошо синхронизирована между участниками.

Итоговая оценка цифрового форсайта 0,76 означает его достаточно высокий уровень: экосистема понимает, куда двигаться и зачем, но нуждается в усилении брендирования цифровых услуг и более плотной проработки стратегий для всех участников.

Таблица 8. Интегральный показатель цифровой зрелости экосистемы
Table 8. Integral indicator of the digital maturity of the ecosystem

	Значение арифметическое	Вес
Цифровой потенциал	0,67	0,7
Цифровой форсайт	0,76	0,3
Итого цифровая зрелость	0,697	1

Источник: составлено авторами на основе данных предприятий и открытых источников.

В табл. 8 представлен итоговый показатель уровня цифровой зрелости промышленной экосистемы. В данном случае вес между коэволюционным потенциалом и форсайтом распределяется в соотношении 70/30 (%), что говорит о том, что при проведении оценки для экосистемы более важным являются ее текущие возможности, включая трудовые, денежные и иные ресурсы. Однако ее цифровой форсайт также весьма важен, поэтому имеет достаточно большой вес в 30%.

В зависимости от особенностей и целей экосистемы данное соотношение может быть изменено.

Итоговое значения цифровой зрелости рассматриваемой экосистемы 0,697 соответствует достаточно высокому интегрированному уровню цифровой зрелости. Экосистема уже не фрагментирована, обладает единой цифровой платформой и значительной долей автоматизации, но еще не достигла уровня полностью интегрированной интеллектуальной экосистемы.

Цифровой форсайт (0,76) опережает цифровой потенциал (0,67). Это означает, что стратегическое видение, целеполагание и проработанность цифровой стратегии находятся на более высоком уровне, чем текущие материально-технические, кадровые и экосистемные возможности.

Это может говорить о нахождении экосистемы на переходном этапе: образ будущего ясен, дорожная карта есть, но фактическое внедрение технологий и выстраивание взаимодействий между участниками требуют времени и инвестиций.

Заключение

Проведенное исследование позволило получить следующие научные результаты:

1. Выявлены структурные диспропорции инновационного развития промышленности Республики Крым: рост доли инновационной продукции и инвестиций в основной капитал сопровождается снижением производительности труда, что свидетельствует об экстенсивном характере роста и низкой цифровой зрелости предприятий.

2. На основе имитационного моделирования доказана эффективность применения ансамблевых методов машинного обучения для прогнозирования спроса в региональной промышленности: снижение MAPE на горизонте 4–6 недель составляет 16–21% по сравнению с традиционными методами.

3. Систематизированы ключевые технологические приоритеты цифровой трансформации для регионов с формирующейся инновационной системой: приоритетным является внедрение RPA и систем поддержки принятия решений на основе ИИ, тогда как концепции Web3 и полномасштабная роботизация на данном этапе имеют ограниченную применимость.

4. Разработана и обоснована модифицированная система сбалансированных показателей цифровой промышленной фирмы (Digital BSC), адаптированная к региональной специфике и включающая, наряду с традиционными финансовыми метриками, показатели качества данных (DQI) и инновационной восприимчивости персонала, что позволяет количественно оценить уровень цифровой зрелости предприятия.

5. Предложены понятие цифровой зрелости предприятия и экосистемы, а также подход и методика оценки цифровой зрелости на основе концептуальной рамки в виде цифрового потенциала и цифрового форсайта. На примере рассмотренной промышленной экосистемы проведена апробация разработанной методики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Breque M., De Nul L., Petridis A. (2021) *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*, Luxemburg: Directorate-General for Research and Innovation (European Commission). DOI: 10.2777/308407

2. Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021) Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535. DOI: 10.1016/J.JMSY.2021.10.006

3. Jin W., Bai J.J. (2022) Cloud Adoption and Firm Performance: Evidence from Labor Demand. *Stanford Digital Economy Lab*. [online] Available at: https://digitaleconomy.stanford.edu/publications/cloud-adoption-and-firm [Accessed 21.04.2026]

4. Zhang C., Chen Y. (2020) A Review of Research Relevant to the Emerging Industry Trends: Industry 4.0, IoT, Blockchain, and Business Analytics. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5 (1), 165–180. DOI: 10.1142/S2424862219500192

5. Зинич А.В., Максимова С.Г., Ревякина Ю.Н. (2023) Молодежь на рынке труда: влияние цифровизации и неопределенности мира профессий. *Экономика труда*, 10 (9), 1353–1366. DOI: 10.18334/et.10.9.119190

6. Ghosh S., Hughes M., Hughes P., Hodgkinson I. (2021) Digital transformation of industrial businesses: A dynamic capability approach. *Technovation*, 113, art. no. 102414. DOI: 10.1016/j.technovation.2021.102414

7. Szabó-Szentgróti G., Végvári B., Varga J. (2021) Impact of Industry 4.0 and Digitization on Labor Market for 2030-Verification of Keynes' Prediction. *Sustainability*, 13 (14), art. no. 7703. DOI: 10.3390/su13147703

8. Borowiecki M., Pareliussen J., Glocker D., Kim E.J., Polder M., Rud I. (2021) The impact of digitalisation on productivity: Firm-level evidence from the Netherlands. *OECD Economics Department Working Papers*, art. no. 1680. DOI: 10.1787/e800ee1d-en

9. Babkin A., Glukhov V., Shkarupeta E., Kharitonova N., Barabaner H. (2021) Methodology for Assessing Industrial Ecosystem Maturity in the Framework of Digital Technology Implementation. *International Journal of Technology*, 12 (7), 1397–1406. DOI: 10.14716/IJTECH.V12I7.5390

10. Akundi A., Euresti D., Luna S., Ankobiah W., Lopes A., Edinbarough I. (2022) State of the industry 5.0 – Analysis and identification of current research trends. *Applied System Innovation*, 5 (1), art. no. 27. DOI: 10.3390/ASI5010027

11. Bessen J. (2022) *The New Goliaths: How Corporations Use Software to Dominate Industries, Kill Innovation, and Undermine Regulation*, New Haven: Yale University Press. DOI: 10.12987/9780300265026

12. Wang J., Tian Z., Sun Y. (2024) Digital Economy, Employment Structure and Labor Share. *Sustainability*, 16 (21), art. no. 9584. DOI: 10.3390/su16219584

13. Соколова Л.Г., Савченко Е.Е., Яркова С.А. (2023) Динамика показателей трудового фактора для оценки возможностей стратегического развития экономики регионов России. *Экономика труда*, 10 (10), 1503–1516. DOI: 10.18334/et.10.10.119524

14. Хабарова О.В., Яковлева Е.В. (2024) Организационно-управленческий механизм развития регионального рынка труда специалистов в условиях цифровизации экономики. *Экономика труда*, 11 (11), 1735–1746. DOI: 10.18334/et.11.11.122089

15. Карлик А.Е., Кравченко К.Н. (2022) Промышленная политика Республики Крым в контексте развития высокотехнологичных производств. *Экономические науки*, 5 (210), 124–127. DOI: 10.14451/1.210.124

16. Полищук Е.А., Павленко И.Г., Остовская А.А., Трилицкая О.Ю. (2022) Индикаторная оценка уровня развития информационной сферы Республики Крым. *Региональная экономика. Юг России*, 10 (1), 181–191. DOI: 10.15688/re.volsu.2022.1.17

17. Melnikova E. V., Bezrukikh Y. A., Yarkova S. A., Yakimova L.D., Melnikova A.A. (2021) Forming the Human Resources Potential for Innovative and Technological Development of the Region Within the Framework of the "Triple Helix" Model. In: *Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies* (eds. O.G. Shakirova, O.V. Bashkov, A.A. Khusainov), Cham: Springer, 373–380. DOI: 10.1007/978-3-030-69421-0_40

18. Omelchenko I., Antonova G., Danilina M., Popkov S., Botasheva L. (2021) Digitalization in the Labor Market in Russia. *SHS Web of Conferences*, 93, art. no. 01021. DOI: 10.1051/shsconf/20219301021

19. Подвербных О.Е., Самохвалова С.М., Донова Н.А., Мокин Ю.И. (2023) Формирование и реализация модели цифровой организации труда на промышленном предприятии. *Креативная экономика*, 17 (12), 4945–4964. DOI: 10.18334/ce.17.12.120027

20. Устинова О.Е. (2022) Формирование стратегии цифровой трансформации промышленных предприятий. *Вопросы инновационной экономики*, 12 (3), 1427–1442. DOI: 10.18334/vinec.12.3.115129

21. Глухов В.В., Бабкин А.В., Батукова Л.Р., Шкарупета Е.В., Махмудова Г.Н. (2024) Теоретические положения программирования стратегического развития промышленности в условиях формирования Индустрии 5.0. *π-Economy*, 17 (5), 61–87. DOI: 10.18721/JE.17504

22. Trstenjak M., Hegedić M., Tošanović N., Opetuk T., Đukić G., Cajner H. (2023) Key Enablers of Industry 5.0 – Transition from 4.0 to the New Digital and Sustainable System. In: *Manufacturing Driving Circular Economy. GCSM 2022* (ed. H. Kohl, G. Seliger, F. Dietrich), Cham: Springer, 614–621. DOI: 10.1007/978-3-031-28839-5_69

23. He M., Chand B. (2024) Industry 5.0, Future of Workforce Beyond Efficiency and Productivity. In: *Innovation, Sustainability, and Technological Megatrends in the Face of Uncertainties* (eds. A.N. Turi, P. Lekhi), Cham: Springer, 23–40. DOI: 10.1007/978-3-031-46189-7_2

24. Morandini S., Fraboni F., De Angeles M., Puzzo G., Giusino D., Pietrantoni L. (2023) The Impact of Artificial Intelligence on Workers' Skills: Upskilling and Reskilling in Organisations. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 26, 39–68. DOI: 10.28945/5078

25. Sahlab N., Kamm S., Müller T., Jazdi N., Weyrich M. (2021) Knowledge Graphs as Enhancers of Intelligent Digital Twins. *2021 4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems* (*ICPS*), 19–24. DOI: 10.1109/ICPS49255.2021.9468219

26. Alka T.A., Sreenivasan A., Suresh M. (2025) Entrepreneurial strategies for sustainable growth: a deep dive into cloud-native technology and its applications. *Future Business Journal*, 11, art. no. 14. DOI: 10.1186/s43093-025-00436-7

27. Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В. (2024) Зависимость динамики промышленной модернизации от прогрессивных тенденций экономики труда. *Друкеровский вестник*, 1 (57), 71–80. DOI: 10.17213/2312-6469-2024-1-71-80

28. Наливайченко Е.В., Кирильчук С.П. (2024) Рост производительности труда с переходом к технологиям «умного производства» в промышленности. *Экономика и управление: теория и практика*, 10 (1), 82–88.

29. Яркина Н.Н., Логунова Н.А. (2023) Инвестиционная привлекательность как фактор экономической безопасности Республики Крым. *Региональные проблемы преобразования экономики*, 1 (147), 117–129. DOI: 10.26726/1812-7096-2023-1-117-129

30. Бабкин А.В., Кирильчук С.П., Наливайченко Е.В. (2026) Парадигма устойчивости промышленных экосистем в условиях новой реальности. *Экономическое возрождение России*, 87 (1), 48–64. DOI: 10.37930/1990-9780-2026-1-87-48-64

31. Белоусов Ю.В. (2021) Цифровая экономика: понятие и тенденции развития. *Вестник Института экономики Российской академии наук*, 1, 26–43. DOI: 10.24412/2073-6487-2021-1-26-43

32. Демура Н.А., Путивцева Н.П. (2021) Цифровизация: сущность и роль в развитии национальной экономики. *Научный результат. Экономические исследования*, 7 (1), 22–30. DOI: 10.18413/2409-1634-2021-7-1-0-3

33. Машевская О.В. (2020) Цифровые технологии как основа цифровой трансформации современного общества. *Вестник Полесского государственного университета. Серия общественных и гуманитарных наук*, 1, 37–44.

34. Сталиневич Т.К., Вишневецкий Д.А. (2022) Индустрия 4.0: проблемы внедрения инновационных технологий в деятельность предприятий России и стран АТР. *Новая экономика, бизнес и общество*, 901–909.

35. Розанова Н.М. (2023) Индустрия 5.0: золотой век или прыжок в темноту? *Вестник Института экономики Российской академии наук*, 6, 61–77. DOI: 10.52180/2073-6487_2023_6_61_77

36. Татаринов К.А. (2024) Особенности и возможности цифровизации компаний. *Экономическая среда*, 13 (2), С. 58–64. DOI: 10.36683/ee242.58-64

37. Кожевникова Г.В., Сольская И.Ю. (2023) Определение уникальных преимуществ компании с использованием цифровых технологий. *Экономика. Общество. Человек*, 142–152.

38. Асеева А.А. (2025) Современные тенденции развития цифровых платформ. *Социально-экономическое развитие России: проблемы, тенденции, перспективы*, 48–52.

39. Вишнягова Е.А., Соловьева И.А. (2023) Современные подходы к определению понятия промышленная экосистем. *II Всероссийская (национальная) научная конференция с международным участием «Российская наука, инновации, образование» (РОСНИО-II-2023)*, 386–395.

40. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Чэнь Лэйфэй (2025) Инструментарий оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы на основе коэволюции и экосистемной синергии. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: 10.18721/JE.18402

41. Афанасьев А.А. (2024) Оценка цифровой зрелости промышленного производства в контексте его цифровой трансформации. *Экономика, предпринимательство и право*, 14 (7), 3595–3612. DOI: 10.18334/epp.14.7.121231

42. Капустин К.К., Ильина Л.А. (2025) Совершенствование методик оценки цифровой зрелости на основе анализа конкурентных преимуществ организаций. *Естественно-гуманитарные исследования*, 2 (58), 710–716.

43. Соболев А.Д. (2025) Инструментарий оценки цифровой зрелости организации. *Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право»*, 1, 80–85. DOI: 10.35634/2412-9593-2025-35-1-80-85

44. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Гаев К.Б. (2024) Методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и экосистемы на основе динамического коэволюционного потенциала. *π-Economy*, 17 (4), 153–178. DOI: 10.18721/JE.17410

45. Бабкин А.В., Михайлов П.А. (2024) Методика оценки цифровой зрелости промышленной экосистемы на основе ее потенциала и форсайта. В книге: *Стратегическое управление цифровой трансформацией интеллектуальной экономики и промышленности в новой реальности* (под ред. А.В. Бабкина), монография, СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 748–765. DOI: 10.18720/IEP/2024.3/31

REFERENCES

1. Breque M., De Nul L., Petridis A. (2021) *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*, Luxemburg: Directorate-General for Research and Innovation (European Commission). DOI: 10.2777/308407

2. Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang L. (2021) Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535. DOI: 10.1016/J.JMSY.2021.10.006

3. Jin W., Bai J.J. (2022) Cloud Adoption and Firm Performance: Evidence from Labor Demand. *Stanford Digital Economy Lab*. [online] Available at: https://digitaleconomy.stanford.edu/publications/cloud-adoption-and-firm [Accessed 21.04.2026]

4. Zhang C., Chen Y. (2020) A Review of Research Relevant to the Emerging Industry Trends: Industry 4.0, IoT, Blockchain, and Business Analytics. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5 (1), 165–180. DOI: 10.1142/S2424862219500192

5. Zinich A.V., Maksimova S.G., Revyakina Y.N. (2023) Youth in the labor market: the impact of digitalization and the uncertainty of the professional world. *Russian Journal of Labour Economics*, 10 (9), 1353–1366. DOI: 10.18334/et.10.9.119190

6. Ghosh S., Hughes M., Hughes P., Hodgkinson I. (2021) Digital transformation of industrial businesses: A dynamic capability approach. *Technovation*, 113, art. no. 102414. DOI: 10.1016/j.technovation.2021.102414

7. Szabó-Szentgróti G., Végvári B., Varga J. (2021) Impact of Industry 4.0 and Digitization on Labor Market for 2030-Verification of Keynes' Prediction. *Sustainability*, 13 (14), art. no. 7703. DOI: 10.3390/su13147703

8. Borowiecki M., Pareliussen J., Glocker D., Kim E.J., Polder M., Rud I. (2021) The impact of digitalisation on productivity: Firm-level evidence from the Netherlands. *OECD Economics Department Working Papers*, art. no. 1680. DOI: 10.1787/e800ee1d-en

9. Babkin A., Glukhov V., Shkarupeta E., Kharitonova N., Barabaner H. (2021) Methodology for Assessing Industrial Ecosystem Maturity in the Framework of Digital Technology Implementation. *International Journal of Technology*, 12 (7), 1397–1406. DOI: 10.14716/IJTECH.V12I7.5390

10. Akundi A., Euresti D., Luna S., Ankobiah W., Lopes A., Edinbarough I. (2022) State of the industry 5.0 – Analysis and identification of current research trends. *Applied System Innovation*, 5 (1), art. no. 27. DOI: 10.3390/ASI5010027

11. Bessen J. (2022) *The New Goliaths: How Corporations Use Software to Dominate Industries, Kill Innovation, and Undermine Regulation*, New Haven: Yale University Press. DOI: 10.12987/9780300265026

12. Wang J., Tian Z., Sun Y. (2024) Digital Economy, Employment Structure and Labor Share. *Sustainability*, 16 (21), art. no. 9584. DOI: 10.3390/su16219584

13. Sokolova L.G., Savchenko E.E., Yarkova S.A. (2023) Dynamics of the labor factor indicators for assessing the possibilities of strategic economic development of the Russian regions. *Russian Journal of Labour Economics*, 10 (10), 1503–1516. DOI: 10.18334/et.10.10.119524

14. Khabarova O.V., Yakovleva E.V. (2024) Organizational and managerial mechanism for the development of the regional labor market for specialists amidst digitalization. *Russian Journal of Labour Economics*, 11 (11), 1735–1746. DOI: 10.18334/et.11.11.122089

15. Karlik A.E., Kravchenko K.N. (2022) Industrial policy of the Republic of Crimea in the context of the development of high-tech industries. *Economic Sciences*, 5 (210), 124–127. DOI: 10.14451/1.210.124

16. Polishchuk E.A., Pavlenko I.G., Ostovskaya A.A., Trilitskaya O.Yu. (2022) Index Evaluation of Informational Sphere Development in the Republic of Crimea. *Regional Economy. South of Russia*, 10 (1), 181–191. DOI: 10.15688/re.volsu.2022.1.17

17. Melnikova E.V., Bezrukikh Y.A., Yarkova S.A., Yakimova L.D., Melnikova A.A. (2021) Forming the Human Resources Potential for Innovative and Technological Development of the Region Within the Framework of the "Triple Helix" Model. In: *Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies* (eds. O.G. Shakirova, O.V. Bashkov, A.A. Khusainov), Cham: Springer, 373–380. DOI: 10.1007/978-3-030-69421-0_40

18. Omelchenko I., Antonova G., Danilina M., Popkov S., Botasheva L. (2021) Digitalization in the Labor Market in Russia. *SHS Web of Conferences*, 93, art. no. 01021. DOI: 10.1051/shsconf/20219301021

19. Podverbnyh O.E., Samokhvalova S.M., Donova N.A., Mokin Y.I. (2023) Formation and implementation of a digital labor organization model in an industrial company. *Creative Economy*, 17 (12), 4945–4964. DOI: 10.18334/ce.17.12.120027

20. Ustinova O.E. (2022) Digital transformation strategy for industrial enterprises. *Russian Journal of Innovation Economics*, 12 (3), 1427–1442. DOI: 10.18334/vinec.12.3.115129

21. Glukhov V.V., Babkin A.V., Batukova L.R., Shkarupeta E.V., Makhmudova G.N. (2024) Theoretical provisions of programming of strategic development of industry in the conditions of the formation of Industry 5.0. *π-Economy*, 17 (5), 61–87. DOI: 10.18721/JE.17504

22. Trstenjak M., Hegedić M., Tošanović N., Opetuk T., Đukić G., Cajner H. (2023) Key Enablers of Industry 5.0 – Transition from 4.0 to the New Digital and Sustainable System. In: *Manufacturing Driving Circular Economy. GCSM 2022* (ed. H. Kohl, G. Seliger, F. Dietrich), Cham: Springer, 614–621. DOI: 10.1007/978-3-031-28839-5_69

23. He M., Chand B. (2024) Industry 5.0, Future of Workforce Beyond Efficiency and Productivity. In: *Innovation, Sustainability, and Technological Megatrends in the Face of Uncertainties* (eds. A.N. Turi, P. Lekhi), Cham: Springer, 23–40. DOI: 10.1007/978-3-031-46189-7_2

24. Morandini S., Fraboni F., De Angeles M., Puzzo G., Giusino D., Pietrantoni L. (2023) The Impact of Artificial Intelligence on Workers' Skills: Upskilling and Reskilling in Organisations. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 26, 39–68. DOI: 10.28945/5078

25. Sahlab N., Kamm S., Müller T., Jazdi N., Weyrich M. (2021) Knowledge Graphs as Enhancers of Intelligent Digital Twins. *2021 4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems* (*ICPS*), 19–24. DOI: 10.1109/ICPS49255.2021.9468219

26. Alka T.A., Sreenivasan A., Suresh M. (2025) Entrepreneurial strategies for sustainable growth: a deep dive into cloud-native technology and its applications. *Future Business Journal*, 11, art. no. 14. DOI: 10.1186/s43093-025-00436-7

27. Kirilchuk S.P., Nalivaychenko E.V. (2024) Dependence of the dynamics of industrial modernization on progressive trends in the labor economy. *Drukerovskij vestnik*, 1 (57), 71–80. DOI: 10.17213/2312-6469-2024-1-71-80

28. Nalivaychenko E.V., Kirilchuk S.P. (2024) Labor productivity growth with the transition to smart manufacturing technologies in industry. *Economy and management: theory and practice*, 10 (1), 82–88.

29. Yarkina N.N., Logunova N.A. (2023) investment attractiveness as a factor of economic security of the Republic of Crimea. *Regional Problems of Economic Transformation*, 1 (147), 117–129. DOI: 10.26726/1812-7096-2023-1-117-129

30. Babkin A.V., Kirilchuk S.P., Nalivaychenko E.V. (2026) The Paradigm of Industrial Ecosystems Sustainability in the New Reality. *Economic Revival of Russia*, 87 (1), 48–64. DOI: 10.37930/1990-9780-2026-1-87-48-64

31. Belousov Yu.V. (2021) Digital economy: concept and trends of development. *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiiskoi akademii nauk* [*Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*], 1, 26–43. DOI: 10.24412/2073-6487-2021-1-26-43

32. Demura N.A., Putivtsev N.P. (2021) Digitalization: the nature and role in the development of the economy of the country and the region. *Research Result. Economic Research*, 7 (1), 22–30. DOI: 10.18413/2409-1634-2021-7-1-0-3

33. Mashevskaya O.V. (2020) Digital technology as the foundation of digital transformation. *Bulletin of Polessky State University. Series in Social Sciences and Humanities*, 1, 37–44.

34. Stalinevich T.K., Vishnevetsky D.A. (2022) Industry 4.0: problems of introducing innovative technologies into the activities of enterprises in Russia and Asia-Pacific countries. *Novaia ekonomika, biznes i obshchestvo* [*New economy, business, and society*], 901–909.

35. Rozanova N.M. (2023) Industry 5.0: A golden age or a leap into the dark? *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiiskoi akademii nauk* [*Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*], 6, 61–77. DOI: 10.52180/2073-6487_2023_6_61_77

36. Tatarinov K.A. (2024) Features and Opportunities of Companies Digitalization. *Economic environment*, 13 (2), 58–64. DOI: 10.36683/ee242.58-64

37. Kozhevnikova G.V., Sol'skaia I.Iu. (2023) Opredelenie unikal'nykh preimushchestv kompanii s ispol'zovaniem tsifrovykh tekhnologii [Identifying a company's unique advantages using digital technologies]. *Ekonomika. Obshchestvo. Chelovek* [*Economy. Society. Human*], 142–152.

38. Aseeva A.A. (2025) Current trends in the development of digital platforms. *Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie Rossii: problemy, tendentsii, perspektivy* [*Socioeconomic development of Russia: problems, trends, prospects*], 48–52.

39. Vishnyagova E.A., Solovyova I.A. (2023) Modern approaches to the definition of the concept of industrial ecosystem. *II Vserossiiskaia* (*natsional'naia*) *nauchnaia konferentsiia s mezhdunarodnym*

uchastiem "*Rossiiskaia nauka, innovatsii, obrazovanie*" (*ROSNIO-II-2023*) [*II All-Russian* (*National*) *Scientific Conference with International Participation* "*Russian Science, Innovation, Education*" (ROSNIO-II-2023)], 386–395.

40. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Chen Leifei (2025) A toolkit for assessing the digital maturity of an intelligent industrial ecosystem based on coevolution and ecosystem synergy. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: 10.18721/JE.18402

41. Afanasyev A.A. (2024) Assessing the digital maturity of industrial production in the context of its digital transformation. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*, 14 (7), 3595–3612. DOI: 10.18334/epp.14.7.121231

42. Kapustin K.K., Ilyina L.A. (2025) Improving digital maturity assessment methods based on analysis of competitive advantages of organizations. *Natural-Humanitarian Research*, 2 (58), 710–716.

43. Sobolev A.D. (2025) Tools for assessing digital maturity of an organization. *Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law*, 1, 80–85. DOI: 10.35634/2412-9593-2025-35-1-80-85

44. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Gaev K.B. (2024) Methodology for assessing the digital maturity of an industrial enterprise and ecosystem based on dynamic coevolutionary potential. *π-Economy*, 17 (4), 153–178. DOI: 10.18721/JE.17410

45. Babkin A.V., Mikhailov P.A. (2024) Metodika otsenki tsifrovoi zrelosti promyshlennoi ekosistemy na osnove ee potentsiala i forsaita [A methodology for assessing the digital maturity of an industrial ecosystem based on its potential and foresight]. In: *Strategicheskoe upravlenie tsifrovoi transformatsiei intellektual'noi ekonomiki i promyshlennosti v novoi real'nosti* [*Strategic Management of Digital Transformation of the Intelligent Economy and Industry in the New Reality*] (ed. A.V. Babkin), monograph, St. Petersburg: POLITEKH-PRESS, 748–765. DOI: 10.18720/IEP/2024.3/31

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ШКАРУПЕТА Елена Витальевна
E-mail: 9056591561@mail.ru
Elena V. SHKARUPETA
E-mail: 9056591561@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3644-4239

КИРИЛЬЧУК Светлана Петровна
E-mail: skir12@yandex.ru
Svetlana P. KIRILCHUK
E-mail: skir12@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6888-1981

НАЛИВАЙЧЕНКО Екатерина Владимировна
E-mail: katnaliv@yandex.ru
Ekaterina V. NALIVAYCHENKO
E-mail: katnaliv@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0578-5997

МИХАЙЛОВ Павел Александрович
E-mail: pavel-mixailov1999@yandex.ru
Pavel A. MIKHAILOV
E-mail: pavel-mixailov1999@yandex.ru

Поступила: 13.06.2026; Одобрена: 17.07.2026; Принята: 18.07.2026.
Submitted: 13.06.2026; Approved: 17.07.2026; Accepted: 18.07.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 137–156.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 137–156.

Научная статья
УДК 001.895:336.7
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19408
EDN: https://elibrary/RLEDDK

ФАКТОРЫ УСПЕХА И ОГРАНИЧЕНИЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫХ ИННОВАЦИЙ

И.Н. Люкевич ✉, **Дж.С. Вега Бонилла, А.В. Меликян**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ lin.stu@yandex.ru

Аннотация. Страны диверсифицируют свои расчеты, и это глобальный тренд. В статье исследуется (как институциональный инновационный проект) уникальный механизм, позволяющий участникам внешнеэкономической деятельности осуществлять платежи в своих национальных валютах – Sistema de Pagos en Moneda Locales (SML) стран Южной Америки. В отличие от технологических инноваций (блокчейн, смарт-контракты), институциональная инновация SML фокусируется на перестройке правил взаимодействия экономических агентов, снижении транзакционных издержек и создании альтернативной институциональной среды для внешнеторговых операций. Целью исследования являются выявление факторов успеха и оценка вклада в конкурентоспособность бизнеса и ограничений масштабирования институционального инновационного проекта на примере трансграничной SML для формулирования универсальных уроков и разработки методики создания аналогичных систем. На основе анализа эволюции системы (2008–2026 гг.) ее операционного механизма и статистических данных установлено, что SML обеспечивает снижение транзакционных издержек для малых и средних предприятий (МСП) на 15–20%, выполняет антициклическую функцию в периоды валютных кризисов и служит альтернативным каналом для импорта в условиях дефицита долларовой ликвидности. Однако масштабирование системы сдерживается рядом ограничений: отсутствием механизмов хеджирования валютных рисков и кредитования, отсутствием непрерывности работы (система не функционирует в праздничные и выходные дни), сохранением структурных асимметрий (более 99% операций приходится на бразильский экспорт в Аргентину), а также финальным долларовым клирингом между центральными банками. Систематизированы факторы успеха: добровольность участия, фокус на МСП как на «ранних последователях», простота и понятность цикла расчетов (D+0, D+1, D+2), институциональная поддержка со стороны центральных банков и правительств. Разработана «дорожная карта» создания и масштабирования институциональных инновационных проектов, включающая четыре этапа («зарождение», «становление», «зрелость», «экспансия») по четырем направлениям («финансовый механизм», «технологическая платформа», «институты и право», «клиенты и принятие»). Результаты применимы при проектировании аналогичных систем, например в рамках ЕАЭС или БРИКС.

Ключевые слова: институциональная инновация, инновационная экосистема, трансграничные инновации, инновационные механизмы расчетов, диффузия инноваций, факторы успеха инноваций, ограничения масштабирования инноваций, принятие инноваций, SML, MERCOSUR, международные расчеты

Для цитирования: Люкевич И.Н., Вега Бонилла Дж.С., Меликян А.В. (2026) Факторы успеха и ограничения масштабирования институциональных инноваций. π-Economy, 19 (4), 137–156. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19408

© Люкевич И.Н., Вега Бонилла Дж.С., Меликян А.В., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19408

SUCCESS FACTORS AND SCALING CONSTRAINTS OF INSTITUTIONAL INNOVATIONS

I.N. Lyukevich ✉, G.S. Vega Bonilla, A.V. Melikyan

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

✉ lin.stu@yandex.ru

Abstract. Countries are diversifying their payments, and this is a global trend. This article examines (as an institutional innovation project) a unique mechanism that enables participants in foreign economic activity to make payments in their national currencies – Sistema de Pagos en Monedas Locales (SML) – in South American countries. Unlike technological innovations (blockchain, smart contracts), the SML institutional innovation focuses on restructuring the rules of interaction between economic agents, reducing transaction costs, and creating an alternative institutional environment for foreign trade operations. The aim of the study is to identify success factors, assess the contribution to business competitiveness, and the limitations of scaling this institutional innovation project using the example of cross-border SML. This approach aims to formulate universal lessons and develop a methodology for creating similar systems. Based on an analysis of the system's evolution (2008–2026), its operational mechanism, and statistical data, it was established that the SML reduces transaction costs for small and medium-sized enterprises (SMEs) by 15–20%, performs a countercyclical function during periods of currency crises, and serves as an alternative channel for imports in conditions of dollar liquidity shortages. However, the system's scalability is constrained by a number of limitations: the lack of mechanisms for hedging currency risks and lending, the lack of operational continuity (the system does not function on holidays and weekends), the persistence of structural asymmetries (more than 99% of transactions are accounted for by Brazilian exports to Argentina), and the final dollar clearing between central banks. The following success factors have been systematized: voluntary participation, focus on SMEs as "early adopters", a simple and understandable settlement cycle (D+0, D+1, D+2), and institutional support from central banks and governments. A roadmap for the creation and scaling of institutional innovation projects has been developed, comprising four stages (inception, development, maturity, and expansion) across four areas (financial mechanism, technological platform, institutions and law, clients and adoption). The results are applicable to the design of similar systems, for example, within the EAEU or BRICS.

Keywords: institutional innovation, innovation ecosystem, cross-border innovation, innovative payment mechanisms, innovation diffusion, innovation success factors, innovation scaling constraints, innovation adoption, SML, MERCOSUR, international settlements

Citation: Lyukevich I.N., Vega Bonilla G.S., Melikyan A.V. (2026) Success factors and scaling constraints of institutional innovations. π-Economy, 19 (4), 137–156. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19408

Введение

Актуальность исследования

Институциональная экономическая структура как определенный упорядоченный набор институтов, создающих матрицы экономического поведения, находится в постоянном изменении-совершенствовании. В связи с этим представляется возможным говорить о новых или измененных объектах, комбинациях институциональной структуры, реализующих новую ценность, или институциональных инновациях.

В целом институциональные инновации – одна из форм институциональных изменений, характеризующихся следующим:

1) осуществляются в формальных и неформальных правилах и при их взаимодействии [1];

© Lyukevich I.N., Vega Bonilla G.S., Melikyan A.V., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

2) придают принципиально новое качество ее элементам либо знаменуют появление нового элемента институциональной структуры (субъекта, объекта, механизма институциональной среды), разрешают существующие противоречия между элементами институциональной структуры и/или внешней средой [2];

3) обуславливают значимые изменения статусов и функций в каком-либо компоненте нормы или системе норм, которые приносят определенную частную, коллективную или общественную выгоду[1].

Литературный обзор

Среди современных зарубежных исследований, посвященных институциональным инновациям, выделим две фундаментальные работы.

Исследование Р. Раффаэлли и М. Глинн предлагает взгляд на то, как происходят изменения в устоявшихся социальных и организационных системах (институтах). Главный вызов состоит в том, что институты по своей природе стабильны, инертны и сопротивляются изменениям. Они представляют собой укоренившиеся правила, нормы и когнитивные схемы. Инновации же, наоборот, вносят «разрушение/нарушение» (англ. disruption) [3].

Авторы определяют институциональную инновацию как новое, полезное и легитимное изменение, которое в той или иной степени нарушает когнитивные, нормативные или регулятивные основы организационного поля. Здесь важно каждое слово: «новое» (англ. *novel*) – воспринимается участниками как новшество (даже если технически оно уже существует где-то еще); «полезное» (англ. *useful*) – решает проблемы или помогает достигать целей; «легитимное» (англ. *legitimate*) – это главное отличие от обычных инноваций, изменение должно восприниматься как уместное, правильное и соответствующее культурным нормам, иначе оно не приживется.

Обычная инновация (новый продукт или услуга) может быть полезной и новой, но не обязательно легитимной. Например, «онлайн-университеты» были новыми и полезными, но долгое время считались нелегитимными по сравнению с традиционными вузами. Институциональная инновация должна получить «социальную лицензию» – быть принятой ключевыми аудиториями (потребителями, экспертами, государством) как нечто должное и правильное. Итоговая формула базы:

Институциональная инновация = (Новизна + Полезность) * (Легитимность).

Другое исследование Х. Аль-Малки и К. Дуругбо – это систематический обзор всех значимых академических работ (485 статей с 1969 по 2021 г.) по теме «институциональные инновации». Теория институциональных инноваций базируется на институциональной теории (реже применяются теории инновационных систем, транзакционных издержек, ресурсного подхода и динамических способностей) [4].

Институциональные инновации в основном сосредоточены на макро- и мезоуровнях (регионы, отрасли, организации), микроуровень (индивидуальные факторы, личности, мотивация) представлен слабо. Контексты институциональных инноваций – организационный, экологический, социальный, правительственный.

Авторы выделяют «детерминанты» (англ. *determinants*), т.е. независимые переменные, внешние условия или факторы, которые влияют на возникновение, развитие и успех институциональных инноваций:

- «Качество и контроль» – хорошо работающие механизмы управления (например, сильный патентный закон – больше инноваций);
- «Разнообразие и репутация» – много разных игроков с хорошей репутацией (например, университет, бизнес, государство вместе создают новый потенциал инноваций);

[1] Чиков М.В. (2011) *Институциональные инновации в воспроизводстве отношений российской корпоративной собственности: специальность 08.00.01 «Экономическая теория»*, автореф. дисс. … канд. экон. наук, Томск: Томский государственный университет.

• «Ценность и результат» – принимается только то, что приносит пользу (например, ожидание прибыли или общественного блага – движущая сила инноваций);

• «Реформа и улучшение» – в основе целенаправленное изменение правил (например, налоговая реформа, стимулирование научных исследований).

Также авторы выделяют шесть приоритетных направлений для повышения институциональной инновационности:

• Сети и связи (англ. *Network engagement, knowledge externalities and relationship*, NEER) – например, несколько банков договариваются между собой и центральным банком о создании единой платежной системы, поскольку в одиночку ни один игрок не сможет сделать ее легитимной для всего рынка;

• Логики и ограничения (англ. *Institutional logic, capabilities, and constraints*, ILCC) – например, от банка, внедряющего смарт-контракты на блокчейне, требуется найти способ вписать новую технологию в старые законы о ценных бумагах и требования регулятора, чтобы инновация не оказалась вне закона;

• Условия и политики (англ. *Economic conditions, policies, and intermediaries*, ECPI) – например, инвестиционный фонд запустить новый продукт («зеленые» облигации), используя государственные субсидии и подтверждая статус облигаций через рейтинговые агентства;

• Стратегии и управление (англ. *Institutional strategy, ownership, and governance*, ISOG) – например, крупный институциональный инвестор (пенсионный фонд) требует от портфельной компании внедрить углеродную отчетность, фактически меняя ее стратегию через механизмы корпоративного управления;

• Технологическая готовность (англ. *Technology readiness, transfer, and support*, TRTS) – например, банки не просто внедряют AI-систему, а сначала обеспечивают свою IT-инфраструктуру данными и кадрами, способными эту систему поддерживать;

• Синергии и стимулы (англ. *Institutional synergies, incentives, and entrepreneurship*, ISIE) – например, создается акселератор для поощрения применения инновации, например объединение банков и страховых компаний.

Институциональные инновации в трансграничных расчетах

В качестве фундаментального примера институциональной инновации в уже упоминавшейся работе Р. Раффаэлли и М. Глинн приводится пример создания платежной системы VISA. В конце 1950-х гг. банки не могли внедрить кредитные карты по отдельности. Институциональной инновацией стала структура совместного владения (National BankAmericard Inc. (NBI), позже VISA), где банки-конкуренты объединились. Это было ново, полезно (снизило издержки) и, что критично, стало легитимным способом сотрудничества. Возьмем это в качестве базы и исследуем факторы успеха и ограничения масштабирования институциональных инноваций на примере инноваций в трансграничных расчетах.

Современные платежные системы формируются как совокупность механизмов и бизнес-процессов, стремящихся нарушить традиционные модели, основанные на лоро/ностро-счетах: с одной стороны, децентрализовать расчетные механизмы, с другой – создать альтернативу долларовой ликвидности. В первом направлении развиваются платежные системы децентрализованных финансов (англ. *Decentralized Finance*, DeFi), базирующиеся на распределенных реестрах и смарт-контрактах, прежде всего блокчейн-платформы Ethereum Foundation, а также протоколов децентрализованных расчетов и ликвидности MakerDAO и Uniswap. Они позволяют осуществлять трансграничные платежи и клиринговые операции без участия банков-корреспондентов, однако их применение в международной торговле пока ограничено высокой волатильностью, регуляторной неопределенностью и отсутствием механизмов макроэкономической координации.

Поэтому параллельно с развитием DeFi-платформ формируются региональные расчетные системы, ориентированные на обслуживание финансовых потоков в рамках конкретных

интеграционных объединений. Помимо южноамериканской Sistema de Pagos en Moneda Local (SML), к таким системам относятся китайская Cross-Border Interbank Payment System (CIPS), европейская Instrument in Support of Trade Exchanges (INSTEX), африканская Pan-African Payment and Settlement System (PAPSS).

При этом простого решения о переходе на расчеты в песо, реалах или рупиях недостаточно. Эффективность такого перехода напрямую зависит от глубины проработки инновационных механизмов и оптимизации бизнес-процессов, лежащих в основе новых платежных систем. С одной стороны, требуются технологические инновации: внедрение распределенных реестров (англ. *Distributed Ledger Technology*, DLT), смарт-контрактов, открытых API и токенизированных активов для ускорения клиринга и снижения операционных издержек. С другой стороны, необходим глубокий реинжиниринг бизнес-процессов участников внешнеэкономической деятельности: изменение логистики валютного контроля, адаптация систем бухгалтерского учета, управление новыми видами рисков (в частности, отсутствием развитых инструментов хеджирования).

В этом аспекте научную и практическую значимость приобретает анализ существующих региональных прецедентов, среди которых выделяется SML стран MERCOSUR (исп. *Mercado Común del Sur*). Данный кейс уникален тем, что позволяет проследить эволюцию бизнес-процессов на протяжении почти двух десятилетий: от добровольных двусторонних соглашений до попыток институционализации механизмов клиринга и кредитования. Опыт SML демонстрирует, что инновационность платежной системы заключается не только в ее технологической платформе, но и в способности адаптировать бизнес-процессы к циклическим (валютные кризисы), экономическим (структурные дисбалансы) и политическим (смена правительств) шокам.

В контексте экономики инноваций SML может быть квалифицирована как институциональный инновационный проект – созданный на наднациональном уровне механизм, формализованный в нормативных актах MERCOSUR и двусторонних соглашениях Центральных Банков, направленный на изменение правил осуществления трансграничных расчетов. В отличие от технологических инноваций (блокчейн, смарт-контракты), институциональная инновация SML фокусируется на перестройке правил взаимодействия экономических агентов, снижении транзакционных издержек и создании альтернативной институциональной среды для внешнеторговых операций.

Современные исследования альтернативных платежных систем формируются на пересечении теории платежных систем, институциональной экономики, международных финансов и финтех-инноваций. Классические работы подчеркивают, что платежные системы являются базовой инфраструктурой экономики, определяющей эффективность трансакций, скорость обращения денег и уровень развития финансовых рынков [5, 6]. В более поздних исследованиях акцент смещается на цифровизацию расчетов и переход к новым формам финансового посредничества, что создает предпосылки для формирования альтернативных платежных механизмов [7, 8]. Региональные платежные системы интерпретируются как инструмент частичного перераспределения финансового суверенитета и снижения зависимости от доллароцентричной модели [9, 10].

Значительный массив исследований посвящен региональным платежным системам как инструменту экономической интеграции. Анализ систем Азии, Африки и Латинской Америки показывает, что их развитие способствует снижению транзакционных издержек, росту взаимной торговли и формированию внутрирегиональной ликвидности [11, 12]. В частности, китайская CIPS рассматривается как элемент стратегии интернационализации юаня и формирования альтернативной расчетной инфраструктуры [13], в то время как африканская PAPSS анализируется как инструмент углубления континентальной интеграции и повышения финансовой инклюзии [14].

Отдельное направление исследований связано с цифровыми и децентрализованными платежными системами. В рамках финтех-литературы DeFi-платформы рассматриваются как качественно новая форма организации расчетов, основанная на смарт-контрактах и распределенных реестрах [15, 16]. Исследования показывают, что такие системы способны существенно снизить роль посредников и издержки транзакций, однако сталкиваются с проблемами масштабируемости, волатильности и регуляторной неопределенности [17, 18].

Отдельное место занимают работы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ). Исследования В.В. Пшеничникова раскрывают перспективы цифрового рубля как элемента трансформации национальной платежной системы и инструмента повышения эффективности расчетного оборота [19]. В работах Е.И. Дюдиковой рассматриваются модели взаимодействия участников платежных систем в условиях цифровизации, включая трансформацию архитектуры расчетов и усиление роли платформенных решений [20]. Исследования СПбПУ подчеркивают роль инноваций как системообразующего фактора изменения финансовой инфраструктуры. Коллективная монография, посвященная цифровой трансформации социально-экономических систем, отражает междисциплинарный характер данных процессов и их влияние на финансовые рынки, включая платежные системы [21].

Проблема функционирования и развития SML в научных и аналитических публикациях рассматривается преимущественно в контексте региональной финансовой интеграции, снижения валютной иерархии и ограничения зависимости от доллара США. В работе Е.К. Пардо SML анализируется как институциональная альтернатива традиционным механизмам международных расчетов, способствующая развитию взаимной торговли и снижению транзакционных издержек в странах Южной Америки[2]. Ф.Н. Круз, опираясь на концепцию иерархии валют, подчеркивает структурные ограничения SML, связанные с асимметрией макроэкономических условий Бразилии и Аргентины, а также с ограниченной глубиной финансовых рынков[3].

Нормативно-правовые и институциональные аспекты функционирования SML подробно освещены в официальных материалах правительственных и наднациональных структур MERCOSUR, включая разъяснения правительства Аргентины[4] и информационные обзоры специализированных порталов[5]. Значительный массив эмпирических данных содержится в публикациях Центрального банка Аргентинской Республики (Banco Central de la República Argentina, BCRA) и Центрального банка Бразилии (Banco Central do Brasil, BCB), где раскрываются динамика валютных операций, механизмы курсообразования и операционные параметры SML[6].

Отдельную группу источников составляют материалы профессиональных объединений экспортеров, акцентирующие внимание на практических аспектах использования расчетов в национальных валютах[7]. Прикладной взгляд на SML как инструмент внешнеторговых расчетов

[2] Pardo E.C. (2017) El Sistema de Monedas Locales (SML): una alternativa al desarrollo. *Informe Integrar*, 103. [online] Available at: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/75445/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[3] Cruz F.N. (2019) *Desafios da integração financeira no Mercosul: uma análise do Sistema de Pagamentos em Moeda Local Brasil-Argentina sob a ótica da hierarquia monetária*, Diamantina – CEDEPLAR-UFMG. [online] Available at: https://diamantina.cedeplar.ufmg.br/portal/download/diamantina-2019/D18_198.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[4] Argentina.gob.ar (2019) *Mercosur – Sistema de Pagos en Moneda Local*. [online] Available at: https://www.argentina.gob.ar/justicia/derecho-facil/leysimple/mercosur-transacciones-comerciales-sistema-pagos-moneda-local [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[5] MercosurABC (2008) *Lo que hay que saber sobre el nuevo Sistema de Pagos en Moneda Local*. [online] Available at: https://www.mercosurabc.com.ar/lo_que_hay_que_saber_sobre_el_nuevo_sistema_de_pagos_en_moneda_local [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[6] BCRA (2025) *Evolución del Mercado de Cambios y Balance Cambiario*. [online] Available at: https://www.bcra.gob.ar/archivos/Pdfs/PublicacionesEstadisticas/Informe_Julio_2025.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish); BCRA (2026) *Sistema de Pagos en Moneda Local* (*SML*). [online] Available at: https://web2.bcra.gob.ar/MediosPago/Sistema_de_Pagos_en_Moneda_Local-SML.asp [Accessed 21.02.2026] (in Spanish); BCRA (2026) *Tipo de Cambio*. [online] Available at: https://www.bcra.gob.ar/tipo-de-cambio-sml/ [Accessed 21.02.2026] (in Spanish); BCRA (2023) *Informe Monetario Mensual*. [online] Available at: https://www.bcra.gob.ar/archivos/Pdfs/PublicacionesEstadisticas/informe-monetario-mensual-sep-2023.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish); BCB (2026) *Pagos en moneda local*. [online] Available at: https://www.bcb.gov.br/es/pagos-moneda-local [Accessed 21.02.2026] (in Portuguese)

[7] ALADI (2026) *Sistema de Pagos en Moneda Local* (*SML*). [online] Available at: https://www.aladi.org/facilitacion-del-comercio/cooperacion-financiera-y-monetaria-en-la-aladi/sistema-de-pagos-en-moneda-local-sml/ [Accessed 21.02.2026] (in Spanish); Unión de Exportadores (2026) *Resumen del taller de pagos en moneda local*. [online] Available at: https://www.uniondeexportadores.com/_datos/uploads/Resumen_taller_de_pagos_en_moned.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish); BCU (2014) *Sistema de Pagos*. [online] Available at: https://www.bcu.gub.uy/Sistema-de-Pagos/Reporte%20Informativo/repspagos1214.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

представлен в публикациях коммерческих банков и аналитических центров, в частности Banco Santander Brasil и FUNCEX, где подчеркивается потенциал системы при условии активной государственной и институциональной поддержки[8]. В совокупности рассмотренная литература формирует целостное представление о SML как о значимом, но институционально ограниченном элементе альтернативной региональной платежной инфраструктуры.

Целью исследования были выявление факторов успеха и оценка вклада в конкурентоспособность бизнеса и ограничений масштабирования институционального инновационного проекта на примере SML для формулирования универсальных уроков и разработки методики создания аналогичных систем.

Для достижения этой цели были последовательно решены следующие *задачи*:

1) SML квалифицирована как институциональный инновационный проект, и проанализирована его институциональная эволюция;

2) выявлены и систематизированы факторы успеха институционального инновационного проекта SML, ограничения, сдерживающие масштабирование, сформулированы универсальные уроки этой институциональной инновации;

3) оценен вклад инновации SML в повышение конкурентоспособности малых и средних предприятий (МСП).

4) разработана методика в форме «дорожной карты» создания и масштабирования институциональных инновационных проектов (на примере трансграничных расчетов).

Объект исследования – институциональные инновации как форма институциональных изменений, в частности, реализованных в сфере трансграничных расчетов.

Предмет исследования – факторы успеха и ограничения масштабирования институционального инновационного проекта на примере SML.

Методы и материалы

Методически работа базируется на комплексном подходе. Историко-логический анализ применен для реконструкции эволюции SML, институциональный анализ применен для выявления формальных правил, норм и соглашений, легитимизирующих институциональную инновацию. Кейс-анализ использован для исследования SML как уникального прецедента институционального инновационного проекта. Количественный анализ временных рядов позволил выявить динамику операций SML за 2018–2026 гг., корреляцию объемов платежей с валютными кризисами и политическими событиями («эффект Милея»). Метод моделирования применен для разработки «дорожной карты» – методики создания и масштабирования институциональных инновационных проектов, учитывающей выявленные уроки, факторы успеха и ограничения.

Информационную базу составили три группы источников:

1) официальные документы MERCOSUR, двусторонние соглашения BCRA, BCB, Центрального банка Уругвая (Banco Central del Uruguay, BCU) и Центрального банка Парагвая (Banco Central del Paraguay, BCP), а также регламенты, регулирующие SML;

2) статистические данные BCRA и BCB;

3) аналитические материалы и научные публикации латиноамериканских исследователей, посвященные проблемам региональной финансовой интеграции и функционированию системы.

[8] BCB (2026) *Sistema de Pagamento em Moeda Local* (*SML*) [online] Available at: https://www.santander.com.br/comercio-exterior-e-cambio/servicos-internacionais/sistema-pagamento-moeda-local [Accessed 21.02.2026] (in Portuguese); Carvalho Jr. M.C. (2023) *Incentivar o Sistema de Pagamentos em Moeda Local* (*SML*) *entre Brasil e Argentina é Preciso, e Possível!* [online] Available at: https://www.funcex.org.br/publicacoes/analises/Funcex_NegociosInternacionaisEmFoco_2023_06.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

Результаты и обсуждение

Эволюция и современное состояние SML

Первые идеи создания в Южной Америке региональной системы взаимных расчетов и взаимозачетов возникли в конце 1940-х гг. Экономическая Комиссия Латинской Америки и Карибского Бассейна (англ. *Economic Commission for Latin America and the Caribbean*, ECLAC) в 1948 г., во время своей первой сессии в Сантьяго, обратилась к МВФ с просьбой рассмотреть «возможность и удобства создания системы многостороннего клиринга международных платежей между странами Латинской Америки»[9]. Однако на тот момент МВФ не дал возможности реализовать предложения южноамериканских стран.

Официальные обсуждения продолжились спустя десятилетие. Целью было создать клиринговую систему, аналогичную Европейскому платежному союзу (англ. *European Payments Union*, EPU), которая сумела бы стимулировать региональную торговлю. Официальные предложения, сформулированные на заседаниях Торгового комитета ECLAC (1956 г.), на встречах центральных банков в Монтевидео (1957 г.) и Рио-де-Жанейро (1958 г.) получили на тот момент критику со стороны и США, и МВФ.

Спустя еще десятилетие в 1965 г. на базе Латиноамериканской ассоциации свободной торговли (англ. *Latin American Free Trade Association*, LAFTA, с 1981 г. – Латиноамериканской ассоциации интеграции (англ. *Latin American Integration Association*, LAIA)), была создана Многосторонняя клиринговая система для взаимных платежей и кредитов (исп. *Sistema de Compensación de Pagos y Créditos Recíprocos*, CPCR). За первые двадцать лет эта система осуществляла расчеты около 90% внутрирегионального импорта с балансированной долей своих членов[10].

Однако с 1990-х гг. CPCR перестала функционировать и постепенно утратила значение, причина – LAIA не предвидела изменения, связанные с финансовой глобализацией, и не отреагировала на них. Характерным фоном стали не только глобальное устранение валютного контроля и большая степень международной финансовой интеграции, но и торговое и финансовое дерегулирование. Наличие международных резервов от иностранных инвестиций заставило центральные банки избегать риски, связанные с внутрирегиональными сделками, и предпочитать авансовые платежи вместо ожидания периодических компенсаций.

К середине 2000-х гг. в Южной Америке сложилась следующая социально-экономическая ситуация – смена правительств и переориентация внешней политики в регионе с глобальной на внутрирегиональную интеграцию. На макроуровне – колебания доллара показали неспособности влиять на денежно-кредитную политику США и снизить угрозы потери накопленных резервов. На микроуровне это вылилось в неуверенность со стороны бизнесменов, которые оказывали давление на Центральные Банки, чтобы те предоставили им альтернативные опции доллару.

Эти факторы и явились движущий силой создания SML – «в тени возросшего интереса к большей геополитической интеграции блока» с марта 2006 г. BCRA и BCB начали работу[11].

Дальнейшая эволюция проекта SML была следующая:

– сентябрь 2006 г.: предложение министров экономики и президентов центральных банков MERCOSUR о проведении коммерческих операций в местных валютах;

– декабрь 2006 г.: Аргентина–Бразилия – подписание Письма о намерениях; Решение Совета общего рынка (исп. *Consejo del Mercado Común*, CMC) 38/06 о поддержке проекта;

[9] Pardo E.C. (2017) El Sistema de Monedas Locales (SML): una alternativa al desarrollo. *Informe Integrar*, 103. [online] Available at: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/75445/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[10] Pardo E.C. (2017) El Sistema de Monedas Locales (SML): una alternativa al desarrollo. *Informe Integrar*, 103. [online] Available at: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/75445/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[11] MercosurABC (2008) *Lo que hay que saber sobre el nuevo Sistema de Pagos en Moneda Local*. [online] Available at: https://www.mercosurabc.com.ar/lo_que_hay_que_saber_sobre_el_nuevo_sistema_de_pagos_en_moneda_local [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

– июнь 2007 г.: решение CMC 25/07 об учреждении SML для торговли между государствами-участниками на факультативной основе;

– сентябрь 2008 г.: Аргентина–Бразилия – подписание Соглашения и операционных правил между BCRA и BCB;

– октябрь 2008 г.: официальное начало эксплуатации SML Аргентина–Бразилия;

– октябрь 2009 г.: Бразилия–Уругвай – подписание Письма о намерениях;

– август 2012 г.: Аргентина–Уругвай – подписание Письма о намерениях;

– декабрь 2014 г.: Бразилия–Уругвай – подписание Соглашения;

– июнь 2015 г.: Аргентина–Уругвай – подписание Соглашения;

– октябрь 2015 г.: Парагвай–Уругвай – подписание Соглашения.

SML основана на двух ключевых решениях CMC:

– Решение 38/06 (декабрь 2006 г.) поддержало Письмо о намерениях между Аргентиной и Бразилией, признав целесообразным искать пути «повышения конкурентоспособности производственных секторов MERCOSUR», «снижения финансовых издержек в коммерческих сделках» и «содействия коммерческой деятельности МСП»[12];

– Решение 25/07 (июнь 2007 г.) официально создало SML, установив, что оно «способствует углублению региональной интеграции, а также увеличению обмена товарами между государствами-участниками» и что условия будут определяться через добровольные двусторонние соглашения[13].

В настоящее время четыре страны MERCOSUR подписали двусторонние соглашения и оперативные регламенты. Но только у BCRA действуют три соглашения: с BCB, BCU и BCP. Современный тренд SML – на расширение соглашений с торговли товарами на торговлю услугами, трансферты на семейную помощь и пенсионные выплаты (табл. 1).

Таблица 1. Двусторонние соглашения об оплате в национальных валютах
Table 1. Bilateral agreements on payment in national currencies

Двустороннее соглашение	Поддерживаемые операции	Валюты
Аргентина–Бразилия	Внешняя торговля товарами и услугами (до 360 дней); пенсионные выплаты	ARS/BRL
Аргентина–Парагвай	Внешняя торговля товарами и услугами, сопутствующие операции; переводы семейной помощи	ARS/PYG
Аргентина–Уругвай	Внешняя торговля товарами и услугами; пенсионные выплаты; переводы семейной помощи	ARS/URU
Бразилия–Уругвай	Внешняя торговля товарами	BRL/URU

Источник: составлено авторами на основе данных[14].

В настоящее время SML – это двусторонняя платежная система с широкой концепцией для допуска платежей, связанных с операциями любого характера между физическими и юридическими лицами. Систематизировать ее характеристики можно следующим образом:

[12] Pardo E.C. (2017) El Sistema de Monedas Locales (SML): una alternativa al desarrollo. *Informe Integrar*, 103. [online] Available at: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/75445/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[13] Argentina.gob.ar (2019) *Mercosur – Sistema de Pagos en Moneda Local*. [online] Available at: https://www.argentina.gob.ar/justicia/derechofacil/leysimple/mercosur-transacciones-comerciales-sistema-pagos-moneda-local [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[14] BCRA (2026) Tipo de Cambio. [online] Available at: https://www.bcra.gob.ar/tipo-de-cambio-sml/ [Accessed 21.02.2026] (in Spanish); BCU (2014) Sistema de Pagos. [online] Available at: https://www.bcu.gub.uy/Sistema-de-Pagos/Reporte%20Informativo/repspagos1214.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish); BCB (2026) Sistema de Pagamento em Moeda Local (SML) [online] Available at: https://www.santander.com.br/comercio-exterior-e-cambio/servicos-internacionais/sistema-pagamento-moeda-local [Accessed 21.02.2026] (in Portuguese)

• опциональность и дополнительность – SML не заменяет другие трансграничные платежные системы, ее использование является добровольным[15];

• работа исключительно в местных валютах – операции не могут осуществляться в долларах или других иностранных валютах (например, аргентинский экспорт должен фиксироваться в аргентинских песо, а аргентинский импорт – в валюте экспортера)[16];

• безвозмездность со стороны центрального банка – центральные банки не взимают комиссии за выполняемые ими процедуры[17];

• неограниченность по сумме – нет минимальных или максимальных сумм для торговли[18];

• неформальность документации – изменения во внешнеторговой документации не требуются, за исключением того, что операция должна быть зафиксирована в местной валюте экспортирующей стороны[19];

• отсутствие механизма хеджирования – SML не защищает от валютного риска; пользователи должны использовать другие инструменты для этой цели[20];

• отсутствие гарантийных обязательств к участникам со стороны центрального банка – центральные банки выступают не гарантами, а только посредниками, не принимая на себя взаимный кредитный риск участников сделки или кредитный риск финансовых учреждений[21].

Механизм SML

Участники (элементы) этого механизма – BCRA, BCB, BCU и BCP выступают в роли посредников, проводят клиринг балансов и публикуют курс SML. Уполномоченные финансовые учреждения – коммерческие банки, уполномоченные своими Центральными Банками для работы в SML, в целом все коммерческие банки с офисами в странах-участниках имеют такую лицензию. Импортеры и экспортеры – физические и юридические лица, проживающие в странах-членах, осуществляющие внешнеэкономическую деятельность.

Обменный курс SML является центральной движущей силой этого механизма. Он основывается на межбанковском валютном рынке стран и рассчитывается как кросс-курс по среднему показателю конверсионных операций по долларам США. Например, в случае Бразилия–Аргентина это соотношение между средней ставкой закрытия PTAX (реал/доллар) и аргентинской эталонной ставкой (песо/доллар). Тот факт, что ставка определяется на межбанковском рынке, означает, что она очень похожа на оптовую ставку, особенно благоприятствующую МСП, которые на розничном рынке обычно имеют доступ к менее выгодным ставкам[22].

Курс SML публикуется ежедневно центральными банками после закрытия рынка. Он одинаковый независимо от объема сделки.

Финансовые учреждения не обязаны работать по курсу SML, опубликованному центральным банком: они могут устанавливать свой собственный обменный курс для каждой операции

[15] ALADI (2026) *Sistema de Pagos en Moneda Local* (*SML*). [online] Available at: https://www.aladi.org/facilitacion-del-comercio/cooperacion-financiera-y-monetaria-en-la-aladi/sistema-de-pagos-en-moneda-local-sml/ [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[16] BCRA (2026) *Sistema de Pagos en Moneda Local* (*SML*). [online] Available at: https://web2.bcra.gob.ar/MediosPago/Sistema_de_Pagos_en_Moneda_Local-SML.asp [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[17] Unión de Exportadores (2026) *Resumen del taller de pagos en moneda local*. [online] Available at: https://www.uniondeexportadores.com/_datos/uploads/Resumen_taller_de_pagos_en_moned.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

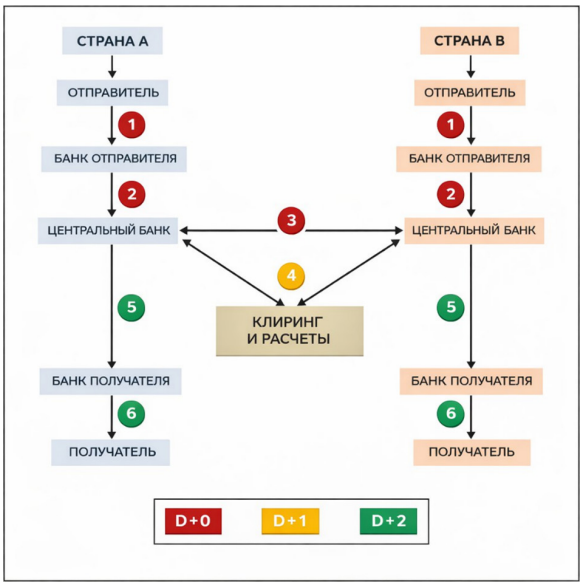
[18] BCRA (2026) *Sistema de Pagos en Moneda Local* (*SML*). [online] Available at: https://web2.bcra.gob.ar/MediosPago/Sistema_de_Pagos_en_Moneda_Local-SML.asp [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[19] BCRA (2026) *Sistema de Pagos en Moneda Local* (*SML*). [online] Available at: https://web2.bcra.gob.ar/MediosPago/Sistema_de_Pagos_en_Moneda_Local-SML.asp [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[20] Unión de Exportadores (2026) *Resumen del taller de pagos en moneda local*. [online] Available at: https://www.uniondeexportadores.com/_datos/uploads/Resumen_taller_de_pagos_en_moned.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[21] Pardo E.C. (2017) El Sistema de Monedas Locales (SML): una alternativa al desarrollo. *Informe Integrar*, 103. [online] Available at: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/75445/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

[22] Pardo E.C. (2017) El Sistema de Monedas Locales (SML): una alternativa al desarrollo. *Informe Integrar*, 103. [online] Available at: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/75445/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)



Источник: составлено авторами.

Рис. 1. Механизм SML

Fig. 1. SML mechanism

непосредственно с клиентами. Также финансовые учреждения могут взимать комиссию за регистрацию операций в SML по усмотрению каждого из них[23].

Операционный цикл транзакции SML проходит в три рабочих дня (D+0, D+1 и D+2). Выделим шесть его основных этапов (рис. 1).

День 0 (D+0) – регистрация и оплата импортером

Этап 1 – инициация импортера. Импортер (переводчик средств) после заключения сделки с экспортером (получателем), задокументированной в его местной валюте, направляется в банк в своей стране, регистрирует операцию и осуществляет оплату в своей собственной местной валюте. Конвертация осуществляется либо на основе обменного курса, согласованного с банком, либо на основе самого опубликованного курса SML.

Этап 2 – регистрация в центральном банке. Банк регистрирует операцию в своем центральном банке, переводя ему эквивалент в национальной валюте.

Этап 3 – коммуникация между центральными банками. Каждый центральный банк накапливает поступающие в течение дня ордеры и при закрытии сообщает о зарегистрированных операциях своему контрагенту.

День 1 (D+1) – межбанковский клиринг и расчеты

Этап 4 – двусторонний клиринг. Центральные банки консолидируют импортные операции и определяют ликвидный (чистый) баланс, рассчитываемый на основе курса SML. Центральный банк должника переводит эту стоимость кредитору через перевод международных резервов в долларах США – расчет на рынке Нью-Йорка.

Важное замечание. SML не подразумевает полную дедолларизацию торговли: расчеты между центральными банками осуществляются в долларах США, поскольку песо и реал не являются международными резервными инструментами. Устраняется лишь необходимость частных агентов (импортеров и экспортеров) работать на мировом валютном рынке.

[23] Cruz F.N. (2019) *Desafios da integração financeira no Mercosul: uma análise do Sistema de Pagamentos em Moeda Local Brasil-Argentina sob a ótica da hierarquia monetária*, Diamantina – CEDEPLAR-UFMG. [online] Available at: https://diamantina.cedeplar.ufmg.br/portal/download/diamantina-2019/D18_198.pdf [Accessed 21.02.2026] (in Spanish)

День 2 (D+2) – получение средств экспортером

Этап 5 – перевод в финансовое учреждение экспортера. После подтверждения получения ресурсов центральным банком-кредитором центральные банки передают финансовым учреждениям указанные экспортерами средства в местной валюте, соответствующие совершенным продажам не позднее дня после получения средств от центрального банка страны происхождения.

Этап 6 – перевод экспортеру. Стоимость зачисляется на текущие счета соответствующих экспортеров.

SML не работает в выходные и праздничные дни в каждой из стран-участников, а также в праздничные дни в Нью-Йорке. Важно – предусматривается предоставление взаимного кредита до 10 млн долл. США («контингентная маржа») на случай, когда рынок расчетов (Нью-Йорк) не работает, чтобы поддержать работу системы в эти дни.

Экономические показатели

Общедоступной единой системной информации об SML-операциях нет, поэтому сложно проводить серьезные статистические анализы. Но некоторая информация публикуется, что позволяет сделать важные выводы в плане актуальности и востребованности альтернативных платежных систем.

Направления денежных потоков неравномерны. За первый период функционирования SML Бразилия–Аргентина (2008–2017 гг.) более 99% SML-денежных потоков были направлены из Аргентины в Бразилию.

Общее количество операций за 2008–2017 гг. – 62214, общий суммарный объем – примерно 7,4 млрд долл. США, то есть средний объем одной транзакции составил 120 тыс. долл. США.

Доля в двусторонней внешней торговле пока невелика – в 2017 г. в среднем она была менее 3% общего внешнеторгового оборота, но в 2024 г. возросла до 6%. Бразильский экспорт в Аргентину достиг примерно 16 млрд долл. США, а Аргентина произвела чистые платежи через SML на сумму около 0,825 млрд долл. США, то есть более 5%. Это позволяет с осторожностью говорить о том, что система превращается из второстепенного инструмента в структурный компонент финансирования региональной торговли.

Система не отличается стабильностью валютного курса. Были резкие (порядка 50%) падение песо / рост реала 2009 и 2016 гг., например в период отмены валютного контроля в Аргентине после инаугурации Маурисио Макри.

На рис. 2 представлена ежемесячная информация о бразильском экспорте в Аргентину, осуществляемом через SML.

Анализ SML второго периода функционирования (2018–2026 гг.) выявляет ключевые закономерности, которые обновляют и уточняют выводы первого (2008–2017 гг.).

Система достигает своей основополагающей цели демократизации доступа. Экспоненциальный рост числа сделок – эффект МСП. Количество ежемесячных сделок выросло со среднего показателя в 512 в 2019 г. до 1922 в 2024 г. (+275%), достигнув рекордного уровня в 2843 сделки в октябре 2024 г. Этот устойчивый рост в сочетании со снижением средней стоимости свидетельствует о массовом внедрении системы МСП, которые включили ее в качестве обычного инструмента для внешней торговли.

Циклическая уязвимость – SML как убежище от нехватки долларов США. В то время как количество сделок стабильно растет, ежемесячные суммы демонстрируют высокую волатильность, что коррелирует с циклами внешних ограничений в Аргентине. SML действует как антициклический механизм: компании используют его регулярно, но интенсивно прибегают к нему, когда доллар США недоступен. Пики использования совпадают с валютными кризисами (2018 и 2022–2024 гг.).



Источник: составлено авторами по данным[24].

Рис. 2. Количество и сумма экспорта за месяц – сводный ежемесячный отчет

Fig. 2. Quantity and amount of exports per month – consolidated monthly report

Экономическая уязвимость – исторический максимум в 2023 г., засуха и кризис запасов. Март 2023 г. являлся абсолютным пиком – 619,1 млн бразильских реалов за один месяц (примерно 124 млн долл. США). Этот максимум совпадает с исторической засухой в Аргентине и истощением валютных запасов BCRA, когда SML стал системным каналом для обеспечения необходимого импорта из Бразилии.

Политическая уязвимость – «*эффект Милея*» (*ноябрь–декабрь 2023 г.*). Резкие падения в ноябре (20,9 млн бразильских реалов, 46%) и декабре (57 млн бразильских реалов, 47%) объясняются не экономическими факторами, а календарем выборов в Аргентине. Победа Хавьера Милея (с предложениями о долларизации и закрытии BCRA) вызвала радикальную неопределенность в отношении непрерывности песо и самого SML, парализовав операции. Восстановление с февраля 2024 г. после подтверждения непрерывности системы свидетельствует о зависимости SML от политической и институциональной стабильности.

Инновационная ценность

С точки зрения теории инноваций SML представляет собой институциональную инновацию, обладающую следующими характеристиками:

1) новизна – отсутствие ранее действовавшего механизма двусторонних расчетов в национальных валютах в рамках MERCOSUR;

2) формализация – закрепление в Решениях СМС 38/06 и 25/07, а также в двусторонних соглашениях центральных банков;

3) институционализация– изменение институциональной среды, создание альтернативы традиционной долларовой модели расчетов;

4) масштабируемость – расширение с двустороннего (Аргентина–Бразилия) до многостороннего формата с участием Уругвая и Парагвая.

Вклад институциональной инновации SML в конкурентоспособность реализуется по трем каналам:

1) снижение транзакционных издержек за счет отсутствия комиссий центральных банков, доступа к оптовому обменному курсу (вместо розничного), минимальных требований к изменению

[24] BCB (2026) *Pagos en moneda local*. [online] Available at: https://www.bcb.gov.br/es/pagos-moneda-local [Accessed 21.02.2026] (in Portuguese)

документооборота; Внедрение SML снижает издержки конвертации на 1,5–2,5 процентного пункта по сравнению с розничным рынком. Отсутствие комиссий со стороны центральных банков и минимальные требования к изменению документооборота сокращают операционные издержки на одну сделку ориентировочно на 15–20% (оценка на основе сопоставления с тарифами банков по долларовым операциям).

2) повышение устойчивости цепочек поставок за счет того, что SML выступает каналом для импорта в условиях нехватки долларовой ликвидности;

3) снижение барьеров входа на региональные рынки, система позволяет компаниям, не имеющим доступа к долларовому финансированию, осуществлять внешнеторговые операции, осуществлять импорт важных товаров (например, в период засухи 2023 г., когда SML обеспечила до 6% бразильского экспорта в Аргентину).

Сформулируем *факторы*, обеспечивающие устойчивость и диффузию данной институциональной инновации, и обобщающие *уроки* для институциональных инноваций (табл. 2).

Таблица 2. Факторы успеха институционального инновационного проекта SML и универсальные уроки для институциональных инноваций
Table 2. Success factors of the institutional innovation project SML and universal lessons for institutional innovation

Категория факторов	Факторы успеха SML	Универсальный урок для институциональной инновации
Институциональные	• Добровольный характер • Опора на существующие двусторонние соглашения	Инновации с низким порогом входа имеют более высокую скорость диффузии
Экономические	• Отсутствие комиссий центральных банков • Доступ к оптовому обменному курсу	Снижение транзакционных издержек – ключевой драйвер принятия инноваций
Организационные	• Простота операционного цикла (D+0, D+1, D+2) • Минимальные изменения в документообороте	Сложность инновации обратно пропорциональна скорости ее принятия
Политические	• Поддержка на уровне центральных банков и правительств	Институциональные инновации требуют политической воли на этапе становления
Социальные	• Фокус на МСП как на «ранних последователях» (early adopters)	Верная сегментация пользователей ускоряет диффузию инноваций

Источник: составлено авторами.

С другой стороны, SML находится на этапе зарождающегося роста (доля в двусторонней торговле — около 6%, среднемесячный объем — до 124 млн долл. США) и демонстрирует как потенциал, так и структурные ограничения; несмотря на почти двадцатилетнюю историю, SML не стала реальной альтернативой традиционным долларовым расчетам. Причины этого кроются в отсутствии ряда важных механизмов, которые могут быть интерпретированы как ограничения, *сдерживающие масштабирование институциональной инновации*:

• отсутствие механизма хеджирования – пользователи подвержены валютному риску и вынуждены обращаться к внешним инструментам, что снижает привлекательность системы;

• отсутствие механизма финансирования – система не предусматривает предоставление кредитов внешнеторговым агентам, ограничивая ее использование в рамках торговых цепочек;

• отсутствие механизма непрерывности – система не работает в праздничные дни стран-участниц и в выходные, что создает риски задержек;

• наличие асимметрий – более 99% операций сосредоточены на бразильском экспорте в Аргентину, что свидетельствует о нерешенной проблеме структурных дисбалансов;

• сохранение долларового клиринга – расчеты между центральными банками осуществляются в долларах США, что не позволяет говорить о полной дедолларизации.

Кроме того, SML демонстрирует циклическую, экономическую и политическую уязвимости (последняя наиболее ярко проявилась в «эффекте Милея»).

Обобщая выявленные уроки и ограничения, авторы предлагают *методику в форме «дорожной карты» создания и масштабирования институциональных инновационных проектов* на примере сферы трансграничных расчетов (табл. 3). Методика включает четыре этапа проектного цикла (зарождение, становление, зрелость, экспансия) и четыре направления развития (валютно-финансовый механизм, технологическая платформа, институты и право, клиенты и принятие).

Для каждого этапа и направления идентифицируются уроки, факторы успеха и рекомендации, в данном случае выявленные на основе анализа SML. Это позволяет использовать представленную методику как модель при проектировании аналогичных инновационных систем (например, в рамках ЕАЭС, БРИКС).

Заключение

В результате исследований получены следующие результаты.

1) Институциональные инновации – одна из форм институциональных изменений, осуществляющихся в формальных и неформальных правилах и при их взаимодействии, придающих принципиально новое качество ее элементам либо знаменующих появление нового элемента институциональной структуры (субъекта, объекта, механизма институциональной среды); разрешающих существующие противоречия между элементами институциональной структуры и/или внешней средой; обуславливающих значимые изменения статусов и функций в каком-либо компоненте нормы или системе норм, которые приносят определенную частную, коллективную или общественную выгоду.

Южноамериканская SML – это институциональный инновационный проект, созданный на наднациональном уровне механизм, формализованный в решениях южноамериканского общего рынка MERCOSUR и в двусторонних соглашениях BCRA, BCB, BCU и BCP. В отличие от технологических инноваций (блокчейн, смарт-контракты), институциональная инновация SML фокусируется на перестройке правил взаимодействия экономических агентов, снижении транзакционных издержек и создании альтернативной институциональной среды для внешнеторговых операций в национальных валютах. Именно институциональный характер инновации – создание добровольного, опционального механизма, снижающего транзакционные издержки для МСП, – обеспечил ее устойчивость и диффузию в регионе.

2) Факторы успеха институциональных инноваций разделяются на институциональные, экономические, организационные, социальные и политические. Институциональные факторы успеха – это добровольный характер и опора на существующие механизмы; экономические – минимальные комиссии и получение преференций; организационные – простота понимания и необходимость минимальных изменений в документообороте; политические – государственная поддержка; социальные – фокус на МСП как на «ранних последователях».

Ограничения, сдерживающие масштабирование институциональной инновации – это отсутствие механизма хеджирования рисков; отсутствие механизма финансирования; отсутствие непрерывности; наличие асимметрий; фундаментальная опора на «старый» (доинновационный) механизм; циклическая, экономическая и политическая уязвимости.

3) Вклад институциональной инновации SML в повышение конкурентоспособности МСП реализуется по трем основным каналам: 1) снижение транзакционных издержек; 2) повышение устойчивости цепочек поставок; 3) снижение барьеров входа на новые рынки.

Таблица 3. Методика – дорожная карта создания и масштабирования институциональных инновационных проектов (на примере трансграничных расчетов)
Table 3. Methodology – roadmap for the creation and scaling of institutional innovation projects (using cross-border payments as an example)

Направление / Этап	I. Зарождение (Proof of Concept)	II. Становление (Growth)	III. Зрелость (Sustainability)	IV. Экспансия (Integration)
1. Финансовый механизм	**Урок SML.** Старт с двусторонних соглашений на добровольной основе. **Факторы успеха.** Добровольность снижает барьеры входа и позволяет тестировать инновацию без рисков. Фокус на паре стран с высоким торговым оборотом, но с разной экономической структурой.	**Урок SML:** Клиринг в долларах США между центральными банками сдерживает дедолларизацию.	**Урок SML:** Отсутствие механизмов хеджирования и кредитования ограничивает привлекательность для бизнеса.	**Урок SML:** Отсутствие стабилизационных механизмов.
		Рекомендация: Создание пула резервов / стабилизационного фонда / системы валютных свопов (по типу Чиангмайской инициативы) с возможностью использования региональных валют в качестве расширения не только как платежного, но и как финансового механизма.		
2. Технологическая платформа	**Урок SML:** Простота и понятность графика (D+2) **Фактор успеха:** Простота и понятность операционного цикла для конечного пользователя снижает порог принятия инновации.	**Урок SML:** Сложность интеграции с банковскими системами. **Рекомендация:** Внедрение открытых API (Open Banking)	**Урок SML:** Отсутствие цифровизации снижает доверие и повышает операционные риски. **Рекомендация.** Цифровая трансформация (создание экосистемы).	**Урок SML:** Несовместимость с другими платежными системами, что ограничивает масштабирование. **Рекомендация.** Разработка шлюзов для интероперабельности (в перспективе и на цифровые валюты центральных банков).
3. Институты и право	**Урок SML:** Решения MERCOSUR создали правовую базу на наднациональном уровне. **Фактор успеха.** Наличие межгосударственного соглашения легитимизирует инновацию и снижает политические риски. Наличие институциональной поддержки (центральные банки) важно для устойчивости инновации на старте.	**Урок SML:** Центральные банки не гарантируют сделки, что снижает доверие со стороны бизнеса. **Рекомендация:** Создание наднационального гарантийного фонда или агентства по страхованию рисков.	**Урок SML:** Узкий мандат (только платежи) не позволяет использовать систему для инвестиционных операций. **Рекомендация:** Расширение мандата на кредитование экспорта, инвестиционные операции и трансграничные переводы физических лиц.	**Урок SML:** Разные валютные и налоговые режимы стран-участниц создают административные барьеры. **Рекомендация:** Гармонизация валютного контроля и налогового учета для операций в национальных валютах (освобождение от двойного налога на конверсию).
4. Клиенты и принятие	**Урок SML:** Драйвер – МСП, наиболее чувствительные к транзакционным издержкам. **Фактор успеха.** Фокус на «ранних последователях» (МСП) с созданием упрощенного режима (отсутствие комиссий) обеспечивает первоначальную диффузию инновации.	**Урок SML:** Информационный вакуум: многие предприниматели не знают о существовании и преимуществах системы. **Рекомендация:** Запуск образовательных хабов, «песочниц» (sandboxes).	**Урок SML:** Политическая уязвимость («эффект Милея») демонстрирует зависимость инновации от институциональной стабильности. **Рекомендация:** Расширение пользовательской базы за счет физических лиц (денежные переводы, пенсионные выплаты).	**Урок SML:** Страх перед волатильностью национальных валют сдерживает принятие со стороны крупного бизнеса. **Рекомендация:** Внедрение механизмов субсидирования курса или токеномики (бонусы за лояльность к системе)

4) Авторская методика создания и масштабирования институциональных инновационных проектов представляет собой «дорожную карту» – матрицу, выделяющую этапы (столбцы): «Зарождение», «Становление», «Зрелость», «Экспансия»; а также направления (строки): «Финансовый механизм», «Технологическая платформа», «Институты и право», «Клиенты и принятие».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гундырина Т.О. (2011) Институциональные инновации как форма институциональных изменений. *Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета*, 4 (38), 9–14.

2. Колотырин Д.А. (2012) Институциональные инновации как результат институциональных изменений. *Вестник Саратовского государственного технического университета*, 3 (1 (67)), 281–283.

3. Raffaelli R., Glynn M.A. (2015) Institutional Innovation: Novel, Useful, and Legitimate. In: *The Oxford Handbook of Creativity, Innovation, and Entrepreneurship* (eds. C.E. Shalley, M.A. Hitt, J. Zhou), Oxford: Oxford University Press, 407–420. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199927678.013.0019

4. AlMalki H.A., Durugbo C.M. (2023) Systematic review of institutional innovation literature: towards a multi-level management model. *Management Review Quarterly*, 73 (2), 731–785. DOI: 10.1007/s11301-022-00259-8

5. Hancock D., Humphrey D.B. (1997) Payment transactions, instruments, and systems: A survey. *Journal of Banking & Finance*, 21 (11–12), 1573–1624. DOI: 10.1016/S0378-4266(97)00046-0

6. Kahn C.M., Roberds W. (2009) Why pay? An introduction to payments economics. *Journal of Financial Intermediation*, 18 (1), 1–23. DOI: 10.1016/j.jfi.2008.09.001

7. Bech M., Hancock J. (2020) Innovations in payments. In: *BIS Quarterly Review* (eds. C. Borio, S. Claessens, B. Mojon, H.S. Shin, Ph. Wooldridge), Basel: Bank for International Settlements, 21–36.

8. Bolt W., van Oordt M. (2020) On the Value of Virtual Currencies. *Journal of Money, Credit and Banking*, 52 (4), 835–862. DOI: 10.1111/jmcb.12619

9. Ricci L.A., Ahokpossi C., Quayyum S.N., Turk R.A., Belianska A., Cangul M., Fuje H., Lee S., Li G.B., Li X., Mu Y., Mwase N., Ree J.J., Shi H., Kramarenko V. (2025) Digital Payment Innovations in Sub-Saharan Africa. Departamental Papers, 2025 (004). DOI: 10.5089/9798400232220.087

10. Kaltenbrunner A., Orsi B. (2025) Chapter 17 – Regional Payment Systems and Monetary Hierarchy. In: *The Cambridge Global Handbook of Financial Infrastructure* (eds. C. Westermeier, M. Campbell-Verduyn, B. Brandl), Cambridge: Cambridge University Press, 209–233. DOI: 10.1017/97810094281-18.020

11. Asian Development Bank (2022) *Collective Investment Scheme Transactions in ASEAN+3: Benchmark Product and Market Infrastructure Design*, Manila: Asian Development Bank. DOI: 10.22617/TCS220374-2

12. African Export-Import Bank (2023) *Trade and Market Update: Payment and Settlement Systems and Intra-African Trade*. [online] Available at: https://research.knowledge.afreximbank.com/do/10.5555/c39c9a52dbbe38e2987f4a35b6b49b125d6cae66aab407a0312ea4e7e67d4e25/full/media/trade-and-market-update-2023-payment-and-settlement-systems-and-intra-african-trade.pdf [Accessed 28.08.2026]

13. Schachtschneider J. (2022) CIPS – China's Cross-Border Interbank Payment System and Its Role Within the RMB Internationalization Process. *SSRN Electronic Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.4096107

14. AfricaNenda foundation, ECA, World Bank Group (2024) *The state of inclusive instant payment systems in Africa*. [online] Available at: https://africanenda.org/wp-content/uploads/siips_2024_mainreport_EN.1.pdf [Accessed 28.08.2026]

15. Buterin V. (2014) *Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform* (*Ethereum White Paper*). [online] Available at: https://courses.cs.duke.edu/spring23/compsci512/papers/ethereum.pdf [Accessed 21.02.2026]

16. Schär F. (2021) Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 103 (2), 153–174. DOI: 10.20955/r.103.153-74

17. Gudgeon L., Perez D., Harz D., Livshits B., Gervais A. (2020) The Decentralized Financial Crisis: Attacking DeFi. *arXiv:2002.08099v2*, 1–20. DOI: 10.48550/arXiv.2002.08099

18. Aramonte S., Huang W., Schrimpf A. (2021) DeFi risks and the decentralisation illusion. In: *BIS Quarterly Review* (eds. C. Borio, S. Claessens, B. Mojon, H.S. Shin, N. Tarashev), Basel: Bank for International Settlements, 21–36.

19. Пшеничников В.В. (2020) Перспективы эмиссии цифрового рубля и его функционирования в платежном обороте страны. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*, 13 (6), 101–109. DOI: 10.18721/JE.13609

20. Дюдикова Е.И. (2020) Модели интеграции цифровых технологий в международное платежное пространство. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*, 13 (3), 187–200. DOI: 10.18721/JE.13314

21. Kudryavtseva T., Berawi M.A., Campos Devezas T., Barykin S.E. (2024) *Understanding the Digital Transformation of Socio-Economic-Technological Systems*, Cham: Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-56677-6

REFERENCES

1. Gundyrina T.O. (2011) Institutional innovations as the form of institutional changes. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta* [*Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*], 4 (38), 9–14.

2. Kolotyrin D.A. (2012) Institutional innovations as a result of institutional changes. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta* [*Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*], 3 (1 (67)), 281–283.

3. Raffaelli R., Glynn M.A. (2015) Institutional Innovation: Novel, Useful, and Legitimate. In: *The Oxford Handbook of Creativity, Innovation, and Entrepreneurship* (eds. C.E. Shalley, M.A. Hitt, J. Zhou), Oxford: Oxford University Press, 407–420. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199927678.013.0019

4. AlMalki H.A., Durugbo C.M. (2023) Systematic review of institutional innovation literature: towards a multi-level management model. *Management Review Quarterly*, 73 (2), 731–785. DOI: 10.1007/s11301-022-00259-8

5. Hancock D., Humphrey D.B. (1997) Payment transactions, instruments, and systems: A survey. *Journal of Banking & Finance*, 21 (11–12), 1573–1624. DOI: 10.1016/S0378-4266(97)00046-0

6. Kahn C.M., Roberds W. (2009) Why pay? An introduction to payments economics. *Journal of Financial Intermediation*, 18 (1), 1–23. DOI: 10.1016/j.jfi.2008.09.001

7. Bech M., Hancock J. (2020) Innovations in payments. In: *BIS Quarterly Review* (eds. C. Borio, S. Claessens, B. Mojon, H.S. Shin, Ph. Wooldridge), Basel: Bank for International Settlements, 21–36.

8. Bolt W., van Oordt M. (2020) On the Value of Virtual Currencies. *Journal of Money, Credit and Banking*, 52 (4), 835–862. DOI: 10.1111/jmcb.12619

9. Ricci L.A., Ahokpossi C., Quayyum S.N., Turk R.A., Belianska A., Cangul M., Fuje H., Lee S., Li G.B., Li X., Mu Y., Mwase N., Ree J.J., Shi H., Kramarenko V. (2025) Digital Payment Innovations in Sub-Saharan Africa. Departamental Papers, 2025 (004). DOI: 10.5089/9798400232220.087

10. Kaltenbrunner A., Orsi B. (2025) Chapter 17 – Regional Payment Systems and Monetary Hierarchy. In: *The Cambridge Global Handbook of Financial Infrastructure* (eds. C. Westermeier, M. Campbell-Verduyn, B. Brandl), Cambridge: Cambridge University Press, 209–233. DOI: 10.1017/97810094281-18.020

11. Asian Development Bank (2022) *Collective Investment Scheme Transactions in ASEAN+3: Benchmark Product and Market Infrastructure Design*, Manila: Asian Development Bank. DOI: 10.22617/TCS220374-2

12. African Export-Import Bank (2023) *Trade and Market Update: Payment and Settlement Systems and Intra-African Trade*. [online] Available at: https://research.knowledge.afreximbank.com/do/10.5555/c39c9a52dbbe38e2987f4a35b6b49b125d6cae66aab407a0312ea4e7e67d4e25/full/media/trade-and-market-update-2023-payment-and-settlement-systems-and-intra-african-trade.pdf [Accessed 28.08.2026]

13. Schachtschneider J. (2022) CIPS – China's Cross-Border Interbank Payment System and Its Role Within the RMB Internationalization Process. *SSRN Electronic Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.4096107

14. AfricaNenda foundation, ECA, World Bank Group (2024) *The state of inclusive instant payment systems in Africa*. [online] Available at: https://africanenda.org/wp-content/uploads/siips_2024_main-report_EN.1.pdf [Accessed 28.08.2026]

15. Buterin V. (2014) *Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform* (*Ethereum White Paper*). [online] Available at: https://courses.cs.duke.edu/spring23/compsci512/papers/ethereum.pdf [Accessed 21.02.2026]

16. Schär F. (2021) Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 103 (2), 153–174. DOI: 10.20955/r.103.153-74

17. Gudgeon L., Perez D., Harz D., Livshits B., Gervais A. (2020) The Decentralized Financial Crisis: Attacking DeFi. *arXiv:2002.08099v2*, 1–20. DOI: 10.48550/arXiv.2002.08099

18. Aramonte S., Huang W., Schrimpf A. (2021) DeFi risks and the decentralisation illusion. In: *BIS Quarterly Review* (eds. C. Borio, S. Claessens, B. Mojon, H.S. Shin, N. Tarashev), Basel: Bank for International Settlements, 21–36.

19. Pshenichnikov V.V. (2020) Prospects of issuing digital ruble and its functioning in the country's payment turnover. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 13 (6), 101–109. DOI: 10.18721/JE.13609

20. Dyudikova E.I. (2020) Models for integrating digital technologies into the international payment space. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 13 (3), 187–200. DOI: 1018721/JE.13314

21. Kudryavtseva T., Berawi M.A., Campos Devezas T., Barykin S.E. (2024) *Understanding the Digital Transformation of Socio-Economic-Technological Systems*, Cham: Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-56677-6

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ЛЮКЕВИЧ Игорь Николаевич
E-mail: lin.stu@yandex.ru
Igor N. LYUKEVICH
E-mail: lin.stu@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5997-3937

ВЕГА БОНИЛЛА Джеральд Самуэль
E-mail: vegabonilla2.d@edu.spbstu.ru
Gerald Samuel VEGA BONILLA
E-mail: vegabonilla2.d@edu.spbstu.ru

МЕЛИКЯН Арцрун Врежевич
E-mail: artsrunarm@gmail.com
Artsrun V. MELIKYAN
E-mail: artsrunarm@gmail.com

Поступила: 10.04.2026; Одобрена: 29.06.2026; Принята: 30.06.2026.
Submitted: 10.04.2026; Approved: 29.06.2026; Accepted: 30.06.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 157–179.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 157–179.

Экономика и менеджмент предприятий и комплексов
Economy and management of enterprise and complexes

Обзорная статья
УДК 332.1
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19409
EDN: https://elibrary/VRVBIC

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ САМООРГАНИЗАЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ НА ОСНОВЕ БИБЛИОМЕТРИЧЕСКОГО ОБЗОРА

Р.К. Поляков ✉

Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Российская Федерация

✉ ruslan.polyakov@klgtu.ru

Аннотация. Усиление международной конкуренции на фоне хронической турбулентности глобальной экономической системы закономерно смещает фокус современных исследований в сторону регионализации и детерминант пространственной концентрации экономической активности. Однако, несмотря на значительный объем накопленных в мире знаний, феномен самоорганизации промышленных кластеров до сих пор не получил достаточного теоретического осмысления. Методологическая сложность его изучения закономерно порождает концептуальный разрыв между эмпирическими данными и существующими моделями. Поэтому цель исследования – синтез результатов систематического обзора академической литературы за 1980–2021 гг. о методах и подходах к анализу промышленных кластеров с фокусом на выявление исследований в области их пространственной самоорганизации. В представленном исследовании проверяется гипотеза, согласно которой кластеры обладают свойствами самоорганизующейся динамической системы, принципиально отличными от предпосылок и механизмов, заложенных в традиционных теоретических моделях. Имплицитный характер данных процессов заключается в том, что эндогенные силы пространственной концентрации, специализации и кооперации порождают спонтанный порядок, который не может быть адекватно описан в рамках доминирующих управленческих или неоклассических подходов, делающих акцент на внешних эффектах масштаба либо на целенаправленном стратегическом регулировании. В этой связи в работе применен многомерный библиометрический анализ к 2000 наиболее цитируемым документам из базы данных Scopus за 1980–2021 гг., включая частотный анализ ключевых слов, картирование цитирования, тематическую эволюцию, закон Брэдфорда, а также блок-схему PRISMA для систематического обзора публикаций. В рамках исследования обнаружено, что фундаментальные вопросы самоорганизации кластеров остаются малоизученными и игнорируются в академических кругах, а российские исследования преимущественно следуют в русле управленческой школы М.Э. Портера, что ограничивает развитие кластерных структур в Российской Федерации. В работе построены тематические карты и сети ключевых слов, которые подтверждают непосредственную связь самоорганизации с агломерацией, концентрацией и локальными производственными системами. Теоретическая значимость представленного исследования заключается в обосновании необходимости перехода от «портерианства» к теории самоорганизующегося кластера, а практическая – в систематизации методов идентификации, способствующих совершенствованию региональной политики и стратегий кластерного управления.

© Поляков Р.К., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Ключевые слова: библиометрический анализ, промышленный кластер, самоорганизация, новая экономическая география, пространственная концентрация, портерианство, методология выявления кластеров

Для цитирования: Поляков Р.К. (2026) Анализ исследований самоорганизации экономических кластеров на основе библиометрического обзора. π-Economy, 19 (4), 157–179. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19409

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19409

ANALYSIS OF RESEARCH ON SELF-ORGANIZATION OF ECONOMIC CLUSTERS BASED ON A BIBLIOMETRIC REVIEW

R.K. Polyakov ✉

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation

✉ ruslan.polyakov@klgtu.ru

Abstract. Increased international competition under conditions of chronic turbulence in the global economic system shifts the focus of modern research towards regionalization and the determinants of spatial concentration of economic activity. However, despite the significant amount of knowledge accumulated in the world, the phenomenon of self-organization of industrial clusters has not yet received sufficient theoretical understanding. The methodological complexity of its study gives rise to a conceptual gap between empirical data and existing models. Therefore, the aim of the study is to synthesize the results of a systematic review of the academic literature for 1980–2021 on methods and approaches to the analysis of industrial clusters with a focus on identifying studies in the field of their spatial self-organization. The presented study tests the hypothesis that clusters have properties of a self-organizing dynamic system that are fundamentally different from the prerequisites and mechanisms inherent in traditional theoretical models. The implicit nature of these processes is that the endogenous forces of spatial concentration, specialization and cooperation give rise to a spontaneous order that cannot be adequately described within the framework of dominant managerial or neoclassical approaches that emphasize externalities of scale or targeted strategic regulation. To this end, the paper applies multivariate bibliometric analysis to the 2000 most cited documents in the Scopus database from 1980 to 2021, including keyword frequency analysis, citation mapping, topic evolution, Bradford's law, and the PRISMA flowchart for systematic review of publications. The study revealed that the fundamental issues of self-organization of clusters remain poorly understood and ignored in academic circles, and Russian research mainly follows the principles of Porter management school, which limits the development of cluster structures in the Russian Federation. The work constructed thematic maps and networks of keywords that confirm the direct connection of self-organization with agglomeration, concentration, and local production systems. The theoretical significance of the presented research lies in substantiating the need for a transition from "Porterianism" to the theory of a self-organizing cluster, and the practical significance is in systematizing methods for identification that contribute to the improvement of regional policy and cluster management strategies.

Keywords: bibliometric analysis, industrial cluster, self-organization, new economic geography, spatial concentration, Porterianism, cluster identification methodology

Citation: Polyakov R.K. (2026) Analysis of research on self-organization of economic clusters based on a bibliometric review. π-Economy, 19 (4), 157–179. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19409

© Polyakov R.K., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Введение

В современных условиях глобализации, усиления международной конкуренции и растущей турбулентности мировой экономики наблюдается устойчивый возврат интереса к пространственным аспектам экономического развития. Феномены агломерации, концентрации производства и локализации отраслей вновь оказываются в центре внимания исследователей. Однако, несмотря на значительный объем накопленного знания, включая классические работы А. Маршалла [1], теории новой экономической географии П. Кругмана [2] и конкурентные модели М.Э. Портера [3], фундаментальный вопрос о механизмах самоорганизации промышленных кластеров до сих пор остается открытым и недостаточно проработанным.

Сегодня большинство существующих исследований либо описывает внешние эффекты кластеризации (экономию от масштаба, снижение транзакционных издержек), либо фокусируется на управленческих подходах к повышению конкурентоспособности, оставляя в стороне внутренние, эндогенные процессы, благодаря которым пространственно-локализованные экономические системы спонтанно формируют устойчивые структуры. Это создает существенный разрыв между богатой эмпирической картиной реальных кластеров (например, Кремниевой долины, кластеров Китая, Германии, Италии, России и др.) и ограниченными теоретическими средствами их объяснения.

Таким образом, актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью систематизации существующих библиометрических данных о методах и направлениях анализа промышленных кластеров, а также выявлением степени изученности феномена самоорганизации в этой области. Без такого обзора невозможно определить концептуальные пробелы и сформулировать основы новой теории – теории самоорганизующегося кластера.

Цель данной статьи заключается в систематизации публикаций зарубежных и российских авторов, посвященных методам анализа промышленных кластеров, а также в выявлении и оценке текущего состояния исследований в области пространственной самоорганизации кластеров.

В качестве основной гипотезы исследования выдвигается предположение о том, что, несмотря на многообразие подходов, вопрос самоорганизации кластеров как эндогенного, самоусиливающегося процесса остается на периферии научных изысканий, а доминирующая в российской науке управленческая школа «портерианства» создает препятствия для понимания фундаментальных механизмов развития кластерных структур.

Для достижения поставленной цели в работе последовательно решаются следующие задачи:

1) обоснование поисковой стратегии и отбор релевантных публикаций в базе данных Scopus[1];

2) проведение многомерного библиометрического анализа с использованием инструментов Bibliometrix, VOSviewer, включая оценку динамики публикационной активности, наиболее цитируемых источников, тематической эволюции и сетей соавторства;

3) выявление ключевых научных школ и тематических кластеров;

4) систематизация количественных и качественных методов идентификации промышленных кластеров;

5) интерпретация полученных результатов и определение перспективных направлений для дальнейших теоретических построений.

Теоретические основания исследования

В конце XIX в. А. Маршалл описал «промышленные районы», обратив внимание исследователей на то, что соседствующие компании получают выгоду не только от общего рынка труда, но и от обмена знаниями на нем [1]. В 1990-х гг. П. Кругман расширил этот подход, развив

[1] Scopus. [online] Available at: https://www.scopus.com/ [Accessed 10.05.2026].

теорию новой экономической географии, в рамках которой описал механизмы самоорганизации и кластеризации предприятий [2]. Чуть позже М.Э. Портер представил собственное понимание «кластера», объединив в нем не только взаимосвязанные фирмы, но и поставщиков, вузы, а также государственные институты [3]. При этом М.Э. Портер также отмечал их особую роль в повышении конкурентоспособности, которая достигается за счет возникающей синергии и инноваций. Очевидно, что современная теория подтверждает критическую важность такой географической концентрации для стимулирования кластерного развития. Однако фундаментальный вопрос о механизмах самоорганизации промышленных кластеров до сих пор остается открытым и недостаточно проработанным.

Результаты анализа информации, содержащейся в академической литературе по кластерам и в предыдущих библиометрических обзорах таких авторов, как К. Чейн и др. [4] и Л. Лаззеретти и др. [5], показывают, что тема самоорганизации кластеров является авангардной, малоизученной и избегается большинством ученых ввиду своей сложности. Очевидно, что данный феномен до сих пор не получил системного осмысления, а российские исследователи в большинстве своем остаются в рамках традиционной «портерианской» парадигмы. Тем не менее работы таких авторов, как М. Фудзита и Т. Мори [6], Дж. Фостер [7], К. Икеда и др. [8], У. Витт [9], Г. Доси и др. [10], В.А. Агафонов [11], А.В. Бабкин и А.О. Новиков [12] и др., доказывают, что проблематика самоорганизации не просто актуальна, но и является передовым научным направлением благодаря своей фундаментальной специфике.

Как видно сегодня, библиометрический анализ все чаще признается полезным инструментом для оценки научных исследований [13–14], в том числе для проверки авторской гипотезы. Такой метод исследования позволяет более точно оценить различные точки зрения и качественнее проанализировать исследуемую область знаний [15]. Однако анализ большого количества научных данных и определение преобладающих тенденций –сложная задача.

Тем не менее, по мнению Л. Ботельо и др. [16], такой анализ приводит к новым исследованиям и открытиям из-за существующих пробелов и возможностей для новых теоретических построений и эмпирических результатов.

Согласно В. Лю и др. [17], эта методология показывает динамику публикаций, а также новые области научных знаний и их развитие во времени. Как следствие, эти закономерности могут быть выявлены систематическими методами и с помощью специального программного обеспечения.

Методология и дизайн исследования

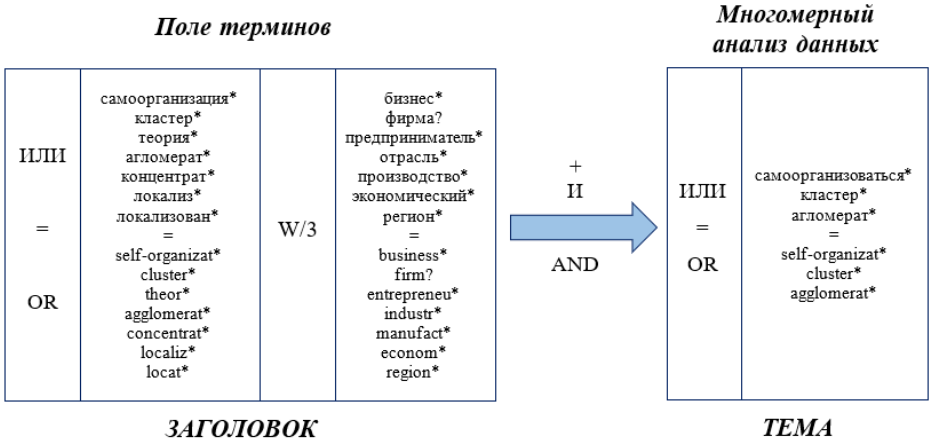
Поисковая стратегия

При исследовании современной академической литературы были отобраны ключевые слова, наиболее полно отражающие исследовательский вопрос: *самоорганизация*, *кластер*, *теория*, *агломерация*, *концентрация*, *локализация*, бизнес, *фирма*, *предприниматель*, *отрасль*, *производство*, *экономика*, *регион*, – из которых далее была создана собственная поисковая стратегия.

Для комплексного анализа литературы была выбрана международная база данных Scopus, так как она обладает широким спектром инструментов для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях международного уровня, и поддерживает логический синтаксис, который представляет собой тип поиска, позволяющий пользователям комбинировать ключевые слова с операторами *И*, *НЕ* и *ИЛИ* для получения более релевантных результатов.

Далее представлена авторская поисковая стратегия:

(TITLE-ABS-KEY (self-organizat OR cluster* OR theor* OR agglomerat* OR concentrat* OR localiz* OR locat* W/3 business* OR firm? OR entrepreneu* OR industr* OR manufact* OR econom* OR region*)) AND (self-organizat* OR cluster* OR agglomerat*) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "BUSI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ECON")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))*



Источник: составлено автором.

Рис. 1. Процедуры поиска, применяемые к Scopus

Fig. 1. Search procedures applied to Scopus

На рис. 1 представлены процедуры авторского поиска, применяемые к библиографической и реферативной базе данных рецензируемой научной литературы в Scopus.

В результате реализации поискового запроса (*второй этап работы*) были получены 9935 документов, релевантных исследовательскому вопросу, сформулированному на *первом этапе работы*. На *третьем этапе работы* из 9935 документов на основе цитирования публикаций было отобрано 2000.

Этапы отбора документов

Методология исследования отражена в блок-схеме PRISMA[2] (рис. 6).

Автором исследования были использованы публикации, идентифицированные через поиск в базах данных Scopus (1242 источника) и Web of Science (500 источников), а также Taylor and Francis (245 источников) и JSTOR (13 источников), которые так же цитируются в базе Scopus. Всего было исследовано 2000 источников, после удаления дубликатов и статей, качественно не отражающих процессы самоорганизации кластеров, их осталось 827.

В результате проведенного исследования в количественный синтез включен 31 источник, из которых 14 содержат качественный анализ.

Необходимо отметить, что все проанализированные работы, включенные в текущий обзор, были направлены на анализ пяти основных направлений, таких как географическая концентрация/плотность, промышленный район, промышленный кластер, местные производственные системы, кластер.

Инструменты анализа

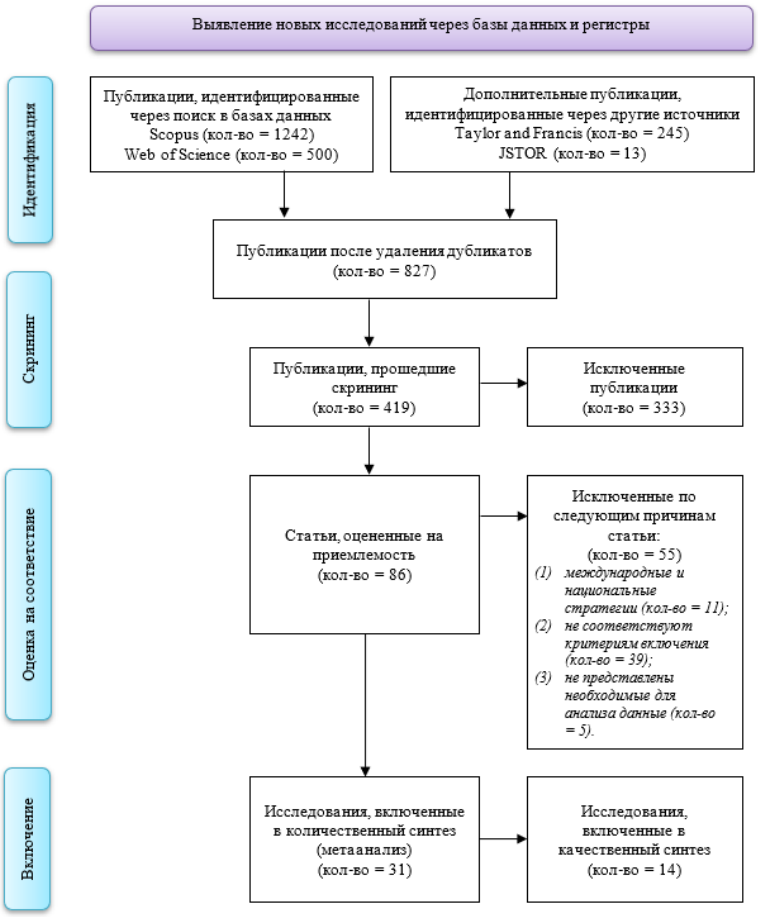
Для анализа базы данных из 2000 документов на *четвертом этапе* работы были использованы современные программные средства Bibliometrix[3] и VOSviewer[4]. Bibliometrix представляет полный набор инструментов для количественных исследований в библиометрии и наукометрии, а VOSviewer – это программа для построения и визуализации библиометрических сетей.

Параметры выборки

Представленные в данной работе результаты получены из публикаций, проиндексированных в базе данных Scopus за 1980–2021 гг.

В табл. 1 представлены результаты библиометрического анализа 2000 документов.

[2] PRISMA flow diagram. [online] Available at: https://www.prisma-statement.org/prisma-2020-flow-diagram [Accessed 10.05.2026].
[3] Bibliometrix. [online] Available at: https://www.bibliometrix.org/ [Accessed 10.05.2026].
[4] VOSviewer. [online] Available at: https://www.vosviewer.com/ [Accessed 10.05.2026].



Источник: составлено автором.

Рис. 6. Блок-схема PRISMA

Fig. 6. PRISMA flow chart

Таблица 1. Результаты библиометрического анализа 2000 отобранных документов

Table 1. Results of bibliometric analysis of 2000 selected documents

Годы создания отобранных документов	**1980–2021**
Количество источников отобранных документов (сборник статей, монография, периодическое издание и т.п.)	395
Усредненный индекс цитирования одного документа из выборки	122,4
Усредненный годовой индекс цитирования одного документа из выборки	9,092
Общее количество пунктов в списках литературы отобранных документов	112988
Общее количество авторов отобранных документов	3615
Авторы отобранных документов без соавторов	421
Авторы отобранных документов с соавторами	3194
Количество документов с единоличным автором	480
Среднее количество документов одного автора	0,553
Среднее количество авторов на один документ	1,81
Среднее количество соавторов на один документ	2,37

Источник: составлено автором.

Результаты библиометрического анализа

Проведенный *на пятом этапе работы* анализ показал, что в последние десятилетия резко увеличилось количество исследований по новой экономической географии, по региональной экономике, по экономике агломерации, по вопросам пространственной концентрации и специализации, по кластерному анализу и в целом по развитию пространственно-локализованных структур. Этот подъем в первую очередь был вызван вопросом «Где и почему происходит экономическая деятельность?», на который исследователи до сих пор ищут ответ. Всплеск интереса был до некоторой степени вызван тенденцией, которую сформировала новая экономическая география, и опасениями реального мира, связанными с ростом глобализации, с международной конкуренцией, со все более усиливающейся турбулентностью в экономике и с разворотом на регионализацию.

Непонимание того, что главным двигателем развития городов и регионов является повышение эффективности (производительности) местной экономики, уводило исследователей в неэффективные модели. Тем не менее драматическая пространственная неравномерность реальной экономики – неравенство между густонаселенными производственными поясами и малонаселенными сельскохозяйственными областями, между перегруженными городами и пустынными сельскими районами и т.п. – порождается в том числе кумулятивными процессами, включающими в себя ту или иную форму возрастающей отдачи, в результате чего усиливаются синергетические эффекты пространственной концентрации и территориальной самоорганизации.

В этой связи библиометрические данные могут способствовать пониманию фундаментальных направлений развития экономической мысли в области организации и развития промышленных кластеров, выстраиванию связи между методами и теориями, а также указывать на более совершенные формы развития кластерных структур, которые будут описаны в ходе настоящего исследования.

Динамика публикационной активности

На рис. 2 представлена динамика роста количества научных статей по интересующей нас тематике.

Общее количество статей по обозначенной тематике в Scopus за 2021 г. составило 808 документов, тогда как в 2010 г. их было всего 368. При этом годовой темп роста составил 2,42%, что говорит об актуальности исследуемого вопроса.

Динамику цитирований будем оценивать по средней величине (англ. Total Citation Production, TCP), которую рассчитаем по формуле:

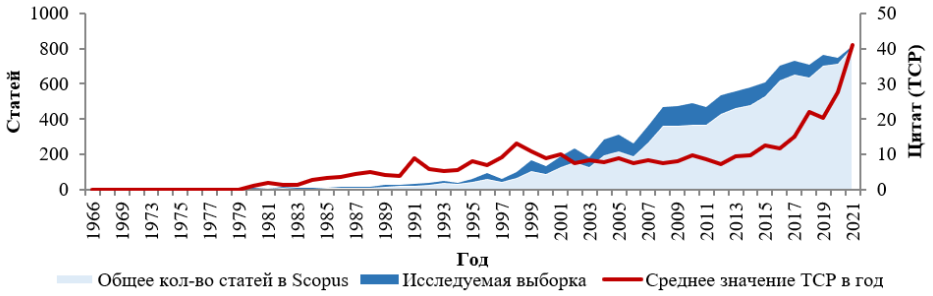
$$TCP = \frac{\text{Общее количество цитирований всех статей}}{\text{Общее количество опубликованных статей}}.$$

Среднее количество цитирований – это показатель, который отражает, сколько раз в среднем была процитирована одна научная статья из определенной выборки.

Для исследуемой выборки динамика показателя TCP по годам имеет тенденцию к росту. При этом наиболее сильный скачок наметился в 2017–2021 гг., и к концу исследуемого периода анализируемый показатель составил 40,875 цитирования на одну статью по данной тематике, что на 47% больше, чем в 2020 г. Подобная динамика может служить косвенным подтверждением растущего интереса научного сообщества к вопросам эффективности развития промышленных кластеров и отдельным аспектам этого явления.

Закон Брэдфорда

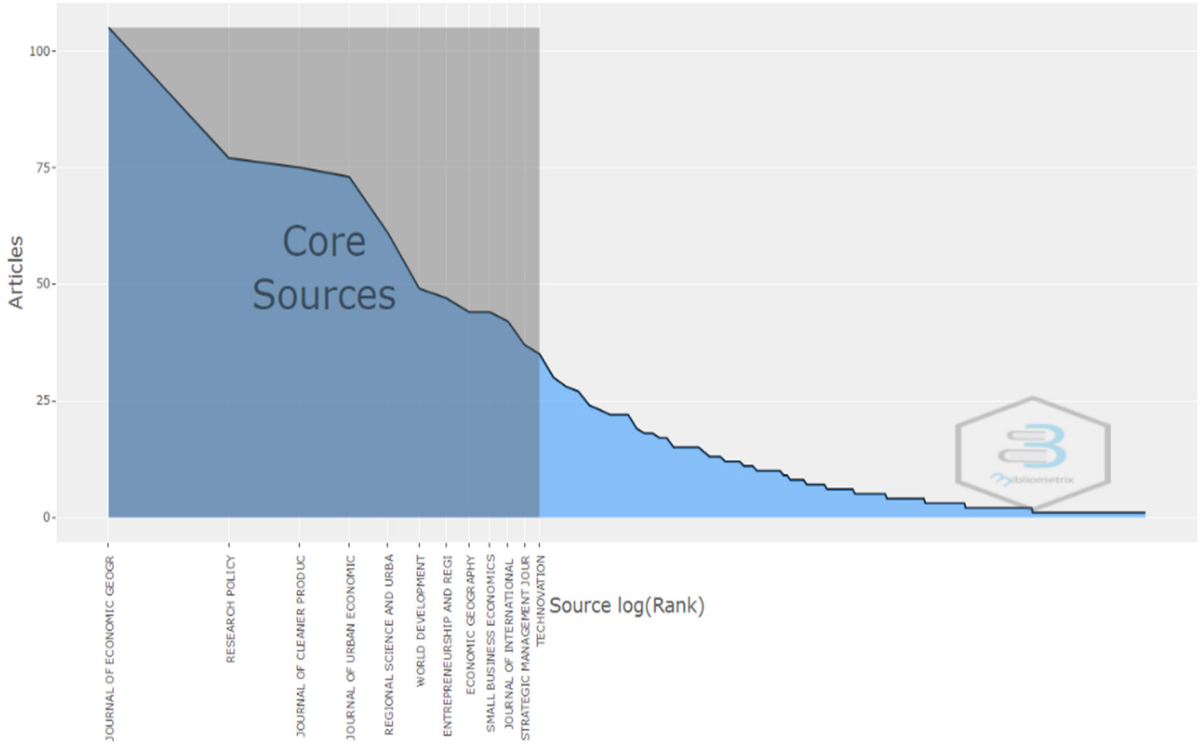
Эмпирическую закономерность распределения публикаций по изданиям можно кластеризировать по закону Брэдфорда (рис. 3).



Источник: составлено автором.

Рис. 2. Динамика роста научных статей

Fig. 2. Dynamics of growth of scientific articles



Источник: построено автором с использованием программы Bibliometrix.

Рис. 3. Кластеризация по закону Брэдфорда

Fig. 3. Clustering according to Bradford's law

В основной кластер наиболее значимых источников попали следующие журналы:

- *Journal of Economic Geography*;
- *Research Policy*;
- *Journal of Cleaner Production*;
- *Journal of Urban Economics*;
- *Regional Science and Urban Economics*;
- *World Development*;
- *Entrepreneurship and Regional Development*;
- *Economic Geography*;

- *Small Business Economics*;
- *Journal of International Business Studies*;
- *Strategic Management Journal*;
- *Technovation*.

Прочие журналы являются менее значимыми и в гораздо меньшей степени влияют на мировой научный результат в области поставленного исследовательского вопроса.

В последние годы наблюдается заметный рост исследовательского интереса со стороны ведущих ученых к вопросам агломерации, концентрации, локализации и кластеризации в пространственно-локализованной экономике, включая региональный уровень. Отдельные гипотезы в данной области достигли высокой степени проработанности, что сопровождается постепенным снижением внимания к ним со стороны научного сообщества. В то же время вопросы самоорганизации кластеров исследуются фрагментарно и преимущественно на концептуальном уровне, что свидетельствует не только о начальной стадии освоения данной проблематики, но и о формировании новых теоретических направлений. Это позволяет говорить об эволюционном развитии кластерной теории, поиске объяснений нелинейной динамики кластерных структур и постепенной выработке основ теории самоорганизации кластеров.

Между тем ее предпосылки уже сформулированы такими авторами, как М. Фудзита и Т. Мори [6], Дж. Фостер [7], К. Икеда и др. [8], У. Витт [9], Г. Доси и др. [10], П. Кругман [2], В.Р. Эшби [18], Р. Мартин, П. Санли [19], П. Маскелл и М. Лоренцен [20], Р.К. Поляков и О. Брижак [21].

Например, В.Р. Эшби [18] в своих работах рассматривал принципы самоорганизующейся динамической системы. Г. Доси и др. [10] анализировали институты и экономические изменения с точки зрения самоорганизации, а также власти и обучения в организациях. Дж. Фостер [7] пересмотрел маршаллианскую индустриальную школу под призмой самоорганизационного подхода, а М. Фудзита и Т. Мори [6] исследовали эндогенный рост и самоорганизацию диссипативной системы в пограничной экономике. П. Маскелл и М. Лоренцен [20] рассматривали кластер как самоорганизующуюся рыночную организацию со своей специфической пространственной конфигурацией экономики, пригодной для создания, передачи и использования знаний. К. Икеда и др. [8] развивали самоорганизацию с позиции гексагональных агломерационных паттернов в новых моделях экономической географии. Между тем У. Витт [9] задался вопросом «Самоорганизация и экономика – что нового?» и постарался осветить структурные изменения и экономическую динамику.

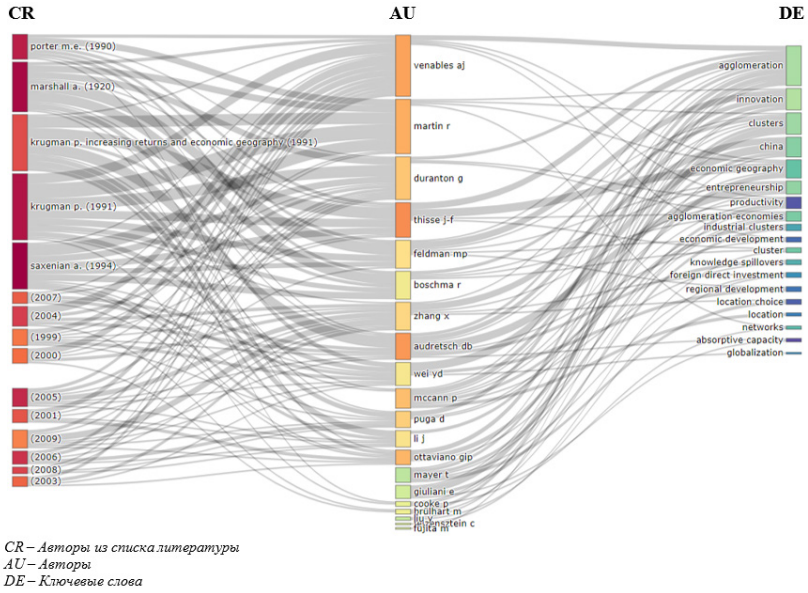
Большинство авторов уже чувствует, что самоорганизация является той специфической пространственной конфигурацией, которая существенным образом влияет на динамику ее развития и задает стационарные состояния пространственно-локализованной экономической системы.

Тем временем отечественные ученые В.А. Агафонов [11], А.В. Бабкин и А.О. Новиков [12] использовали более широкий подход, основанный на формировании кластеров с позиции стратегии мезоэкономического развития. Г.Б. Клейнер [22–24] рассматривал эволюцию институциональных систем, а также промышленные экосистемы с позиции системного подхода, сетевую же природу кластерной системы исследовали Б.А. Ерзнкян и В.А. Агафонов [25].

Диаграмма Сэнки

На рис. 4 представлена диаграмма Сэнки (Sankey diagram) для визуализации потоков цитирования наиболее значимых работ в рамках исследовательского вопроса.

Из рис. 4 видно, что работа М.Э. Портера [3], в которой он обсуждал вопросы кластеров с позиции экономики конкуренции, вошла в число наиболее цитируемых трудов наряду с работами таких авторов, как А. Маршалл и П. Кругман, а его определение кластера стало классическим: «Кластер – это сконцентрированные по географическому признаку группы взаимосвязанных компаний, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, фирм в соответствующих отраслях, а также связанных с их деятельностью организаций (например, университетов,



Источник: построено автором с использование программы Bibliometrix.

Рис. 4. Информационная структура исследовательского поля по региональной экономике

Fig. 4. Information structure of the research field on regional economics

агентств по стандартизации, а также торговых объединений) в определенных областях, конкурирующих, но вместе с тем и ведущих совместную работу»[5].

Вклад М.Э. Портера в развитие кластерной теории выражается в формировании обширной научной школы последователей, которую автор настоящей работы обозначает термином «портерианство». Под данным термином понимается управленческое направление, в основе которого лежит конкурентная модель организации промышленных кластеров, а ключевой функциональной задачей выступает управление соответствующей кластерной структурой.

Классическая работа А. Маршалла [26] заложила основы так называемой модели промышленного района, которая сегодня считается эталонной. Исследователь показал, что, когда множество малых и средних предприятий одной отрасли (и сопутствующих, например машиностроительных) сосредотачивается на небольшой территории, это дает ощутимые преимущества. Среди них – узкая специализация, быстрый обмен информацией и наличие квалифицированных кадров. Эти факторы, по А. Маршаллу, создают так называемую внешнюю экономию, то есть выгоды, которые получают все предприятия кластера просто за счет своего географического соседства.

Между тем за рядом наиболее цитируемых работ «Самоорганизующаяся экономика» П. Кругмана [2] осталась почти не замеченной, но стала той отправной точкой, которая позволила сформулировать и развить исследовательский вопрос, поднятый в этой статье. Как отмечал П. Кругман, на сегодняшний день примеров эмерджентности, которые также описаны в экономической теории, предостаточно. Несомненно, данная работа вызвала живой интерес в мире, и вопросы, исследованные в ней, еще раз подчеркивают, что непонимание самой природы, возникающей внутри системы, порождает разрывы между объектами и вызывает существенные диспропорции, которые и приводят к кризису самой системы.

Стоит отметить, что работы таких авторов, как М.Дж. Энрайт и Б.Х. Робертс [28], М. Перри [29], предоставляют нашему вниманию исчерпывающие отчеты о развитии промышленных

[5] Бузыкина Т.А. (2011) Кластерная теория М. Портера и ее практическое применение в российском опыте. *Журнал экономической теории*, 1, 118–122.

кластеров, включают теоретические обсуждения, тематические исследования и последствия для политики кластеризации в разных странах. Другие авторы, такие как В. Навицкас и А. Малакаускайте [30], Л. Лин и В. Сан [31], освещают подходы к драйверам развития кластеров, а жизненные циклы кластеров описывают С.Дж. Пресс [32], Дж. Креспо [33], М.-П. Мензель и Д. Форналь [34]. Тем не менее, несмотря на приток новых мнений и практик, относящихся к промышленным кластерам (например, модель К. Боя [35]), все еще остается большая путаница с определением понятия кластера, которая до сих пор не позволяет достичь консенсуса по такому фундаментальному вопросу.

Сеть совместного цитирования источников

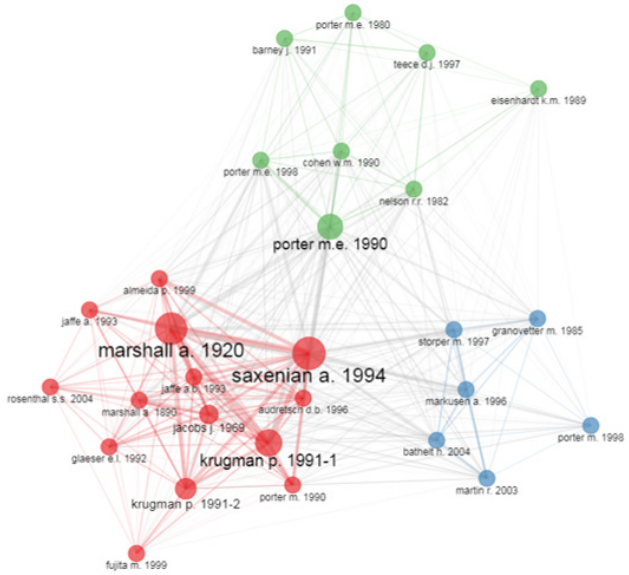
Далее в табл. 2 представлены самые цитируемые документы в мире.

Таблица 2. Самые цитируемые документы в мире
Table 2. The most cited documents in the world

№	Цитируемая литература	Нормализованное цитирование для Bibliometrix
1	Krugman P. (1991) Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99 (3), 483–499.	71
2	Krugman P. (1992) Geography and trade, The MIT Press.	46
3	Porter M.E. (1998) Clusters and the New Economics of Competition. *Harvard Business Review*, 76 (6), 77–90.	42
4	Cohen W.M., Levinthal D.A. (1990) Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. Administrative Science Quarterly, 35 (1), 128–152. DOI: 10.2307/2393553	40
5	Marshall A. (1920) Principles of Economics, 8th ed., London: McMillan.	40
6	Granovetter M. (1985) Economic action and social structure: the problem of groups. American Journal of Sociology, 91 (3), 481–510. DOI: 10.1086/228311	37
7	Bathelt H., Malmberg A., Maskell P. (2004) Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. *Progress in Human Geography*, 28 (1), 31–56. DOI: 10.1191/0309132504ph469oa	35
8	Markusen A. (1996) Sticky Places in Slippery Space: A Typology of Industrial Districts. *Economic Geography*, 72 (3), 293–313. DOI: 10.2307/144402	35
9	Martin R., Sunley P. (2003) Deconstructing clusters: chaotic concept or policy panacea? *Journal of Economic Geography*, 3 (1), 5–35. DOI: 10.1093/jeg/3.1.5	35
10	Barney J. (1991) Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17 (1), 99–120. DOI: 10.1177/014920639101700108	33
11	Porter M.E. (1990) The competitive advantage of nations. Harvard Business Review, 68 (2), 73–93. DOI: 10.1002/cir.3880010112	31
12	Audretsch D.B., Feldman M.P. (1996) R&D spillovers and the geography of innovation and production. *The American Economic Review*, 86 (3), 630–640.	29
13	Baptista R., Swann P. (1998) Do firms in clusters innovate more? *Research Policy*, 27 (5), 525–540. DOI: 10.1016/S0048-7333(98)00065-1	29
14	Jacobs J. (1969) The Economy of Cities, New York: Penguin Books.	29
15	Saxenian A. (1994) Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128, Cambridge, MA: Harvard University Press.	29

Источник: составлено автором на основании базы данных Scopus.

Рис. 5 отображает сеть совместного цитирования источников по промышленным кластерам.



Источник: построено автором с использованием программы Bibliometrix.

Рис. 5. Сеть совместного цитирования источников по промышленным кластерам

Fig. 5. Co-citation network of sources on industrial clusters

Сеть совместного цитирования источников по промышленным кластерам отражает научные интересы исследователей, которые можно представить в виде сформированных школ-сегментов. Исходя из данных, представленных на рис. 5, можно выделить следующие научные школы:

– *Красный сегмент* – связан с научной школой, которой принадлежат А. Маршалл, П. Кругман, М. Фудзита [36], А. Венейблс [37], А. Саксениан [38], Э. Глезер [39] и Дж. Джейкобс [40]. Она развивает неоклассическую пространственную экономическую теорию и подходы к самоорганизации кластеров. Она также создает теоретическую основу новой экономической географии и исследует фундаментальные причины в области агломераций, промышленных районов, изучает вопросы, связанные с развитием отраслей в региональном разрезе, а также моделирует взаимосвязи между увеличением прибыли, транспортными издержками и движением производственных факторов (или мобильностью факторов производства, которая отражает процесс перемещения ресурсов, необходимых для создания товаров и услуг, между различными отраслями, регионами или странами). Исследования представителей данной школы могут быть применены к широкому кругу проблем городской, региональной и международной экономики.

– *Зеленый сегмент* – это управленческая школа, основанная на теории конкурентных преимуществ М.Э. Портера и его последователей, а также научного направления «тройной спирали» Х. Ицковица и Л. Лейдесдорфа [41, 42] по промышленной организации и теории региональных кластеров. Она изучает промышленные кластеры с позиции их стратегического развития и конкурентоспособности, а также рассматривает региональные различия с позиции кластерной политики. Ряд представителей данной научной школы изучает инновационные системы, предпринимательские экосистемы, драйверы их роста, пространственную форму образования и природу концентрации местного бизнеса. В отечественной науке к данной школе принадлежат Н.В. Смородинская и Д.Д. Катуков [43], А.В. Зюзин и О.А. Демидова [44], Е.С. Куценко [45], Д. Тюменцева [46], Г.Б. Клейнер [23], В.А. Агафонов, Б.А. Ерзнкян [25], А.В. Бабкин, А.О. Новиков [21]. Необходимо отметить – значительная часть отечественных исследований опирается преимущественно на концепцию М.Э. Портера (авторское название «портерианство»), что, по

мнению автора работы, может выступать одним из сдерживающих факторов при формировании эффективных кластерных структур в Российской Федерации.

– *Синий сегмент* – направлен на изучение фирм, рынков и экономических изменений, классификацию кластерных структур. Представители данной научной школы изучают аспекты характеристик, связанных с промышленными районами, и исследуют локализацию, концентрацию, а также региональные сети и сети знаний. Данная научная школа является мостом между научными школами, отмеченными красным и зеленым. Ее яркими представителями являются А. Маркусен [47], М. Сторпер и А. Скотт [48], С. Парк, Р. Ланглуа [49] и П.Л. Робертсон [50].

Исследование показало, что объем академической литературы по теории кластеров за последние годы увеличился, появились новые направления, а вместе с ними и дисциплины с набором разнообразных аналитических инструментов [27].

Далее в табл. 3 представлены ключевые методы выявления промышленных кластеров, которые систематизированы по уровням их применения.

Представленная в табл. 3 методологическая матрица фиксирует современный переход от статистического анализа пространственного распределения к структурно-сетевому анализу промышленной организации кластеров. Видно, что вектор научных исследований промышленных кластеров смещается в сторону комбинирования ГИС-технологий, анализа производственных цепочек и качественной валидации. Именно такая триангуляция методов позволяет фиксировать наличие агломерации, выявлять самоорганизующуюся природу кластера и отличать случайную концентрацию от системной связанности, что и является ключевой научной задачей текущего исследования.

Интерпретация и обсуждение результатов

Кластерная теория значительно эволюционировала в своем развитии, прошла многие этапы, и некоторые из них особым образом отразились на ее текущем состоянии. Стоит отметить, что новая парадигма пространственной самоорганизации промышленного кластера нашла свое отражение в последних актуальных исследованиях, однако большинство рассматриваемых работ являлось классическим для кластерной теории или отражало узкоспециализированные вопросы новой экономической географии, при этом многие из работ не обладали теоретической полнотой, а вопрос по новой парадигме пространственной самоорганизации промышленного кластера так и остался в зачаточном состоянии. Видно, что данный феномен до сих пор не получил более системного осмысления, а российские исследователи в большинстве своем остаются в рамках традиционной «портерианской» парадигмы.

Очевидно, что существующие научные школы рассматривают кластеры либо как объект управления в концепции М.Э. Портера, либо как результат агломерации в теории П. Кругмана, но не как самоорганизующуюся систему. Несомненно, вклад данного исследования заключается в выявлении этого пробела. Без подобного обзора невозможно определить существующие концептуальные пробелы и сформулировать основы новой теории – теории самоорганизующегося кластера.

При этом основная информация об образовании кластеров лежит в плоскости географической концентрации местных производственных систем, поскольку именно они образуют ядро самоорганизации, которое подталкивает предпринимателей группироваться в кластер, а наиболее перспективными методами его выявления являются сетевой анализ, географические информационные системы и системная динамика.

Полученные результаты также согласуются с ранее проводимыми исследованиями С.К.С. Круз и А.А.К. Тейшейры [27], К.П. Чейна и др. [4], а также И. Жабинской [51].

В результате исследования автор работы под *кластером* понимает *самоорганизующуюся систему, обладающую необходимой и достаточной теснотой экономических связей географически*

Таблица 3. Методы выявления промышленных кластеров
Table 3. Methods for identifying industrial clusters

Уровень анализа	Метод														
	Количественный												Качественный		
	Показатели концентрации и дисперсии для анализа региональных различий	Коэффициент региональной специализации и отраслевой концентрации	Коэффициент агломерации и коагломерации с использованием данных отдельных фирм	Индикаторы доступности и близости с использованием данных на уровне точек	Анализ структурных сдвигов	Метод «затраты-выпуск»	Экспорт / Прямые иностранные инвестиции	Статистические методы кластерного анализа	Графический анализ	Сетевой анализ	Географические информационные системы (ГИС)	Системная динамика	Практические кейсы	Экспертные оценки	Политические границы
Географическая концентрация/плотность															
Город	X	X	X			X		X							X
Отрасль	X	X	X					X							X
Регион	X	X	X		X	X		X							X
Страна	X	X	X		X	X		X							
Промышленный район															
Город	X	X	X					X						X	X
Регион	X	X	X					X							
Страна	X	X	X					X							
Промышленный кластер															
Регион						X	X		X	X		X	X	X	X
Страна						X	X		X	X		X	X	X	X
Местные производственные системы															
Город	X	X	X	X				X		X	X				
Регион	X	X	X	X				X		X	X				
Страна	X	X	X					X							
Кластер															
Город	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
Отрасль	X	X	X	X	X	X		X	X				X	X	X
Регион	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
Страна	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
Федеральные округа	X	X	X					X	X						X
Примечание:	▭ – Наиболее перспективные методы, которые будут использоваться автором работы X – Применяемы метод выявления промышленных кластеров на соответствующем уровне														

Источник: составлено автором.

локализованных компаний, способных эффективно применять технические инновации в хозяйственном кругообороте, тем самым порождая колоссальную энергию для экономического развития.

Вместе с тем бурное развитие научных методов и библиометрической базы накладывает свои ограничения на текущее исследование, обусловленные сформированной в работе выборкой, что является как ограничением, так и мощным импульсом для дальнейшего развития новой теория самоорганизующегося кластера.

Заключение

Проведенное многомерное библиометрическое исследование, охватывающее 2000 наиболее цитируемых документов за период 1980–2021 гг., индексированных в базе данных Scopus, позволило последовательно решить поставленные задачи по систематизации международной литературы по методам анализа промышленных кластеров и определить место феномена пространственной самоорганизации в современной научной дискуссии.

Данная база обладает широким спектром инструментов для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях международного уровня. Кроме того, она поддерживает логический синтаксис, который представляет собой тип поиска, позволяющий пользователям комбинировать ключевые слова с такими операторами, как *И*, *НЕ* и *ИЛИ*, для получения более релевантных результатов. Это ограничило результаты поиска только теми документами, которые содержат определенные ключевые слова. В работе последовательно реализованы пять этапов библиометрического анализа: от формулирования темы и разработки поисковой стратегии до интерпретации полученных результатов с применением таких инструментов, как Bibliometrix, VOSviewer, PRISMA.

В контексте поставленной цели – систематизации литературы о методах анализа промышленных кластеров и выявлении исследований в области самоорганизации – получены следующие ключевые результаты.

1. Установлен устойчивый годовой темп прироста в 2,42% публикационной активности, что подтверждает высокую актуальность выбранной тематики. При этом среднее число цитирований в год на один документ составило 9,092, а совокупный объем использованной литературы за исследуемый период достиг 112988 источников, что свидетельствует о зрелости и разветвленности исследовательского поля.

2. С помощью закона Брэдфорда выделена зона наиболее значимых для исследования обозначенного вопроса журналов, таких как *Journal of Economic Geography*, *Research Policy*, *Strategic Management Journal*.

3. На основе сетей совместного цитирования идентифицированы три основные научные школы: красный сегмент, охватывающий новую экономическую географию, самоорганизацию и эволюционную экономику; зеленый сегмент включающий «портерианство», теорию конкуренции и тройную спираль; и синий сегмент, рассматривающий фирмы, рынки и сети знаний.

4. Вопросы самоорганизации кластеров остаются на периферии научного интереса из-за свой сложности и разрабатываются преимущественно в рамках красного сегмента такими авторами, как М. Фудзита и Т. Мори, Дж. Фостер, К. Икеда, К. Мурота, Т. Акамацу, Т. Коно, Ю. Такаяма, У. Витт, Г. Доси, Л. Маренго, А. Нуволари, П.Р. Кругман, В.Р. Эшби, Р. Мартин, П. Санли, и др., тогда как доминирующая управленческая школа М.Э. Портера фактически игнорирует эндогенные механизмы спонтанного порядка.

Гипотеза исследования – о том, что самоорганизация кластеров является малоизученной и концептуально не оформленной областью, а российские исследования следуют преимущественно «портерианской» парадигме, может выступать одним из сдерживающих факторов при формировании эффективных кластерных структур в Российской Федерации.

В ходе решения исследовательской задачи было выявлено, что даже работы, формально затрагивающие самоорганизацию, не образуют связного теоретического ядра; отсутствуют общепринятые определения, микрооснования и формальные модели. Более того, информационная структура исследовательского поля по региональной экономике и ее тематическая эволюция показали смещение акцентов от агломерационных эффектов в сторону инновационного предпринимательства и китайской экономической модели, однако фундаментальные работы, подобные «Самоорганизующейся экономике» П. Кругмана, остались почти незамеченными. Российская академическая школа, представленная Н.В. Смородинской, Е.С. Куценко, Г.Б. Клейнером, В.А. Агафоновым, Б.А. Ерзнкяном, А.В. Бабкиным, А.О. Новиковым и др., также в основном развивает управленческие и институциональные подходы, не переходя к теории самоорганизации.

В ходе работы установлены парадигмальная неоднородность и стадиальность развития кластерной теории. Эволюция научных представлений о кластерах носила нелинейный, прерывистый характер, определяясь сменой общенаучных парадигм – от неоклассической и институциональной экономики к эволюционной и системной. При этом современный этап – с 2010 г. по настоящее время (рис. 2) – свидетельствует о формировании авангардного направления, фокусирующегося на самоорганизации, нелинейной динамике и междисциплинарном синтезе, что указывает на смену исследовательской парадигмы.

Также был выявлен и систематизирован ключевой методологический вызов современной кластерной теории, заключающийся в преодолении редукционизма и в синтезе разрозненных подходов. Установлено, что существующие школы рассматривают отдельные аспекты кластера (экономико-географический, управленческо-стратегический, инновационно-сетевой, институциональный), но не предлагают целостной модели, объясняющей внутренний механизм его спонтанного возникновения и эволюции. Доминирование «портерианского» подхода в практике, при всей его популярности, критикуется за излишние статичность, шаблонность и игнорирование эндогенных процессов саморазвития.

Обоснована фундаментальная роль процессов самоорганизации как ядра механизма кластерогенеза. На основе анализа данных библиометрического исследования доказано, что устойчивое формирование и развитие кластера не является результатом исключительно внешнего административного или инвестиционного воздействия, а проявляется вследствие внутренних синергетических процессов, возникающих в условиях пространственной близости и хаотической среды.

Применение многомерного библиометрического анализа позволило выявить и систематизировать глобальные тенденции и пробелы в исследованиях экономических кластеров. При этом обосновано, что изучение самоорганизации кластеров является авангардным и находится в «эмбриональной» фазе развития, тем самым подтвердив актуальность и новизну данной темы.

Направления дальнейших исследований

Проведенный анализ выявил устойчивый разрыв между эмпирическим многообразием реальных кластеров и теоретической проработкой механизмов их самоорганизации. В этой связи первоочередным направлением дальнейших исследований является разработка формальной теории самоорганизующегося кластера, базирующейся на синтезе эволюционной экономики, синергетики и новой экономической географии. Особого внимания требует построение микрообоснованных моделей, в которых гетерогенные агенты – предприниматели, фирмы и местные институты – взаимодействуют в условиях ограниченной рациональности, пространственной близости и возрастающей отдачи, порождая спонтанный кластерогенез.

Вторым значимым направлением является совершенствование методологического инструментария. Как показано в табл. 3, наиболее перспективными методами выявления самоорганизующихся кластеров являются сетевой анализ, ГИС-технологии и системная динамика. Однако

их текущее применение остается фрагментарным. Дальнейшие исследования должны быть направлены на интеграцию этих подходов в единую аналитическую платформу, позволяющую отслеживать не только статическую конфигурацию кластера, но и его траекторную динамику, пороговые эффекты и, возможно, бифуркационные точки [52].

Особый интерес вызывает сопоставление кластеров в странах с доминирующей «портерианской» парадигмой управления, включая Россию, в тех регионах, где кластерная политика изначально опиралась на принципы самоорганизации и субсидиарности. Такие сравнения могут дать практические рекомендации для перехода от директивного стимулирования кластеров к созданию средовых условий, запускающих эндогенные механизмы самоусиления, что станет важным вкладом как в экономическую теорию, так и в региональную политику нового поколения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Marshall A. (1890) *Principles of Economics: An introductory volume*, NY: Macmillan and Co.

2. Krugman P.R. (1996) *The Self-Organizing Economy*, Malden, MA, Oxford, UK: John Wiley & Sons.

3. Porter M.E. (1998) Clusters and the New Economics of Competition. *Harvard Business Review*, 76 (6), 77–90.

4. Chain C.P., dos Santos A.C., de Castro L.G., do Prado J.W. (2019) Bibliometric analysis of the quantitative methods applied to the measurement of industrial clusters. *Journal of Economic Surveys*, 33 (1), 60–84. DOI: 10.1111/joes.12267

5. Lazzeretti L., Sedita S.R., Caloffi A. (2014) Founders and disseminators of cluster research. *Journal of Economic Geography*, 14 (1), 21–43. DOI: 10.1093/jeg/lbs053

6. Fujita M., Mori T. (1998) On the dynamics of frontier economies: Endogenous growth or the self-organization of a dissipative system? *Annals of Regional Science*, 32, 39–62. DOI: 10.1007/s001680050062

7. Foster J. (1993) Economics and the Self-Organisation Approach: Alfred Marshall Revisited? *The Economic Journal*, 103 (419), 975–991. DOI: 10.2307/2234714

8. Ikeda K., Murota K., Akamatsu T., Kono T., Takayama Y. (2014) Self-organization of hexagonal agglomeration patterns in new economic geography models. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 99, 32–52. DOI: 10.1016/j.jebo.2013.12.008

9. Witt U. (1997) Self-organization and economics – what is new? *Structural Change and Economic Dynamics*, 8 (4), 489–507. DOI: 10.1016/S0954-349X(97)00022-2

10. Dosi G., Marengo L., Nuvolari A. (2020) Institutions and economic change: Some notes on self-organization, power and learning in human organizations. *Eurasian Business Review*, 10 (1), 1–22. DOI: 10.1007/s40821-019-00132-x

11. Агафонов В. (2016) Региональные проблемы формирования центров развития. *Проблемы теории и практики управления*, 5, 57–68.

12. Бабкин А.В., Новиков А.О. (2015) Современное состояние и инструментарий формирования промышленных кластеров в экономике России. В книге: *Кластерная экономика и промышленная политика: Теория и инструментарий* (под ред. А.В. Бабкина), СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 440–479.

13. Van Leeuwen T.N., Visser M.S., Moed H.F., Nederhof T.J., Van Raan A.F.J. (2003) The Holy Grail of science policy: Exploring and combining bibliometric tools in search of scientific excellence. *Scientometrics*, 57 (2), 257–280. DOI: 10.1023/A:1024141819302

14. Wallin J.A. (2005) Bibliometric Methods: Pitfalls and Possibilities. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 97 (5), 261–275. DOI: 10.1111/j.1742-7843.2005.pto_139.x

15. Bojović S., Matić R., Popović Z., Smiljanić M., Stefanović M., Vidaković V. (2014) An overview of forestry journals in the period 2006–2010 as basis for ascertaining research trends. *Scientometrics*, 98 (2), 1331–1346. DOI: 10.1007/s11192-013-1171-9

16. Botelho L.L.R., de Almeida Cunha C.C., Macedo M. (2011) O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais [The integrative review method in organizational studies]. *Gestão e Sociedade* [*Management and Society*], 5 (11), 121–136. DOI: 10.21171/ges.v5i11.1220

17. Liu W., Gu M., Hu G., Li C., Liao H., Tang L., Shapira P. (2014) Profile of developments in biomass-based bioenergy research: a 20-year perspective. *Scientometrics*, 99 (2), 507–521. DOI: 10.1007/s11192-013-1152-z

18. Ashby W.R. (1947) Principles of the Self-Organizing Dynamic System. *Journal of General Psychology*, 37 (2), 125–128. DOI: 10.1080/00221309.1947.9918144

19. Martin R., Sunley P. (2003) Deconstructing clusters: Chaotic concept or policy panacea? *Journal of Economic Geography*, 3 (1), 5–35. DOI: 10.1093/jeg/3.1.5

20. Maskell P., Lorenzen M. (2004) The Cluster as Market Organisation. *Urban Studies*, 41 (5–6), 991–1009. DOI: 10.1080/00420980410001675878

21. Polyakov R., Brizhak O. (2023) Industrial Clusters and the Process of Their Self-organization. In: *Ecosystems Without Borders 2023. EcoSystConfKlgtu* (ed. R. Polyakov), Cham: Springer, 60–72. DOI: 10.1007/978-3-031-34329-2_7

22. Клейнер Г.Б. (2004) *Эволюция институциональных систем*, М.: Наука.

23. Клейнер Г.Б. (2018) Промышленные экосистемы: Взгляд в будущее. *Экономическое возрождение России*, 2 (56), 53–62.

24. Клейнер Г.Б. (2015) Устойчивость российской экономики в зеркале системной экономической теории (Часть 1). *Вопросы экономики*, 12, 107–123. DOI: 10.32609/0042-8736-2015-12-107-123

25. Ерзнкян Б.А., Агафонов В.А. (2011) Сетевая природа кластерной системы и основные направления формирования кластерной стратегии мезоэкономического развития России. *Экономическая наука современной России*, 1 (52), 39–48.

26. Marshall A. (1920) *Principles of Economics*, 8th ed., London: McMillan.

27. Cruz S.C.S., Teixeira A.A.C. (2010) The Evolution of the Cluster Literature: Shedding Light on the Regional Studies–Regional Science Debate. *Regional Studies*, 44 (9), 1263–1288. DOI: 10.1080/00343400903234670

28. Enright M.J., Roberts B.H. (2001). Regional clustering in Australia. *Australian Journal of Management*, 26 (1_suppl), 65–85. DOI: 10.1177/031289620102601S04

29. Perry M. (2005) Cluster sustainability in the New Zealand timber industry. *Journal of New Business Ideas and Trends*, 3 (2), 14–24.

30. Navickas V., Malakauskaite A. (2009) The impact of clusterization on the development of small and medium-sized enterprise (SME) sector. *Journal of Business Economics and Management*, 10 (3), 255–259. DOI: 10.3846/1611-1699.2009.10.255-259

31. Lin L., Sun W. (2016) Location choice of FDI firms and environmental regulation reforms in China. *Journal of Regulatory Economics*, 50 (2), 207–232. DOI: 10.1007/s11149-016-9303-9

32. Press S.J. (2005) *Applied Multivariate Analysis: Using Bayesian and Frequentist Methods of Inference*, 2nd ed., Mineola, NY: Dover Publications.

33. Crespo J. (2011) How Emergence Conditions of Technological Clusters Affect Their Viability? Theoretical Perspectives on Cluster Life Cycles. *European Planning Studies*, 19 (12), 2025–2046. DOI: 10.1080/09654313.2011.633824

34. Menzel M.-P., Fornahl D. (2010) Cluster life cycles – dimensions and rationales of cluster evolution. *Industrial and Corporate Change*, 19 (1), 205–238. DOI: 10.1093/icc/dtp036

35. Boja C. (2011) Clusters models, factors and characteristics. *International Journal of Economic Practices and Theories*, 1 (1), 34–43.

36. Fujita M. (1988) A monopolistic competition model of spatial agglomeration. Differentiated product approach. *Regional Science and Urban Economics*, 18 (1), 87–124. DOI: 10.1016/0166-0462(88)90007-5

37. Fujita M., Krugman P.R., Venables A. (1999) *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, Cambridge, MA: MIT Press.

38. Saxenian A. (1996) *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*, Boston: Harvard University Press. DOI: 10.2307/j.ctvjnrsqh

39. Glaeser E.L., Kerr W.R., Ponzetto G.A. (2010) Clusters of entrepreneurship. *Journal of Urban Economics*, 67 (1), 150–168. DOI: 10.1016/j.jue.2009.09.008

40. Jacobs D., De Man A.-P. (1996) Clusters, industrial policy and firm strategy. *Technology Analysis & Strategic Management*, 8 (4), 425–438. DOI: 10.1080/09537329608522461

41. Etzkowitz H. (2008) *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*, NY: Routledge. DOI: 10.4324/9780203929605

42. Etzkowitz H., Leydesdorff L. (1995) The Triple Helix – University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development. *EASST Review*, 14 (1), 14–19.

43. Смородинская Н.В., Катуков Д.Д. (2019) Когда и почему региональные кластеры становятся базовым звеном современной экономики. *Балтийский регион*, 11 (3), 61–91. DOI: 10.5922/2079-8555-2019-3-4

44. Зюзин А.В., Демидова О.А. (2022) Влияние отраслевых кластеров на результативность деятельности российских частных компаний: Межотраслевой анализ. *Вопросы экономики*, 11, 90–116. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-11-90-116

45. Куценко Е.С. (2009) Кластеры в экономике: Практика выявления. *Обозреватель*, 10 (237), 109–126.

46. Куценко Е., Тюменцева Д. (2011) Кластеры и инновации в субъектах РФ: результаты эмпирического исследования. *Вопросы экономики*, 9, 93–107. DOI: 10.32609/0042-8736-2011-9-93-107

47. Markusen A. (1996) Sticky Places in Slippery Space: A Typology of Industrial Districts. *Economic Geography*, 72 (3), 293–313. DOI: 10.2307/144402

48. Scott A.J., Storper M. (2005) *Industrialization and regional development. In: Pathways to Industrialization and Regional Development*, London: Routledge, 15–28. DOI: 10.4324/9780203995549

49. Langlois R.N. (2003) The vanishing hand: The changing dynamics of industrial capitalism. *Industrial and Corporate Change*, 12 (2), 351–385. DOI: 10.1093/icc/12.2.351

50. Robertson P.L. (2017) Chapter 2: Technological diffusion in local, regional, national and transnational settings. In: *Handbook on Geographies of Technology* (ed. B. Warf), Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 17–35. DOI: 10.4337/9781785361166.00007

51. Żabińska I. (2014) Development of cluster theory – bibliography study. In: *Systems Supporting Production Engineering: Review of Problems and Solutions* (ed. J. Kaźmierczak), Gliwice: P.A. Nova, 138–152.

52. Поляков Р.К. (2026) Пространственная самоорганизация отраслевых кластеров: методология и апробация. *Проблемы развития территории*, 30 (3), 77–98. DOI: 10.15838/ptd.2026.3.143.5

REFERENCES

1. Marshall A. (1890) *Principles of Economics: An introductory volume*, London, NY: Macmillan and Co.

2. Krugman P.R. (1996) *The Self-Organizing Economy,* Malden, MA, Oxford, UK: John Wiley & Sons.

3. Porter M.E. (1998) Clusters and the New Economics of Competition. *Harvard Business Review*, 76 (6), 77–90.

4. Chain C.P., dos Santos A.C., de Castro L.G., do Prado J.W. (2019) Bibliometric analysis of the quantitative methods applied to the measurement of industrial clusters. *Journal of Economic Surveys*, 33 (1), 60–84. DOI: 10.1111/joes.12267

5. Lazzeretti L., Sedita S.R., Caloffi A. (2014) Founders and disseminators of cluster research. *Journal of Economic Geography*, 14 (1), 21–43. DOI: 10.1093/jeg/lbs053

6. Fujita M., Mori T. (1998) On the dynamics of frontier economies: Endogenous growth or the self-organization of a dissipative system? *Annals of Regional Science*, 32, 39–62. DOI: 10.1007/s001680050062

7. Foster J. (1993) Economics and the Self-Organisation Approach: Alfred Marshall Revisited? *The Economic Journal*, 103 (419), 975–991. DOI: 10.2307/2234714

8. Ikeda K., Murota K., Akamatsu T., Kono T., Takayama Y. (2014) Self-organization of hexagonal agglomeration patterns in new economic geography models. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 99, 32–52. DOI: 10.1016/j.jebo.2013.12.008

9. Witt U. (1997) Self-organization and economics – what is new? *Structural Change and Economic Dynamics*, 8 (4), 489–507. DOI: 10.1016/S0954-349X(97)00022-2

10. Dosi G., Marengo L., Nuvolari A. (2020) Institutions and economic change: Some notes on self-organization, power and learning in human organizations. *Eurasian Business Review*, 10 (1), 1–22. DOI: 10.1007/s40821-019-00132-x

11. Agafonov V. (2016) Regional'nye problemy formirovaniia tsentrov razvitiia [Regional problems of formation of development centers]. *Problemy teorii i praktiki upravleniia* [*Problems of management theory and practice*], 5, 57–68.

12. Babkin A.V., Novikov A.O. (2015) Sovremennoe sostoianie i instrumentarii formirovaniia promyshlennykh klasterov v ekonomike Rossii [Current state and tools for the formation of industrial clusters in the Russian economy]. In: *Klasternaia ekonomika i promyshlennaia politika: Teoriia i instrumentarii* [*Cluster Economics and Industrial Policy: Theory and Tools*] (ed. A.V. Babkin), St. Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 440–479.

13. Van Leeuwen T.N., Visser M.S., Moed H.F., Nederhof T.J., Van Raan A.F.J. (2003) The Holy Grail of science policy: Exploring and combining bibliometric tools in search of scientific excellence. *Scientometrics*, 57 (2), 257–280. DOI: 10.1023/A:1024141819302

14. Wallin J.A. (2005) Bibliometric Methods: Pitfalls and Possibilities. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 97 (5), 261–275. DOI: 10.1111/j.1742-7843.2005.pto_139.x

15. Bojović S., Matić R., Popović Z., Smiljanić M., Stefanović M., Vidaković V. (2014) An overview of forestry journals in the period 2006–2010 as basis for ascertaining research trends. *Scientometrics*, 98 (2), 1331–1346. DOI: 10.1007/s11192-013-1171-9

16. Botelho L.L.R., de Almeida Cunha C.C., Macedo M. (2011) O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais [The integrative review method in organizational studies]. *Gestão e Sociedade* [*Management and Society*], 5 (11), 121–136. DOI: 10.21171/ges.v5i11.1220

17. Liu W., Gu M., Hu G., Li C., Liao H., Tang L., Shapira P. (2014) Profile of developments in biomass-based bioenergy research: a 20-year perspective. *Scientometrics*, 99 (2), 507–521. DOI: 10.1007/s11192-013-1152-z

18. Ashby W.R. (1947) Principles of the Self-Organizing Dynamic System. *Journal of General Psychology*, 37 (2), 125–128. DOI: 10.1080/00221309.1947.9918144

19. Martin R., Sunley P. (2003) Deconstructing clusters: Chaotic concept or policy panacea? *Journal of Economic Geography*, 3 (1), 5–35. DOI: 10.1093/jeg/3.1.5

20. Maskell P., Lorenzen M. (2004) The Cluster as Market Organisation. *Urban Studies*, 41 (5–6), 991–1009. DOI: 10.1080/00420980410001675878

21. Polyakov R., Brizhak O. (2023) Industrial Clusters and the Process of Their Self-organization. In: *Ecosystems Without Borders 2023* (ed. R. Polyakov), Cham: Springer, 705, 60–72. DOI: 10.1007/978-3-031-34329-2_7

22. Kleiner G.B. (2004) *Evolution of institutional systems*, Moscow: Nauka.

23. Kleiner G.B. (2018) Industrial ecosystems: Foresight. *Economic Revival of Russia*, 2 (56), 53–62.

24. Kleiner G. (2015) Sustainability of Russian Economy in the Mirror of the System Economic Theory (Part 1). *Voprosy Ekonomiki*, 12, 107–123. DOI: 10.32609/0042-8736-2015-12-107-123

25. Erznkian B.A., Agafonov V.A. (2011) Setevaia priroda klasternoi sistemy i osnovnye napravleniia formirovaniia klasternoi strategii mezoekonomicheskogo razvitiia Rossii [The network nature of the cluster system and the main directions of the formation of a cluster strategy for the mesoeconomic development of Russia]. *Economics of Contemporary Russia*, 1 (52), 39–48.

26. Marshall A. (1920) *Principles of Economics*, 8th ed., London: McMillan.

27. Cruz S.C.S., Teixeira A.A.C. (2010) The Evolution of the Cluster Literature: Shedding Light on the Regional Studies–Regional Science Debate. *Regional Studies*, 44 (9), 1263–1288. DOI: 10.1080/00343400903234670

28. Enright M.J., Roberts B.H. (2001) Regional clustering in Australia. *Australian Journal of Management*, 26 (1_suppl), 65–85. DOI: 10.1177/031289620102601S04

29. Perry M. (2005) Cluster sustainability in the New Zealand timber industry. *Journal of New Business Ideas and Trends*, 3 (2), 14–24.

30. Navickas V., Malakauskaite A. (2009) The impact of clusterization on the development of small and medium-sized enterprise (SME) sector. *Journal of Business Economics and Management*, 10 (3), 255–259. DOI: 10.3846/1611-1699.2009.10.255-259

31. Lin L., Sun W. (2016) Location choice of FDI firms and environmental regulation reforms in China. *Journal of Regulatory Economics*, 50 (2), 207–232. DOI: 10.1007/s11149-016-9303-9

32. Press S.J. (2005) *Applied Multivariate Analysis: Using Bayesian and Frequentist Methods of Inference*, 2nd ed., Mineola, NY: Dover Publications.

33. Crespo J. (2011) How Emergence Conditions of Technological Clusters Affect Their Viability? Theoretical Perspectives on Cluster Life Cycles. *European Planning Studies*, 19 (12), 2025–2046. DOI: 10.1080/09654313.2011.633824

34. Menzel M.-P., Fornahl D. (2010) Cluster life cycles – dimensions and rationales of cluster evolution. *Industrial and Corporate Change*, 19 (1), 205–238. DOI: 10.1093/icc/dtp036

35. Boja C. (2011) Clusters models, factors and characteristics. *International Journal of Economic Practices and Theories*, 1 (1), 34–43.

36. Fujita M. (1988) A monopolistic competition model of spatial agglomeration. Differentiated product approach. *Regional Science and Urban Economics*, 18 (1), 87–124. DOI: 10.1016/0166-0462(88)90007-5

37. Fujita M., Krugman P.R., Venables A. (1999) *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, Cambridge, MA: MIT Press.

38. Saxenian A. (1996) *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*, Boston: Harvard University Press. DOI: 10.2307/j.ctvjnrsqh

39. Glaeser E.L., Kerr W.R., Ponzetto G.A. (2010) Clusters of entrepreneurship. *Journal of Urban Economics*, 67 (1), 150–168. DOI: 10.1016/j.jue.2009.09.008

40. Jacobs D., De Man A.-P. (1996) Clusters, industrial policy and firm strategy. *Technology Analysis & Strategic Management*, 8 (4), 425–438. DOI: 10.1080/09537329608522461

41. Etzkowitz H. (2008) *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*, NY: Routledge. DOI: 10.4324/9780203929605

42. Etzkowitz H., Leydesdorff L. (1995) The Triple Helix – University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development. *EASST Review*, 14 (1), 14–19.

43. Smorodinskaya N.V., Katukov D.D. (2019) When and why regional clusters become basic building blocks of modern economy. *Baltic Region*, 11 (3), 61–91. DOI: 10.5922/2079-8555-2019-3-4

44. Zyuzin A.V., Demidova O.A. (2022) Impact of industry clusters on the performance of Russian private companies: Inter-industry analysis. *Voprosy Ekonomiki*, 11, 90–116. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-11-90-116

45. Kutsenko E.S. (2009) Klastery v ekonomike: Praktika vyiavleniia [Clusters in the Economy: Identification Practices]. *Observer*, 10 (237), 109–126.

46. Kutsenko E., Tyumentseva D. (2011) Clusters and Innovations in the Subjects of RF: The Results of Empirical Study. *Voprosy Ekonomiki*, 9, 93–107. DOI: 10.32609/0042-8736-2011-9-93-107

47. Markusen A. (1996) Sticky Places in Slippery Space: A Typology of Industrial Districts. *Economic Geography*, 72 (3), 293–313. DOI: 10.2307/144402

48. Scott A.J., Storper M. (2005) *Industrialization and regional development. In: Pathways to Industrialization and Regional Development*, London: Routledge, 15–28. DOI: 10.4324/9780203995549

49. Langlois R.N. (2003) The vanishing hand: The changing dynamics of industrial capitalism. *Industrial and Corporate Change*, 12 (2), 351–385. DOI: 10.1093/icc/12.2.351

50. Robertson P.L. (2017) Chapter 2: Technological diffusion in local, regional, national and transnational settings. In: *Handbook on Geographies of Technology* (ed. B. Warf), Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 17–35. DOI: 10.4337/9781785361166.00007

51. Żabińska I. (2014) Development of cluster theory – bibliography study. In: *Systems Supporting Production Engineering: Review of Problems and Solutions* (ed. J. Kaźmierczak), Gliwice: P.A. Nova, 138–152.

52. Polyakov R.K. (2026) Spatial self-organization of industry clusters: Methodology and approbation. *Problems of Territory's Development*, 30 (3), 77–98. DOI: 10.15838/ptd.2026.3.143.5

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

ПОЛЯКОВ Руслан Константинович
E-mail: ruslan.polyakov@klgtu.ru
Ruslan K. POLYAKOV
E-mail: ruslan.polyakov@klgtu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6779-1383

Поступила: 12.05.2026; Одобрена: 19.08.2026; Принята: 20.08.2026.
Submitted: 12.05.2026; Approved: 19.08.2026; Accepted: 20.08.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 180–197.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 180–197.

Научная статья
УДК 331.108
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19410
EDN: https://elibrary/XATMLB

ВОСПРОИЗВОДСТВО ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

М.Б. Флек, Е.А. Угнич ✉

Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ ugnich77@mail.ru

Аннотация. *Актуальность исследования* определяется необходимостью совершенствования системы управления человеческим капиталом предприятий в условиях внедрения новых технологий, трансформирующих производство и бизнес-процессы. Для крупных компаний с достаточными ресурсами одним из решений этой задачи может стать создание экосистемы воспроизводства человеческого капитала, в которой предприятие выступает не только конечным потребителем, но и заказчиком и сопроизводителем кадров. В работе рассматриваются особенности развития такой экосистемы в условиях распространения технологий искусственного интеллекта (ИИ). *Цель исследования* – выявить особенности воспроизводства человеческого капитала предприятия в условиях распространения технологий ИИ на основе оценки работниками применимости, лояльности и удовлетворенности этими технологиями. *Научная новизна* состоит в развитии методического подхода к оценке воспроизводства человеческого капитала промышленного предприятия в условиях распространения технологий ИИ, основанного на учете показателей их восприятия носителями человеческого капитала. Теоретическую основу составляют труды отечественных и зарубежных авторов, посвященные воспроизводству и управлению человеческим капиталом, а также развитию экосистемного подхода в социально-трудовой сфере. Применение индексного метода позволило получить оценки, отражающие отношение работников и обучающихся к технологиям ИИ. Эмпирическую базу составили результаты анкетирования сотрудников машиностроительного предприятия, инициировавшего создание экосистемы, и студентов вуза, входящего в эту экосистему. Всего были опрошены 72 сотрудника и 47 обучающихся. *В результате* были получены оценки лояльности и удовлетворенности работников и обучающихся технологиями ИИ, что дает представление о трансформации различных стадий воспроизводства человеческого капитала в условиях внедрения новых технологий. В целом носители человеческого капитала положительно оценивали применение технологий ИИ, однако индекс лояльности и работников, и обучающихся показал, что абсолютных приверженцев этих технологий меньшинство. Индекс удовлетворенности работников оценивается как низкий (47,92), а обучающихся – как средний (76,45). Это обусловлено тем, что применение ИИ в образовательном процессе, лежащем в основе стадии формирования человеческого капитала, оказывается значительно более интенсивным. На основе полученных результатов выделены ключевые направления трансформации экосистемы воспроизводства человеческого капитала в условиях распространения технологий ИИ.

Ключевые слова: человеческий капитал, экосистема воспроизводства человеческого капитала, управление человеческим капиталом, технологии искусственного интеллекта, промышленное предприятие

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках реализации проекта «Инклюзивная модель управления человеческим капиталом организаций машиностроительной отрасли в условиях развития технологий искусственного интеллекта» (Соглашение №25-28-02983; https://rscf.ru/project/25-28-02983/).

© Флек М.Б., Угнич Е.А., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Для цитирования: Флек М.Б., Угнич Е.А. (2026) Воспроизводство человеческого капитала промышленного предприятия в условиях распространения технологий искусственного интеллекта. π-Economy, 19 (4), 180–197. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19410

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19410

HUMAN CAPITAL REPRODUCTION OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE IN THE CONTEXT OF THE DISTRIBUTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

M.B. Flek , E.A. Ugnich ✉

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ ugnich77@mail.ru

Abstract. *The relevance* of this study is determined by the need to improve human capital management systems at enterprises in the context of the introduction of new technologies transforming production and business processes. For large companies with sufficient resources, one solution to this problem may be the creation of a human capital reproduction ecosystem in which the enterprise acts not only as the end consumer but also as a customer and co-producer of personnel. This paper examines the development of such an ecosystem in the context of the spread of artificial intelligence (AI) technologies. The aim of the study is to identify the characteristics of human capital reproduction in an enterprise amid the spread of AI technologies based on employee assessments of their applicability, loyalty, and satisfaction. *The scientific novelty* lies in the development of a methodological approach to assessing the reproduction of human capital in an industrial enterprise amid the spread of AI technologies, based on the perception of these technologies by those who hold human capital. The theoretical basis consists of the works of Russian and international authors devoted to the reproduction and management of human capital, as well as the development of an ecosystem approach in the social and labor sphere. The use of the index method allowed us to obtain assessments reflecting the attitudes of employees and students toward AI technologies. The empirical base was formed by the results of a survey among employees of the mechanical engineering company that initiated the ecosystem, and students of the university included in this ecosystem. A total of 72 employees and 47 students were surveyed. *The results* yielded assessments of employee and student loyalty and satisfaction with AI technologies, providing insight into the transformation of various stages of human capital reproduction in the context of the introduction of new technologies. Overall, human capital holders positively evaluate the use of AI technologies; however, the loyalty index of both employees and students revealed that absolute adherents of these technologies are in the minority. Employee satisfaction is rated low (47.92), while that of students is average (76.45). This is due to the fact that the use of AI in the educational process, which underlies the stage of human capital formation, is significantly more intensive. Based on the data obtained, key areas of transformation in the human capital reproduction ecosystem in the context of the spread of AI technologies are identified.

Keywords: human capital, human capital reproduction ecosystem, human capital management, artificial intelligence technologies, industrial enterprise

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project “An inclusive model for human capital management in the mechanical engineering industry in the context of developing artificial intelligence technologies” (Agreement No. 25-28-02983; available online: https://rscf.ru/project/25-28-02983/).

Citation: Flek M.B., Ugnich E.A. (2026) Human capital reproduction of an industrial enterprise in the context of the distribution of artificial intelligence technologies. π-Economy, 19 (4), 180–197. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19410

© Flek M.B., Ugnich E.A., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Введение

Быстрое обновление технологий и появление новых знаний – характерная черта нашей эпохи. Скорость обновления технологий в мире достигла беспрецедентного уровня: если раньше на освоение инноваций требовались десятилетия, то теперь инновации, особенно цифровые, осваиваются буквально за дни[1].

Именно научно-технический прогресс является первопричиной трансформации материального производства, требующего, в свою очередь, быстрой адаптации имеющихся человеческих ресурсов к новым технологиям, особенно связанным с искусственным интеллектом (ИИ). Как отмечалось на ПМЭФ-2026, ИИ затронет около 40% мировой занятости, а в развитых экономиках – до 60%. Оценивается, что в перспективе около 8% от всех современных трудовых функций может быть полностью заменено ИИ[2].

Однако, по некоторым международным оценкам[3], 66% руководителей считают, что новые сотрудники недостаточно подготовлены к работе в условиях ИИ, а 77% сотрудников считают, что ИИ не снизил, а увеличил их рабочую нагрузку. При этом лишь 6% компаний подтвердили, что инвестируют в развитие человеческого потенциала как в стратегию бизнеса. Другое исследование показало, что инвестиции в новые технологии и персонал дают рост производительности 11%, тогда как инвестиции только в технологии увеличивают производительность лишь на 4% [1].

Технологии ИИ могут влиять на человеческий капитал, трансформируя его компоненты, например усиливая требования к цифровой грамотности его носителей [2]. В то же время благодаря человеческому капиталу технологии ИИ развиваются и совершенствуются [3]. В этих условиях одним из решающих факторов обеспечения конкурентоспособности предприятий является то, насколько эффективно они способны накапливать и использовать человеческий капитал. В связи с этим крупные предприятия, обладающие необходимыми ресурсами и возможностями, заинтересованы в формировании экосистемы воспроизводства человеческого капитала. Распространение технологий ИИ усиливает заинтересованность крупных предприятий в таких экосистемах ввиду необходимости обеспечения непрерывной адаптации компетенций работников к меняющимся технологическим требованиям.

Литературный обзор

Исходя из теории человеческого капитала, его экономическая реализация осуществляется в процессе использования, выражающегося во включении носителя в трудовую деятельность [4]. В совокупности с формированием и накоплением использование человеческого капитала предприятия представляет собой процесс воспроизводства [5]. В соответствии с положениями Г. Беккера [6] и исследованием К.А. Устиновой и др. [7] формирование общего человеческого капитала осуществляется в процессе обучения в школе, колледже, вузе и в результате семейного воспитания. Оно закладывает основу для его дальнейшего накопления. В свою очередь, накопление человеческого капитала (или развитие специфического человеческого капитала) как приращение его стоимости – ввиду развития навыков и способностей, получения профессиональных знаний, повышения профессионального уровня [8] – происходит в результате формального и неформального обучения на предприятии, в том числе в процессе выполнения рабочих задач. В целом воспроизводство человеческого капитала промышленного предприятия представляет собой непрерывный процесс его формирования, накопления и использования в соответствии с текущими и перспективными потребностями производства. Основу же самого человеческого капитала промышленного предприятия составляет совокупность знаний, умений, навыков,

[1] WIPO (2026) *World Intellectual Property Report 2026: Technology on the Move*. [online] Available at: https://w.ww.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4833 [Accessed 15.05.2026]

[2] Мануйлова А. (2026) *Оставшимся поднимут производительность*. [online] Available at: https://www.kommersant.ru/doc/8726893 [Accessed 15.05.2026]. (in Russian)

[3] Besana S. (2025) Capital Trends Deloitte 2025: the 8 key challenges that will transform the Future of Work. [online] Available at: https://stefanobesana.substack.com/p/human-capital-trends-deloitte-2025?utm_source=perplexity [Accessed 15.05.2026]

опыта, мотивации, здоровья, интеллектуального потенциала работников, используемая в производственной деятельности предприятия и создающая ценность в процессе его функционирования.

Понимание воспроизводства человеческого капитала с точки зрения экосистемного подхода обусловлено необходимостью решения ряда проблем, стоящих перед современными предприятиями [9], которые связаны с поиском, расстановкой кадров, удержанием перспективных работников, их развитием и повышением эффективности кадровой политики в целом.

В научной литературе существуют разные подходы к пониманию экосистем в сфере социально-трудовых отношений [10, 11]. Но сложившиеся концепции экосистем имеют непосредственное отношение лишь к отдельным стадиям воспроизводства человеческого капитала.

Так, образовательная экосистема [12], нацеленная преимущественно на обеспечение непрерывного образования, реализующего запросы человека и общества, в большей степени связана с формированием общего человеческого капитала. Для такой экосистемы обязательно наличие образовательной организации, среды, обеспечивающей образовательный процесс. Особой образовательной экосистемой является профессионально-образовательная экосистема [13]. Ее специфика состоит в том, что она инициируется субъектом реального сектора экономики. Такие экосистемы связаны не только с формированием человеческого капитала, но и с его накоплением, поскольку во многом заточены под конкретные потребности предприятия-инициатора.

Исследуемые в литературе HR-экосистемы [14, 15] обеспечивают комплексный подход к управлению персоналом и развитию карьерных траекторий сотрудников. Под такими экосистемами понимается взаимозависимая группа заинтересованных сторон, объединенных платформой, «где происходит обмен различными формами ценности для достижения взаимовыгодной цели в сфере управления человеческими ресурсами» [16]. Цель такой экосистемы – повышение эффективности трудовой деятельности через оптимизацию рабочих задач и коммуникаций при их выполнении. Как правило, она ориентирована на стадию использования человеческого капитала и не решает в полном объеме стратегическую задачу создания среды предприятия, в которой сотрудники могут формировать, развивать и реализовывать свой потенциал.

Однако необходимость решения этой стратегической задачи усиливается в условиях распространения технологий ИИ [17]. Исследования показывают, что внедрение ИИ опирается на новое качество материального производства, трансформирующее характер общественных отношений и связей [18], и может повлиять на изменение структуры человеческого капитала [19]. С одной стороны, применение ИИ для обработки данных, автоматизации процессов и поддержки принятия решений значительно повышает производственную эффективность, операционную продуктивность и адаптивность [20], что освобождает ресурсы предприятия для инвестиций в человеческий капитал [21]. С другой стороны, влияние ИИ проявляется в повышении спроса на высококвалифицированные кадры и в сокращении спроса на низкоквалифицированный труд [22], а также в необходимости оптимизации расстановки кадров и в поиске механизмов их профессионального развития. Эти задачи во многом призвана решать экосистема воспроизводства человеческого капитала.

В литературе встречается данное понятие применительно к сетевому человеческому капиталу, который используется для эффективного взаимодействия через Интернет с сетевыми бизнес- или государственными структурами, научно-образовательными сообществами и т.п. [23]. На наш взгляд, данная характеристика сужает понятие экосистемы воспроизводства человеческого капитала, поскольку ее не стоит ограничивать взаимодействием с сетевыми структурами через Интернет, хотя они и могут быть задействованы.

Такая экосистема представляет собой социально-экономическую экосистему, связанную с формированием, накоплением и использованием человеческого капитала, т.е. со всеми стадиями его воспроизводства. Ориентируясь на широкую трактовку социально-экономических

экосистем, представленную Г.Б. Клейнером [24, 25], и учитывая специфику экосистемы воспроизводства человеческого капитала предприятия, ее можно представить следующим образом. Это сложная динамическая система, состоящая из совокупности взаимосвязанных самостоятельных субъектов (включая предприятие-инициатор, образовательные, научные, общественные организации) среды, в которой они функционируют, взаимодействуя между собой и этой средой, обеспечивая формирование и использование человеческого капитала предприятия для реализации его целей. Продукт образуется в результате указанного выше согласованного (кооперации) и/или несогласованного (конкуренции) взаимодействия и возникающих при этом синергетических эффектов. Под продуктом (или результатом) понимается совместное создание ценности – человеческого капитала. Тем самым основная цель такой экосистемы – воспроизводство человеческого капитала, обеспечивающее деятельность предприятия [26]. Взаимодействие участников осуществляется на неиерархических горизонтальных связях, что способствует саморегуляции и саморазвитию экосистемы, делая ее более продуктивной по сравнению с иерархическими системами [27]. Экосистема воспроизводства человеческого капитала является открытой, и состав ее участников может расширяться.

Цель исследования

Цель настоящего исследования состоит в том, чтобы выявить особенности воспроизводства человеческого капитала предприятия в условиях распространения технологий ИИ на основе оценки работников их применимости, лояльности и удовлетворенности.

Достижению данной цели способствует решение следующих задач:

– раскрыть особенности экосистемы воспроизводства человеческого капитала промышленного предприятия;

– выявить специфику воспроизводства человеческого капитала предприятия в условиях распространения технологий ИИ;

– проанализировать влияние распространения технологий ИИ на человеческий капитал на разных стадиях его воспроизводства на примере машиностроительного предприятия;

– дать предложения по развитию человеческого капитала предприятия в условиях распространения технологий ИИ.

Объектом исследования является человеческий капитал промышленного предприятия. *Предметом* выступает механизм воспроизводства человеческого капитала промышленного предприятия в условиях распространения технологий ИИ.

Материалы и методы

Основу настоящего исследования составляет экосистемный подход [28], универсальность которого позволяет применять его для понимания различных социально-экономических явлений и процессов [29], в частности связанных с воспроизводством человеческого капитала предприятия. Экосистемный подход в исследовании человеческого капитала дополняет системный подход, позволяя рассматривать такие свойства, как динамичность, коэволюция и адаптивность [30]. При этом в фокусе находятся именно динамические аспекты, взаимосвязь между субъектами, со средой, характер изменения этих взаимоотношений.

В рамках воспроизводственного подхода человеческий капитал рассматривается как сложная динамическая система социально-экономических отношений, возникающих в связи с его непрерывным формированием, развитием и использованием [7].

Практическая часть исследования построена на анализе результатов опроса работников крупного машиностроительного предприятия Ростовской области, инициировавшего создание экосистемы. В качестве респондентов выступили инженеры предприятия с высшим образованием и трудовым стажем более одного года. Выбор данной группы работников обусловлен их ключевой ролью в обеспечении бесперебойности производственных и технологических процессов, а также

во внедрении инноваций. Интеллектуальная составляющая труда инженеров является критически важной для функционирования предприятия, что определяет исследовательский интерес к анализу потенциала замещения данного типа трудовой деятельности технологиями ИИ.

Также использовались результаты опроса студентов базовой кафедры Донского государственного технического университета, входящего в данную экосистему. Опросы путем анонимного анкетирования проводились в феврале–апреле 2026 г. Ответы были получены от 47 обучающихся и 72 работников. Две указанные группы респондентов оценили свое отношение к применению ИИ в образовательной и профессиональной сферах, что позволяет проанализировать трансформацию не только формирования человеческого капитала, но и его накопления и использования.

Анкета включала вопросы, направленные на оценку лояльности и удовлетворенности респондентов в контексте внедрения технологий ИИ. Для оценки лояльности использовался индекс NPS (Net Promoter Score) [31], ориентированный на измерение готовности респондентов рекомендовать применение технологий. Удовлетворенность оценивалась, опираясь на модель принятия технологий Ф. Дэвиса [32], с помощью индекса CSI (Customer Satisfaction Index), характеризующего текущее восприятие респондентами внедряемых технологий.

Результаты и обсуждение

Экосистема воспроизводства человеческого капитала охватывает все стадии его воспроизводства за счет взаимосвязи таких субъектов и среды, которые способны обеспечить и формирование базы знаний, навыков и их обновление, в том числе с учетом специфики предприятия-инициатора, и реализацию производственной деятельности, включая рабочие коммуникации. При этом такая экосистема способна развиваться под воздействием внешних изменений, обеспечивая тем самым коэволюцию ее субъектов. Данное свойство обусловлено прежде всего ее целеполаганием: человеческий капитал, необходимый предприятию, должен соответствовать используемым средствам производства, которые обновляются под воздействием научно-технического прогресса. Это, в свою очередь, стимулирует внедрение новых знаний и технологий на всех этапах воспроизводства человеческого капитала. Так, на современном этапе научно-технического прогресса все большее влияние на формирование и использование человеческого капитала оказывает распространение технологий ИИ.

При этом концепция экосистемы воспроизводства человеческого капитала предприятия исходит из того, что в ее центре находится человек (работник или потенциальный сотрудник), обладающий способностью к труду. И свойства его личностного и трудового потенциала рассматриваются как система высших ценностей и смыслов.

В качестве иллюстрации вышеизложенного можно привести пример становления и развития экосистемы воспроизводства человеческого капитала, сформированной на базе машиностроительного предприятия Ростовской области.

Столкнувшись с дефицитом кадров и необходимостью повышения качества человеческого капитала в условиях усложнения высокотехнологичных задач, предприятие в 2002 г. инициировало создание образовательного пространства. В 2015 г. оно было преобразовано в профессионально-образовательный кластер, который к 2019 г. эволюционировал в профессионально-образовательную экосистему, ориентированную на формирование человеческого капитала. Дальнейшее развитие, продиктованное потребностью в укреплении полного цикла его воспроизводства, позволяет сегодня говорить о формировании экосистемы воспроизводства человеческого капитала.

Переход от пространства к кластеру, затем к профессионально-образовательной экосистеме и к экосистеме человеческого капитала обусловлен необходимостью:

– соответствия качества человеческого капитала стратегическим задачам предприятия (рост сложности технологий, трансформация рынков);

– снижения рисков устаревания профессиональных компетенций;

– создания синергии между образованием, наукой и производством;

– формирования человеческого капитала, способного к перманентному обучению и адаптации к обновляющимся технологиям;

– укрепления взаимосвязи задач формирования и использования человеческого капитала.

Кроме предприятия, инициировавшего создание экосистемы, в нее входят общеобразовательные организации (лицеи, гимназии, школы), колледжи, вузы (ДГТУ, ЮФУ, ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова), научные организации (Южный научный центр РАН), общественные организации (Ростовское отделение «СоюзМаш», Союз работодателей Ростовской области и др.).

Ключевыми результатами формирования человеческого капитала в экосистеме являются следующие:

– 74% обучающихся трудоустроены на предприятие после завершения обучения;

– более 50 выпускников занимают руководящие должности на предприятии;

– сократился период профессиональной адаптации у выпускников после трудоустройства. Более чем у половины из них он составил до трех месяцев, тогда как на крупных промышленных предприятиях он может составлять около трех лет.

Таким образом, экосистема воспроизводства человеческого капитала становится не просто поставщиком образовательных услуг, а системообразующим элементом, обеспечивающим устойчивое развитие предприятия через непрерывное воспроизводство человеческого капитала. При этом экосистема не статична, она постоянно находится в развитии.

Как отмечалось, на современном этапе важнейшим драйвером развития экономических субъектов становятся технологии ИИ. Их уникальность по сравнению с иными информационными технологиями заключается в его способности кардинально трансформировать организацию производственных процессов. Это обусловлено широким спектром входящих в него технологий – от больших языковых моделей как одного из ключевых инструментов генеративного ИИ и машинного обучения до компьютерного зрения и робототехники. Данные инструменты все активнее применяются для прогнозного обслуживания, контроля качества, поддержки принятия решений, а также автоматизации и оптимизации бизнес-процессов.

В современных исследованиях [33, 34] убедительно демонстрируется влияние технологий ИИ на рост производительности предприятий. Вместе с тем важно подчеркнуть, что это воздействие зачастую носит опосредованный характер и актуализирует ключевую роль человеческого капитала как основного проводника и катализатора позитивных изменений, связанных с внедрением ИИ.

Технологии ИИ, безусловно, по-разному влияют на человеческий капитал на разных стадиях его воспроизводства. Применительно к выполнению трудовых задач, т.е. на стадии использования человеческого капитала, они эффективны для решения повторяющихся, стандартизированных задач. В то же время распространение технологий ИИ, основанных на сложных алгоритмах, выдвигает более высокие требования к уровню квалификации работников, их когнитивным способностям и цифровой грамотности.

Иными словами, внедрение технологий ИИ меняет структуру человеческого капитала на предприятии: растет потребность в высококвалифицированных работниках, а в работниках с низкой квалификацией она падает. Тем самым создается определенный запрос к формированию человеческого капитала.

На стадии формирования общего человеческого капитала также могут применяться технологии ИИ. Однако эффективность их внедрения в образовательный процесс в настоящее время является дискуссионным вопросом [35]. Это объясняется тем, что, несмотря на способность

технологий ИИ повышать эффективность освоения учебных материалов, сокращать трудозатраты обучающихся при выполнении заданий и оптимизировать подготовку материалов преподавателями, готовность системы образования к внедрению ИИ существенно отстает от темпов развития самих технологий. Данное отставание создает риски, связанные с нарушением релевантности образовательного результата и со снижением управляемости образовательного процесса.

На стадии накопления человеческого капитала также могут активно применяться технологии ИИ для повышения квалификации его носителей без отрыва от производства. Могут использоваться чат-бот-наставники, дающие мгновенную обратную связь по техзаданиям, сокращая время на обучение, а также компьютерное зрение и машинное обучение, моделирующее реальные сбои оборудования, виртуальное устранение которых работником позволяет сделать анализ его ошибок. В этих целях технологии ИИ активно применяются в таких организациях, как «Северсталь», НАТЭК-Нефтехиммаш и др.[4]

На стадии использования человеческого капитала, т.е. для выполнения работниками своих трудовых задач, могут использоваться специальные ИИ-платформы. Так, холдинг «Росэл», входящий к госкорпорацию «Ростех», в 2026 г. запустил промышленную ИИ-платформу ShokinGPT для работы с документами и данными[5]. Она функционирует внутри IT-среды предприятия без подключения к Интернету. Использование ShokinGPT позволяет сократить время поиска информации до 80% и сэкономить 3–5 рабочих часов в день на одного работника.

Внедрение технологий ИИ становится значимым фактором трансформации экосистемы воспроизводства человеческого капитала предприятия, порождая новые вызовы. Как отмечалось, ИИ оказывает существенное влияние на все стадии этого процесса – от формирования и накопления до использования человеческого капитала. При этом характер и глубина данного влияния во многом определяются восприятием самих носителей человеческого капитала – работников предприятий и обучающихся.

Для анализа особенностей внедрения ИИ на различных этапах воспроизводства человеческого капитала в экосистеме в феврале–апреле 2026 г. проводился опрос обучающихся и работников предприятия. Общие сведения о респондентах представлены в табл. 1.

Таблица 1. Общие сведения о респондентах
Table 1. General information about the respondents

Группа респондентов	Средний возраст	Доля женщин, %
Работники	43,1	38,9
Обучающиеся	20,1	19,1

Источник: составлено авторами.

В опросе приняли участие студенты II–IV курсов базовой кафедры (техническое направление). 55,3% опрошенных совмещали работу с учебой, 21,3% имели такой опыт в прошлом.

Среди работников предприятия – инженеры и руководители структурных подразделений. Все опрошенные работники имеют высшее образование, а два человека – ученую степень. Средний стаж опрошенных работников – 21,6 лет, стаж работы на предприятии – 16,1 лет.

Отвечая на общие вопросы относительно опыта использования технологий ИИ, 33,3% работников используют их часто, 44,4% – иногда, 22,3% имеют только общее представление. Ответы

[4] Фомин В. (2024) Как искусственный интеллект помогает в обучении рабочих на заводе. Экономика и жизнь, 34 (10050). [online] Available at: https://www.eg-online.ru/article/489471/ [Accessed 2.06.2026]. (in Russian)

[5] Ростех (2026) Ростех запустил защищенную ИИ-платформу для промышленных предприятий. [online] Available at: https://rostec.ru/media/news/rostekh-zapustil-zashchishchennuyu-ii-platformu-dlya-promyshlennykh-predpriyatiy/#start [Accessed 2.06.2026]. (in Russian)

обучающихся распределились следующим образом: 46,8% используют их часто, 48,9% – иногда, 4,2% имеют общее представление. Тех, кто ничего не знает про технологии ИИ, не оказалось ни в одной группе респондентов.

Что касается вопроса доверия технологиям ИИ, то подавляющее большинство респондентов в обеих группах ответило, что доверять можно, но с перепроверкой информации. Так считают 83,3% работников и 83% обучающихся.

Примечательно, что более половины сотрудников предприятия (56%) уже применяет ИИ как в профессиональной деятельности, так и в целях обучения, тогда как среди студентов этот показатель ожидаемо выше в образовательных целях (100%). Наиболее востребованными в повседневной жизни у обеих групп оказались технологии генеративного ИИ (DeepSeek).

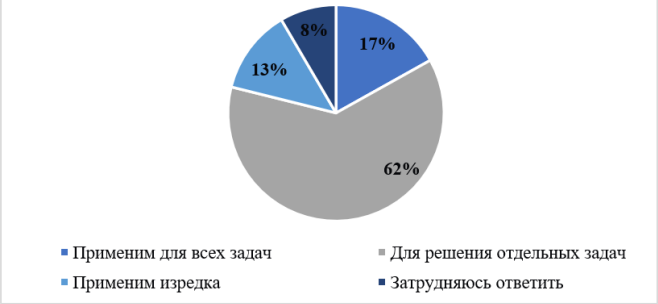
Мнения разных групп респондентов относительно ключевых преимуществ и рисков использования технологий ИИ разделились ввиду разного опыта их использования: у обучающихся – применительно к учебному процессу, а у работников – к своей профессиональной деятельности. В то же время ключевым преимуществом большая часть респондентов обеих групп назвала «доступ к информации». Что касается ключевых рисков, то половина опрошенных работников считает, что это киберриски, утечка конфиденциальных данных, а 51% обучающихся – ухудшение памяти, фантазии. Примечательно, что потеря работы не стала ключевым риском по мнению работников. Такую угрозу отметили только 11% респондентов.

Большинство работников (62%) согласилось с мнением, что в настоящее время технологии ИИ применимы для решения лишь отдельных профессиональных задач. И только 17% утвердительно ответили о возможности применения технологий для всех задач (рис. 1). Среди респондентов нет тех, кто бы посчитал, что ИИ однозначно неприменим в их работе.

Относительно будущей профессии обучающиеся считают, что владение технологиями ИИ пригодится: уверены в этом 32% опрошенных, а 62% считают возможным (рис. 2). Отрицательных ответов не было.

Подавляющее большинство опрошенных работников (72,2%) доверяет ИИ редактировать текст, 66,7% используют ИИ для написания служебных записок, а 61,1% – инструкций. Об использовании ИИ при выполнении контрольных функций и написании программ сообщили лишь 16,7% респондентов. Иными словами, работники в первую очередь стремятся передать ИИ рутинные процессы (рис. 3).

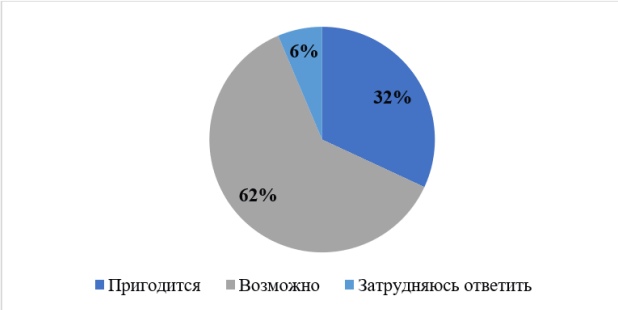
Что касается применения технологий ИИ обучающимися (рис. 4), наибольшее количество опрошенных использует их для подготовки реферата/доклада (59,6%), а также для поиска ответов на вопросы домашнего задания (57,4%).



Источник: составлено авторами.

Рис. 1. Мнение работников относительно применимости ИИ для решения профессиональных задач

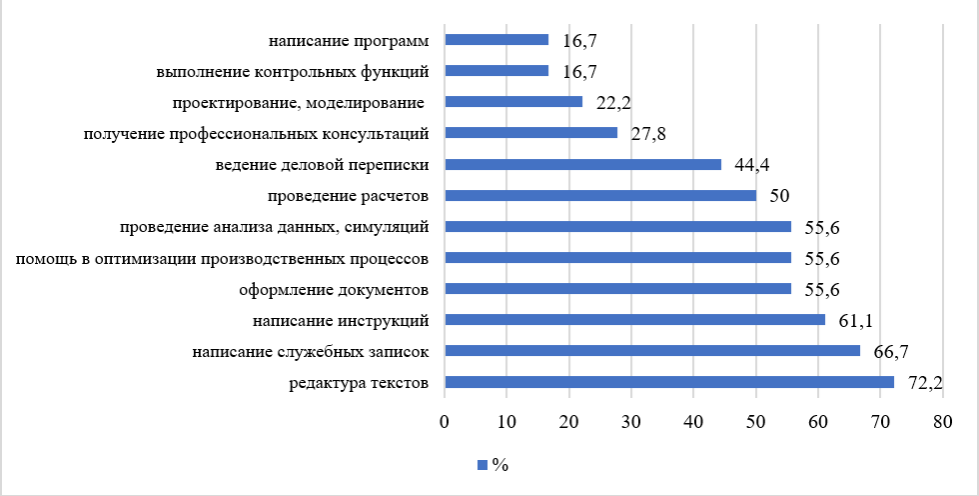
Fig. 1. Employees' opinions on the applicability of AI to solving professional problems



Источник: составлено авторами.

Рис. 2. Мнение обучающихся о возможности применения ИИ в их будущей профессии

Fig. 2. Students' opinions on the possibility of using AI in their future profession



Источник: составлено авторами.

Рис. 3. Мнение работников относительно выполнения профессиональных задач с помощью технологий ИИ

Fig. 3. Employees' opinions on performing professional tasks using AI technologies

Для общего представления о том, насколько технологии ИИ отвечают ожиданиям работников и обучающихся, проведен расчет индекса лояльности NPS по формуле:

$$NPS = A - B, \quad (1)$$

где A – доля приверженцев в процентном выражении, B – доля критиков в процентном выражении.

NPS не может служить инструментом диагностики проблем приверженности технологиям ИИ, но это общий индикатор [21], дающий представление об их восприятии. Расчет достаточно прост, строится на основе ответа на вопрос о рекомендации использования ИИ коллегам по шкале от 0 до 10. Сравнение значений NPS работников и обучающихся позволяет дать представление о лояльности к внедрению ИИ на стадии формирования и развития человеческого капитала.

Полученные на основе опроса результаты оценки представлены в табл. 2. Критически настроенными респондентами считаются те, кто, отвечая на вышеуказанный вопрос относительно использования ИИ, поставил от 0 до 6 баллов. Приверженцами считаются те, кто поставил 9–10



Источник: составлено авторами.

Рис. 4. Мнение обучающихся относительно использования технологий ИИ в обучении

Fig. 4. Students' opinions on the use of AI technologies in learning

Таблица 2. Оценка лояльности респондентов к технологиям ИИ

Table 2. Assessment of respondents' loyalty to AI technologies

Характеристика	Работники, %	Обучающиеся, %
Критическое отношение (0–6 баллов)	72,22	34,04
Нейтральное отношение (7–8 баллов)	22,22	38,30
Приверженность (9–10 баллов)	5,56	27,66
NSP	–66,67	–6,38

Источник: составлено авторами.

баллов. Среди работников критически настроенных значительно больше, чем среди обучающихся.

Отрицательное значение NPS в обеих группах респондентов свидетельствует о том, что среди них критически настроенных к технологиям ИИ больше, чем выраженных приверженцев. В то же время NPS работников (–66,66) гораздо меньше, чем NPS обучающихся, это значит, что сопротивление первых гораздо сильнее.

Для оценки текущей удовлетворенности использования технологий ИИ рассчитан индекс удовлетворенности CSI (Customer Satisfaction Index). В основе его определения также лежат результаты опроса респондентов. Но если NPS фокусируется больше на эмоциональной лояльности и ориентирован на перспективу, то CSI – это текущая рациональная оценка, которая может дать информацию о наличии барьеров. CSI – интегральный показатель, он может включать несколько компонентов. Дополнив модель принятия технологий Ф. Дэвиса [32], в индекс CSI включили оценку полезности, простоты использования и безопасности. По каждой составляющей CSI рассчитаны эти показатели (табл. 3). Базовая формула (2) для всех показателей едина. Затем CSI определяется как средняя величина из указанных трех показателей, поскольку значимость каждого показателя определить достаточно сложно на начальном этапе внедрения новых технологий:

$$CSI = \frac{B_o}{B_m} * 100, \quad (2)$$

где B_o – средний балл, B_m – максимальный балл.

Если CSI > 80, то это высокий уровень, свидетельствующий об удовлетворенности пользователей. Если 60 < CSI < 80 – средний уровень, показывающий, что в целом пользователи удовлетворены, но существуют сложности. CSI < 60 говорит о низком уровне удовлетворенности.

Значение CSI и трех его составляющих говорит о низком текущем уровне удовлетворенности технологиями ИИ опрошенных работников (менее 60) и о среднем уровне удовлетворенности обучающихся (от 60 до 80). При этом самое низкое значение составляющей и в оценке работников, и в оценке обучающихся – «безопасность». Самое высокое значение в обеих группах респондентов – компонента «простота использования».

Таблица 3. Оценка удовлетворенности технологиями ИИ
Table 3. Assessment of satisfaction with AI technologies

Показатели	Работники, балл	Обучающиеся, балл
Полезность	48,06	77,02
Простота использования	52,22	81,70
Безопасность	43,47	70,63
CSI	47,92	76,45

Источник: составлено авторами.

Таким образом, пока наблюдаются невысокая лояльность и умеренная удовлетворенность технологиями ИИ. При этом обучающиеся больше расположены к использованию технологий ИИ, их удовлетворенность ими оценивается как средняя.

Хотя доля выраженных приверженцев внедрения ИИ в образование и профессиональную деятельность среди обеих групп респондентов не является доминирующей, исследование в целом демонстрирует позитивное отношение преподавателей и студентов к ИИ и наличие опыта его использования. При этом в образовательном процессе, составляющем основу стадии формирования человеческого капитала в экосистеме, применение ИИ оказывается значительно более интенсивным. Это позволяет предположить, что трансформация экосистемы в современных условиях будет определяться спецификой каждой стадии воспроизводства человеческого капитала и теми требованиями, которые предъявляет к ним интеграция ИИ.

Особого внимания в этой связи заслуживает стадия формирования человеческого капитала, т.е. образовательный процесс и подготовка кадров для предприятия. Ключевой задачей здесь становится развитие ИИ-грамотности, формирующей понимание принципов эффективного и инклюзивного партнерства человека и ИИ [36].

Безусловно, трансформация экосистемы не ограничивается стадией формирования и затрагивает также накопление и использование человеческого капитала. Необходимо учитывать двунаправленный характер этого процесса: с одной стороны, высококвалифицированные специалисты ускоряют внедрение ИИ, с другой – само распространение технологий ИИ требует от работников непрерывного повышения квалификации и обновления компетенций [33]. Следовательно, взаимосвязь между трансформациями различных стадий воспроизводства человеческого капитала усиливается, и качество человеческого капитала предприятия во многом предопределяется теми принципами работы с ИИ, которые были заложены уже на этапе формирования.

К настоящему времени применение технологий ИИ становится неотъемлемой частью новой реальности. И в основу трансформации экосистемы воспроизводства человеческого капитала должны быть заложены следующие требования:

– формирование логики взаимодействия человека с технологиями ИИ на основе четкого распределения ролей, границ ответственности и обновление самой логики этого взаимодействия. Технологии ИИ не должны восприниматься исключительно как инструмент автоматизации рутинных операций;

– обеспечение прозрачности процессов, достоверности данных. Необходима перестройка базовых функций в образовательной и профессиональной сфере с акцентом на верификацию подлинности данных, а не только на скорость и удобство их получения;

– изменение требований к оценке результатов. Поскольку существует риск, что не только студенты, но и работники предприятия могут использовать технологии ИИ, чтобы выглядеть продуктивнее, чем они есть на самом деле, необходимо определить, что именно считается вкладом, качеством работы и в образовательной, и в профессиональной среде, где часть результата создается совместно с ИИ;

– развитие ИИ-грамотности в неразрывной связи с гибкими навыками, включая способность к рефлексии и критическому суждению. Это необходимо для предотвращения риска снижения когнитивных способностей: чрезмерная зависимость от ИИ может привести к утрате носителями человеческого капитала критического мышления, профессиональной экспертизы и способности к логическому анализу.

Таким образом, в условиях распространения технологий ИИ трансформация экосистемы воспроизводства человеческого капитала основывается не на гонке за внедрением сверхтехнологий, а на глубинном переустройстве процессов. Ключевыми ориентирами становятся повышение их прозрачности, ориентация на достижение верифицируемых результатов и целенаправленное развитие навыков носителей человеческого капитала на всех стадиях его воспроизводства.

Заключение

Одним из двигателей современного этапа научно-технического прогресса являются технологии ИИ. По сравнению с другими информационными технологиями их уникальность заключается в способности глубокого изменения способа организации производства, поскольку их спектр очень разнообразен. Однако это воздействие зачастую носит опосредованный характер и актуализирует ключевую роль человеческого капитала.

Экосистема воспроизводства человеческого капитала охватывает все стадии его воспроизводства за счет взаимосвязи предприятия-инициатора с другими участниками (образовательными, научными, общественными и иными организациями). В центре такой экосистемы находится человек, работник или потенциальный сотрудник, обладающий способностью к труду.

Внедрение технологий ИИ способно изменить структуру человеческого капитала предприятия, увеличивая потребность в высококвалифицированных работниках. При этом ИИ оказывает существенное влияние на все стадии процесса воспроизводства человеческого капитала – формирования, накопления и использования. Характер и глубина данного влияния во многом определяются восприятием самих носителей человеческого капитала – сотрудников предприятий и обучающихся.

Анализ результатов анкетирования работников промышленного предприятия, инициировавшего создание экосистемы воспроизводства человеческого капитала, и обучающихся образовательных организаций этой экосистемы, показал, что пока наблюдаются невысокая лояльность и умеренная удовлетворенность технологиями ИИ. При этом обучающиеся больше, чем

работники, расположены к использованию технологий ИИ, удовлетворенность ими оценивается как средняя.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что адаптация экосистемы воспроизводства человеческого капитала к условиям распространения технологий ИИ лежит не столько в технической, сколько в управленческой, организационной и педагогической плоскостях. Исследование показало, что, несмотря на умеренную долю выраженных приверженцев внедрения ИИ, эти технологии уже интегрированы в практику, особенно на стадии формирования человеческого капитала.

Качество человеческого капитала предприятия в перспективе будет определяться тем, насколько успешно на стадии его формирования будут заложены принципы прозрачности, критического мышления, этичного партнерства с ИИ и кибербезопасности. Таким образом, ключевым элементом трансформации экосистемы является перестройка процессов оценки, обеспечения достоверности данных и развития ИИ-грамотности, что позволяет минимизировать когнитивные риски и усилить синергию человека и технологий на всех этапах воспроизводства капитала.

Направления дальнейших исследований

Будущие исследования могут быть связаны с выявлением факторов и механизмов, повышающих эффективность человеческого капитала предприятия в условиях взаимодействия с технологиями ИИ, а также с определением границ и допустимых сфер применения технологий ИИ сотрудниками предприятия с учетом этических, правовых и организационных ограничений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. World Economic Forum (2026) *Human-Machine Collaboration in Industrial Operations: Activation Playbook*, Geneva: World Economic Forum.

2. Бондарь А.В., Шарова К.И. (2025) Искусственный интеллект в контексте динамики человеческого капитала. *Белорусский экономический журнал*, 2 (111), 67–77. DOI: 10.46782/1818-4510-2025-2-67-77

3. Лукичев П.М. (2025) Человеческий капитал в эпоху искусственного интеллекта. *Экономика труда*, 12 (5), 683–702. DOI: 10.18334/et.12.5.123167

4. Шабловская У.С., Господарик Е.Г. (2023) Человеческий капитал – фундамент экономического и финансового развития. *Банковский бизнес и финансовая экономика: глобальные тренды и перспективы развития*, 359–363.

5. Нестеров А.А., Форрестер С.В. (2010) *Проблемы человеческого капитала в современной экономике*, монография, Самара: Самарский государственный технический университет.

6. Becker G.S. (1964) *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*, NY: Colombia University Press.

7. Устинова К.А., Губанова Е.С., Леонидова Г.В. (2015) *Человеческий капитал в инновационной экономике*, монография, Вологда: Институт социально-экономического развития территорий РАН.

8. Хафизова Г.С. (2010) Накопление и потребление человеческого капитала. *Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы*, 1, 3–4.

9. Жданов Д.А. (2022) Человеческий капитал предприятия: модель компетенций работника в цифровом мире. *π-Economy*, 15 (5), 58–74. DOI: 10.18721/JE.15504

10. Боровская М.А., Лябах Н.Н., Масыч М.А., Федосова Т.В. (2021) Тенденции развития академического мира как научно-образовательной экосистемы. *Terra Economicus*, 19 (4), 110–126. DOI: 10.18522/2073-6606-2021-19-4-110-126

11. Пашук Н.Р., Вертинова А.А., Смицких К.В. (2023) Университетский комплекс как элемент научно-образовательной экосистемы региона. *Креативная экономика*, 17 (12), 4503–4516. DOI: 10.18334/ce.17.12.119771

12. Конанчук Д.С. (2024) Образовательные экосистемы: новые принципы и пространство для развития сотрудников организаций. *Государственная служба*, 26 (3), 62–69. DOI: 10.22394/2070-8378-2024-26-3-62-69

13. Флек М.Б., Угнич Е.А. (2024) Профессионально-образовательная экосистема промышленного предприятия: понятие, особенности, опыт. *Перспективы науки и образования*, 3 (69), 698–718. DOI: 10.32744/pse.2024.3.43

14. Malik A., Budhwar P., Mohan H., Srikanth N.R. (2023) Employee experience – the missing link for engaging employees: Insights from an MNE's AI-based HR ecosystem. *Human Resource Management*, 62 (1), 97–115. DOI: 10.1002/hrm.22133

15. Snell S.A., Morris S.S. (2019) Time for realignment: The HR ecosystem. *Academy of Management Perspectives*, 35 (2), 3–38. DOI: 10.5465/amp.2018.0069

16. Мартынова С.Э., Богатырева Т.Г. (2023) Цифровые HR-платформы и экосистемы в государственном управлении. *Среднерусский вестник общественных наук*, 18 (3), 108–130. DOI: 10.22394/2071-2367-2023-18-3-108-130

17. Кудина М.В. (2024) Человеческий капитал: экономическая природа и влияние искусственного интеллекта в контексте устойчивости в период трансформации цивилизации. *Государственное управление. Электронный вестник*, 1 (104), 34–48. DOI: 10.55959/MSU2070-1381-104(S)-2024-34-48

18. Бодрунов С.Д. (2022) Научно-технический прогресс и трансформация общества: нооно-мика и нооообщество. Часть 1. *Нооно-мика и нооообщество. Альманах трудов ИНИР им. С.Ю. Витте*, 1 (1), 24–42. DOI: 10.37930/2782-618X-2022-1-1-24-42

19. Yang C.H. (2022) How Artificial Intelligence Technology Affects Productivity and Employment: Firm-level Evidence from Taiwan. *Research Policy*, 51 (6), art. no. 104536. DOI: 10.1016/j.respol.2022.104536

20. Вертакова Ю.В., Шкарупета Е.В. (2025) Интеллектуальное производство в условиях индустрии Х.0. *Экономическое возрождение России*, 1(83), 146–162. DOI: 10.37930/1990-9780-2025-1-83-146-162

21. Dong Z., Aziz M.F.A., Wang Y. (2025) An empirical analysis of how artificial intelligence development influences the adjustment of human capital structure. *Finance Research Letters*, 84, art. no. 107827. DOI: 10.1016/j.frl.2025.107827

22. Liu Y., Luan L., Wu W., Zhang Z., Hsu Y. (2021) Can digital financial inclusion promote China's economic growth? *International Review of Financial Analysis*, 78, art. no. 101889. DOI: 10.1016/j.irfa.2021.101889

23. Дятлов С.А., Литвинова Н.А. (2022) Экосистема воспроизводства человеческого капитала в цифровой экономике: методологические подходы к исследованию. *Инновации*, 2 (280), 42–48. DOI: 10.26310/2071-3010.2022.280.2.006

24. Клейнер Г.Б. (2019) Экономика экосистем: шаг в будущее. *Экономическое возрождение России*, 1 (59), 40–45.

25. Клейнер Г.Б. (2018) Социально-экономические экосистемы в контексте дуального прос-транственно-временного анализа. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 5 (5), 5–13.

26. Флек М.Б., Угнич Е.А. (2025) Развитие устойчивой карьеры инженера в экосистеме вос-производства человеческого капитала предприятия. *МИР* (*Модернизация. Инновации. Развитие*), 16 (4), 762–779. DOI: 10.18184/2079-4665.2025.16.4.762-779

27. Бабкин А.В., Ташенова Л.В. (2023) Структура и особенности интеллектуального капитала цифровых киберсоциальных промышленных экосистем кластерного типа. *Экономика и управ-ление*, 29 (11), 1316–1324. DOI: 10.35854/1998-1627-2023-11-1316-1324

28. Боровская М.А., Никитаева А.Ю., Бечвая М.Р., Черниченко О.А. (2022) Финансовые инструменты в экономических механизмах стратегического развития науки и образования: экосистемный подход. *Финансы: теория и практика*, 26 (2), 6–24. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-2-6-24

29. Moore J.F. (1993) Predators and Prey: A New Ecology of Competition. *Harvard Business Review*, 71 (3), 75–86.

30. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Шкарупета Е.В., Чэнь Лэйфэй (2025) Инструментарий оценки цифровой зрелости интеллектуальной промышленной экосистемы на основе коэволюции и экосистемной синергии. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: 10.18721/JE.18402

31. Baehre S., O'Dwyer M., O'Malley L., Lee N. (2022) The use of Net Promoter Score (NPS) to predict sales growth: insights from an empirical investigation. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 50, 67–84. DOI: 10.1007/s11747-021-00790-2

32. Davis F.D. (1989) Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13 (3), 319–340. DOI: 10.2307/249008

33. Lei L., Feng H., Ren J. (2025) Artificial intelligence, human capital and firm-level total factor productivity. *Finance Research Letters*, 85 (A), art. no. 107897. DOI: 10.1016/j.frl.2025.107897

34. Fan C., Liao X., Yang X. (2025) Artificial intelligence and enterprise total factor productivity: A human capital requirement perspective. *International Review of Economics & Finance*, 104, art. no. 104-661. DOI: 10.1016/j.iref.2025.104661

35. Хузяхметов Р.Р., Ромашкина Г.Ф., Лукьяненко А.Е., Костомаров В.М., Кичикова Д.В. (2025) Применение искусственного интеллекта в высшем образовании: возможности и проблемы. *МИР* (*Модернизация. Инновации. Развитие*), 16 (4), 642–659. DOI: 10.18184/2079-4665.2025.16.4.642-659

36. Земцов Д.И., Груздев И.А. (2025) «Цифровой кентавр»: совместное обучение человека и ИИ в университете. *Высшее образование в России*, 34 (10), 47–62. DOI: 10.31992/0869-3617-2025-34-10-47-62

REFERENCES

1. World Economic Forum (2026) *Human-Machine Collaboration in Industrial Operations: Activation Playbook*, Geneva: World Economic Forum.

2. Bondar A., Sharova K. (2025) Artificial Intelligence in the Context of Human Capital Dynamics. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal*, 2 (111), 67–77. DOI: 10.46782/1818-4510-2025-2-67-77

3. Lukichyov P.M. (2025) Human capital in the era of artificial intelligence. *Russian Journal of Labour Economics*, 12 (5), 683–702. DOI: 10.18334/et.12.5.123167

4. Shablovskaia U.S., Gospodarik E.G. (2023) Human capital is the foundation of economic and financial development. *Bankovskii biznes i finansovaia ekonomika: global'nye trendy i perspektivy razvitiia* [*Banking and Financial Economics: Global Trends and Development Prospects*], 359–363.

5. Nesterov A.A., Forrester S.V. (2010) *Problemy chelovecheskogo kapitala v sovremennoi ekonomike* [*Problems of human capital in the modern economy*], monograph, Samara: Samarskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet.

6. Becker G.S. (1964) *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*, NY: Colombia University Press.

7. Ustinova K.A., Gubanova E.S., Leonidova G.V. (2015) *Chelovecheskii kapital v innovatsionnoi ekonomike* [*Human capital in an innovative economy*], monograph, Vologda: Institut sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia territorii RAN.

8. Khafizova G. (2010) The accumulation of human capital and consumption. *Innovative Economics: Information, Analytics and Forecasts*, 1, 3–4.

9. Zhdanov D.A. (2022) Human capital of an enterprise: a model of employee competencies in the digital world. *π-Economy*, 15 (5), 58–74. DOI: 10.18721/JE.15504

10. Borovskaya M.A., Lyabakh N.N., Masych M.A., Fedosova T.V. (2021) Trends in the academic world as a scientific and educational ecosystem. *Terra Economicus*, 19 (4), 110–126. DOI: 10.18522/2073-6606-2021-19-4-110-126

11. Pashuk N.R., Vertinova A.A., Smitskikh K.V. (2023) The university complex as an element of the regional scientific and educational ecosystem. *Creative Economy*, 17 (12), 4503–4516. DOI: 10.18334/ce.17.12.119771

12. Konanchuk D.S. (2024) Educational ecosystems: new principles and space for employee development in organizations. *Public Administration*, 26 (3), 62–69. DOI: 10.22394/2070-8378-2024-26-3-62-69

13. Flek M.B., Ugnich E.A. (2024) Vocational educational ecosystem of an industrial enterprise: concept, features, experience. *Perspectives of Science and Education*, 69 (3), 698–718. DOI: 10.32744/pse.2024.3.43

14. Malik A., Budhwar P., Mohan H., Srikanth N.R. (2023) Employee experience – the missing link for engaging employees: Insights from an MNE's AI-based HR ecosystem. Human Resource Management, 62 (1), 97–115. DOI: 10.1002/hrm.22133

15. Snell S.A., Morris S.S. (2019) Time for realignment: The HR ecosystem. *Academy of Management Perspectives*, 35 (2), 3–38. DOI: 10.5465/amp.2018.0069

16. Martynova S.E., Bogatyreva T.G. (2023) Digital HR platforms and ecosystems in public administration. *Central Russian Journal of Social Sciences*, 18 (3), 108–130. DOI: 10.22394/2071-2367-2023-18-3-108-130

17. Kudina M.V. (2024) Human Capital: Economic Nature and Influence of Artificial Intelligence in the Context of Sustainability during the Period of Civilization Transformation. *Public Administration. E-journal* (*Russia*), 1 (104), 34–48. DOI: 10.55959/MSU2070-1381-104(S)-2024-34-48

18. Bodrunov S.D. (2022) Scientific and technological progress and transformation of society: noonomy and noosociety. Part 1. *Noonomy and Noosociety. Almanac of Scientific Works of the S.Y. Witte INID*, 1 (1), 16–29. DOI: 10.37930/2782-618X-2022-1-1-16-29

19. Yang C.H. (2022) How Artificial Intelligence Technology Affects Productivity and Employment: Firm-level Evidence from Taiwan. *Research Policy*, 51 (6), art. no. 104536. DOI: 10.1016/j.respol.2022.104536

20. Vertakova Y.V., Shkarupeta E.V. (2025) Intelligent Manufacturing in the Context of Industry X.0. *Economic Revival of Russia*, 1(83), 146–162. DOI: 10.37930/1990-9780-2025-1-83-146-162

21. Dong Z., Aziz M.F.A., Wang Y. (2025) An empirical analysis of how artificial intelligence development influences the adjustment of human capital structure. *Finance Research Letters*, 84, art. no. 107827. DOI: 10.1016/j.frl.2025.107827

22. Liu Y., Luan L., Wu W., Zhang Z., Hsu Y. (2021) Can digital financial inclusion promote China's economic growth? *International Review of Financial Analysis*, 78, art. no. 101889. DOI: 10.1016/j.irfa.2021.101889

23. Dyatlov S.A., Litvinova N.A. (2022) Ecosystem of human capital reproduction in the digital economy: methodological approaches to research. *Innovations*, 2 (280), 42–48. DOI: 10.26310/2071-3010.2022.280.2.006

24. Kleiner G.B. (2019) Ecosystem economy: step into the future. *Economic Revival of Russia*, 1(59), 40–45.

25. Kleyner G.B. (2018) Socio-economic ecosystems in the context of the dual spatial-temporal analysis. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 5 (5), 5–13.

26. Flek M.B., Ugnich E.A. (2025) Developing a sustainable career of an engineer in the reproduction ecosystem of an enterprise's human capital. *MIR* (*Modernization. Innovation. Research*), 16 (4), 762–779. DOI: 10.18184/2079-4665.2025.16.4.762-779

27. Babkin A.V., Tashenova L.V. (2023) Structure and features of intellectual capital of digital cyber-social industrial ecosystems of cluster type. *Economics and Management*, 29 (11), 1316–1324. DOI: 10.35854/1998-1627-2023-11-1316-1324

28. Borovskaya M.A., Nikitaeva A.Yu., Bechvaya M.R., Chernichenko O.A. (2022) Financial Instruments of Economic Mechanisms for Strategic Development of Science and Education: Ecosystem Approach. *Finance: Theory and Practice*, 26 (2), 6–24. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-2-6-24

29. Moore J.F. (1993) Predators and Prey: A New Ecology of Competition. *Harvard Business Review*, 71 (3), 75–86.

30. Babkin A.V., Mikhailov P.A., Shkarupeta E.V., Chen Leifei (2025) A toolkit for assessing the digital maturity of an intelligent industrial ecosystem based on coevolution and ecosystem synergy. *π-Economy*, 18 (4), 32–53. DOI: 10.18721/JE.18402

31. Baehre S., O'Dwyer M., O'Malley L., Lee N. (2022) The use of Net Promoter Score (NPS) to predict sales growth: insights from an empirical investigation. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 50, 67–84. DOI: 10.1007/s11747-021-00790-2

32. Davis F.D. (1989) Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13 (3), 319–340. DOI: 10.2307/249008

33. Lei L., Feng H., Ren J. (2025) Artificial intelligence, human capital and firm-level total factor productivity. *Finance Research Letters*, 85 (A), art. no. 107897. DOI: 10.1016/j.frl.2025.107897

34. Fan C., Liao X., Yang X. (2025) Artificial intelligence and enterprise total factor productivity: A human capital requirement perspective. *International Review of Economics & Finance*, 104, art. no. 104661. DOI: 10.1016/j.iref.2025.104661

35. Khuziakhmetov R.R., Romashkina G.F., Lukyanenko A.E., Kostomarov V.M., Kichikova D.V. (2025) Artificial intelligence application in higher education: Opportunities and challenges. *MIR* (*Modernization. Innovation. Research*), 16 (4), 642–659. DOI: 10.18184/2079-4665.2025.16.4.642-659

36. Zemtsov D.I., Gruzdev I.A. (2025) "Digital Centaur": Human-AI Collaborative Learning in Universities. *Higher Education in Russia*, 34 (10), 47–62. DOI: 10.31992/0869-3617-2025-34-10-47-62

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ФЛЕК Михаил Бенсионович
E-mail: ugnich7746@yandex.ru
Mikhail B. FLEK
E-mail: ugnich7746@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0775-3473

УГНИЧ Екатерина Александровна
E-mail: ugnich77@mail.ru
Ekaterina A. UGNICH
E-mail: ugnich77@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9028-5518

Поступила: 04.07.2026; Одобрена: 17.07.2026; Принята: 17.07.2026.
Submitted: 04.07.2026; Approved: 17.07.2026; Accepted: 17.07.2026.

π-Economy. 2026, Том 19, № 4. С. 198–213.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 4. Pp. 198–213.

Экономико-математические методы и модели
Economic & mathematical methods and models

Научная статья
УДК 330.46
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19411
EDN: https://elibrary/XKFVQN

САМООБУЧАЮЩАЯСЯ АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

А.С. Антонов ✉, **И.В. Ильин, А.И. Лёвина**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ antonov.aleksandr.s@yandex.ru

Аннотация. Мультимодальные перевозки характеризуются высокой степенью неопределенности, разнородностью участников (железнодорожный, морской, автомобильный транспорт) и технологическими ограничениями, что делает традиционные централизованные методы планирования, основанные на статических моделях оптимизации, недостаточно эффективными. Возникает противоречие между необходимостью глобальной координации цепочек поставок и невозможностью оперативной адаптации к динамическим изменениям среды без потери гибкости. Дополнительную сложность вносит необходимость согласования решений между независимыми участниками транспортного процесса, обладающими собственными целями и ограничениями. Целью статьи является разработка самообучающейся мультиагентной модели адаптивного планирования мультимодальных перевозок, основанной на децентрализованном принятии решений и параметрической адаптации критериев агентов. Методологическая база работы объединяет принципы агентно-ориентированного моделирования, элементы теории принятия решений и формализацию поведения участников через универсальную функцию удовлетворенности, отражающую многокритериальную природу транспортных процессов. В рамках исследования последовательно выполнены анализ существующих подходов к планированию мультимодальных перевозок, формализация требований к математическим методам, а также разработка структуры агентов, представляющих ключевые элементы транспортной системы и их взаимодействие. В качестве результата предложена математическая модель, в которой каждый элемент транспортной сети представлен автономным агентом с собственными критериями (стоимость, время, ресурсы) и механизмом локального принятия решений. Взаимодействие агентов реализуется через механизм согласования решений, обеспечивающий формирование согласованного плана перевозки без централизованного управления. Ключевым элементом выступает механизм самообучения: система адаптирует приоритеты агентов путем сравнения ожидаемых и фактических результатов операций, накапливая опыт для повышения точности последующих решений и устойчивости к внешним возмущениям. Новизна предлагаемого решения заключается в создании формализованной модели самообучающейся мультиагентной системы, обеспечивающей адаптацию параметров принятия решений на основе ретроспективного анализа и позволяющей учитывать повторяемость типовых ситуаций. Практическая значимость подтверждается возможностью использования разработанной модели в интеллектуальных логистических платформах, а также снижением необходимости полного перепланирования при возникновении отклонений и повышением устойчивости транспортных процессов. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения мультиагентного подхода для эффективного управления мультимодальными перевозками в условиях высокой неопределенности.

© Антонов А.С., Ильин И.В., Лёвина А.И., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Ключевые слова: мультимодальные перевозки, мультиагентные системы, адаптивное планирование, функции удовлетворенности агентов, самообучающиеся системы, распределенное принятие решений, логистические системы, управление транспортными процессами

Для цитирования: Антонов А.С., Ильин И.В., Лёвина А.И. (2026) Самообучающаяся агентная модель адаптивного планирования мультимодальных перевозок. π-Economy, 19 (4), 198–213. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19411

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19411

SELF-LEARNING AGENT MODEL FOR ADAPTIVE PLANNING OF MULTIMODAL TRANSPORTATION

A.S. Antonov ✉ , I.V. Ilyin, A.I. Levina

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

✉ antonov.aleksandr.s@yandex.ru

Abstract. Multimodal transportation is characterized by high level of uncertainty, heterogeneity of participants (rail, maritime, road transport), and technological constraints, which make traditional centralized planning methods based on static optimization models insufficiently effective. A contradiction arises between need for global coordination of supply chains and inability to promptly adapt to dynamic changes in environment without loss of flexibility. Additional complexity comes from need to coordinate decisions among independent participants of transport process, each having own objectives and constraints. The aim of the article is to develop a self-learning multi-agent model for adaptive planning of multimodal transportation based on decentralized decision-making and parametric adaptation of agent criteria. Methodological basis combines principles of agent-based modeling, elements of decision theory, and formalization of participant behavior through universal satisfaction function reflecting multi-criteria nature of transport processes. Within study, analysis of existing approaches to multimodal transportation planning, formalization of requirements for mathematical methods, and design of agent structure representing key elements of transport system and their interaction were carried out. As a result, mathematical model is proposed in which each element of transport network is represented as autonomous agent with own criteria (cost, time, resources) and local decision-making mechanism. Interaction of agents is implemented through coordination mechanism that ensures formation of consistent transportation plan without centralized control. Key element is self-learning mechanism: system adapts priorities of agents by comparing expected and actual outcomes of operations, accumulating experience to improve accuracy of subsequent decisions and robustness to external disturbances. Novelty lies in development of formalized model of self-learning multi-agent system that enables adaptation of decision-making parameters based on retrospective analysis and allows consideration of recurring patterns. Practical significance is confirmed by possibility of using developed model in intelligent logistics platforms, as well as by reducing need for complete re-planning when deviations occur and by increasing robustness of transport processes. The results demonstrate potential of multi-agent approach for efficient management of multimodal transportation under conditions of high uncertainty.

Keywords: multimodal transportation, multi-agent systems, adaptive planning, agent satisfaction functions, self-learning systems, distributed decision-making, logistics systems, transport management systems

Citation: Antonov A.S., Ilyin I.V., Levina A.I. (2026) Self-learning agent model for adaptive planning of multimodal transportation. π-Economy, 19 (4), 198–213. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19411

© Antonov A.S., Ilyin I.V., Levina A.I., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Введение

Актуальность исследования

Мультимодальные перевозки – это способ транспортировки грузов, при котором доставка осуществляется с использованием двух и более видов транспорта в рамках единой логистической цепочки и одного договора перевозки. Такие перевозки возникают в случаях, когда доставка груза не может быть эффективно выполнена одним видом транспорта, например при международных перевозках на большие расстояния, при отсутствии прямого транспортного сообщения между пунктами отправления и назначения, а также при необходимости сочетания различных видов транспорта для снижения стоимости или времени доставки.

Мультимодальные перевозки широко применяются в международной торговле, в глобальных цепочках поставок, в контейнерных перевозках, а также в отраслях с распределенной производственной и сбытовой структурой, таких как промышленность и ритейл. Наибольшее распространение они получили в регионах с развитой транспортной инфраструктурой и с активными внешнеторговыми потоками, включая Европу, Азию и Северную Америку.

Каждый вид транспорта, функционирующий в мультимодальных перевозках, имеет свои собственные технологические, организационные и инфраструктурные условия. Железнодорожный транспорт ориентирован на строгие расписания и крупные объемы перевозок, морской транспорт характеризуется длительными сроками доставки и зависимостью от портовой инфраструктуры, автомобильный транспорт обладает высокой гибкостью маршрутов, а авиационные перевозки обеспечивают высокую скорость доставки при наличии жестких ограничений, связанных с пропускной способностью аэропортов и регламентами безопасности. Указанные особенности приводят к формированию сложной сети взаимозависимостей между участками маршрута, в которой изменение параметров на одном этапе транспортировки может вызвать цепную реакцию и привести к необходимости корректировки всей транспортной цепочки.

Традиционные методы планирования транспортных процессов основаны на централизованных моделях оптимизации, разработанных в рамках теории исследования операций. К числу таких методов относятся задачи маршрутизации транспортных средств, задачи распределения потоков в транспортных сетях, а также модели линейного и целочисленного программирования, используемые для выбора маршрутов и распределения грузопотоков.

Исторически данные подходы восходят к классической работе [1], в которой была впервые сформулирована задача маршрутизации транспортных средств как задача оптимального планирования перевозок. Несмотря на значительную давность, данные модели до настоящего времени лежат в основе большинства современных алгоритмов планирования транспортных процессов, что подтверждается последующими исследованиями в области оптимизации на транспортных сетях [2, 3].

В современных работах данные методы получили развитие в виде расширенных моделей планирования перевозок, учитывающих многокритериальность, временные ограничения и мультимодальную структуру транспортных цепочек. В обзорной работе [4] показано, что большинство существующих моделей мультимодальных перевозок по-прежнему основано на математическом программировании и сетевых моделях оптимизации. Аналогичные выводы представлены в работе [5], где подчеркивается, что задачи маршрутизации и распределения потоков остаются центральными элементами планирования транспортных систем, несмотря на рост сложности и динамичности среды.

«Узкое место» подобных моделей заключается в том, что они позволяют получать решения, оптимальные с точки зрения выбранных критериев эффективности, однако их применение связано с рядом существенных ограничений [6]. Данные модели требуют значительных вычислительных ресурсов для обработки большого объема данных и пересчета решений при изменении исходных условий. Также такие модели плохо приспособлены к работе в условиях динамической

среды, где изменения могут происходить быстрее, чем выполняется процесс пересчета оптимального плана.

Для решения этой задачи могут быть использованы мультиагентные системы, рассматривающие транспортную систему как совокупность взаимодействующих агентов, каждый из которых представляет отдельного участника процесса и обладает возможностью принимать решения в рамках собственной области ответственности. Такой подход позволяет распределить процесс принятия решений между участниками системы, повысить гибкость планирования и обеспечить более быструю реакцию на изменения внешней среды [7–9].

Обзор литературы

Проблема планирования мультимодальных перевозок является предметом активных исследований в ракурсах транспортной логистики, исследования операций и экономико-математического моделирования. В научной литературе сформировались несколько основных направлений разработки моделей планирования перевозок, различающихся уровнем централизации управления, используемыми методами оптимизации и степенью учета динамических факторов транспортной среды.

Одной из наиболее цитируемых обзорных работ в данной области является исследование [4], в котором проведен систематический анализ моделей планирования мультимодальных перевозок. Авторы классифицируют существующие исследования по уровням принятия решений – стратегическому, тактическому и операционному – и показывают, что большинство моделей ориентировано на задачи выбора маршрутов, распределения грузопотоков и проектирования транспортных сетей. В качестве основных методов используются модели математического программирования, сетевые оптимизационные модели и различные эвристические алгоритмы. При этом в работе подчеркивается, что существующие модели в большинстве случаев ориентированы на статические условия планирования и слабо учитывают динамику транспортных процессов и возникающие нарушения выполнения перевозок.

Сходный вывод представлен в работе [10], посвященной анализу методов операционных исследований в интермодальных грузовых перевозках. Авторы отмечают, что мультимодальные транспортные системы характеризуются высокой сложностью, обусловленной необходимостью координации различных видов транспорта, терминалов и участников транспортного процесса. В таких системах необходимо одновременно учитывать маршрутизацию грузов, расписания транспортных средств, ограничения терминальной инфраструктуры и технологические требования перегрузки. В результате классические модели оптимизации часто оказываются недостаточно гибкими для эффективного полирования процессов в подобных системах.

Значительное внимание в научной литературе уделяется централизованным моделям управления мультимодальными перевозками. Так, в работе [11] предложена модель управления сетью экспедиторских перевозок в реальном времени, в которой интегрируются различные виды транспорта и операции перегрузки грузов. Автор рассматривает систему, способную динамически корректировать транспортные планы при возникновении различных нарушений, включая задержки транспортных средств, изменения условий движения и появление новых заказов. Несмотря на ориентацию на динамическую среду, предложенный подход остается централизованным и предполагает наличие системы управления, которая выполняет постоянный пересчет транспортного плана на основе поступающей информации.

В последующих исследованиях развитие получили модели оперативного перепланирования мультимодальных перевозок в условиях неопределенности. В работе [12] предложена гибридная система поддержки принятия решений для планирования и управления интермодальными перевозками. Авторы рассматривают транспортную сеть, включающую автомобильный, железнодорожный и внутренний водный транспорт, и разрабатывают модель, позволяющую выявлять

нарушения транспортных процессов и формировать альтернативные планы перевозок. Особенностью данной системы является интеграция нескольких стадий управления – от построения исходного плана до анализа его исполнения и последующего перепланирования. Тем не менее механизм адаптации системы по-прежнему основан на повторном вычислении альтернативных решений в централизованной системе поддержки принятия решений.

Отдельное направление исследований связано с применением мультиагентных технологий в планировании транспортных процессов. В работе [13] предложена мультиагентная архитектура планирования интермодальными транспортными цепочками. Авторы рассматривают задачу планирования перевозок как совокупность взаимодействующих подзадач, соответствующих различным участникам транспортного процесса. Для координации решений используется механизм переговоров между агентами, а сама система функционирует на основе дискретно-событийной модели. Несмотря на использование мультиагентной архитектуры, в данной работе отсутствует единая формализация предпочтений агентов и не рассматривается механизм адаптации их поведения на основе накопленного опыта [14–16].

В ряде современных исследований рассматриваются возможности применения методов обучения для задач планирования мультимодальных перевозок. Так, в работе [17] предложена модель многокритериальной маршрутизации мультимодальных перевозок на основе обучения с подкреплением. Авторы учитывают одновременно несколько критериев эффективности, включая стоимость перевозки, время доставки и экологические показатели, и демонстрируют улучшение качества решений по сравнению с традиционными метаэвристическими алгоритмами. Однако обучение в данной модели направлено на поиск оптимального маршрута в транспортной сети, тогда как параметры предпочтений участников транспортного процесса остаются фиксированными [18–21].

Анализ существующих исследований показывает, что современные модели планирования мультимодальных перевозок развиваются по нескольким направлениям:

- централизованные модели оптимизации позволяют получать решения высокого качества, однако плохо адаптируются к динамическим изменениям транспортной среды;
- мультиагентные подходы обеспечивают более гибкое планирование, но часто ограничиваются имитационными моделями взаимодействия агентов;
- методы машинного обучения позволяют учитывать неопределенность и изменчивость среды, однако обычно применяются для решения отдельных задач маршрутизации [22, 23].

Проведенный анализ показывает, что существующие модели планирования мультимодальных перевозок не обеспечивают одновременного объединения трех аспектов, необходимых для работы в динамичной транспортной среде. К ним относятся формализованное описание поведения участников перевозочного процесса, адаптация параметров принятия решений на основе фактических результатов выполнения перевозок и распределенное формирование транспортного плана без необходимости централизованного пересчета всей модели при каждом изменении условий.

Нерешенная проблема заключается в отсутствии самообучающейся мультиагентной модели адаптивного планирования мультимодальных перевозок, в которой поведение агентов описывается через единую математическую функцию предпочтений, а параметры принятия решений изменяются на основе сопоставления ожидаемых и фактических результатов транспортных операций. Отсутствие такой модели ограничивает возможность применения мультиагентного подхода в условиях высокой неопределенности, когда требуется не только согласование решений между участниками перевозочного процесса, но и накопление опыта для последующей корректировки параметров планирования.

Цель и задачи

Целью статьи является разработка самообучающейся мультиагентной модели адаптивного планирования мультимодальных перевозок, обеспечивающей формирование и корректировку транспортных решений на основе распределенного принятия решений и анализа фактических результатов выполнения перевозок.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1) провести анализ существующих методов планирования мультимодальных перевозок и выявить их основные ограничения в условиях высокой неопределенности транспортной среды;

2) обосновать целесообразность применения мультиагентного подхода для планирования мультимодальных транспортных процессов;

3) сформулировать математическую модель поведения агентов на основе функций удовлетворенности, отражающих их критерии принятия решений;

4) предложить и математически описать механизм самообучения мультиагентной системы, обеспечивающий адаптацию параметров принятия решений на основе анализа фактических результатов выполнения транспортных операций;

5) провести анализ преимуществ и ограничений предложенной модели с точки зрения ее применения в интеллектуальных системах планирования логистических процессов.

Материалы и методы

Логика проведения исследования по решению поставленных задач может быть описана в виде последовательно реализуемых этапов:

Этап 1: провести анализ существующих методов планирования мультимодальных перевозок, включая модели математического программирования, сетевые оптимизационные подходы и мультиагентные системы, выявить основные ограничения традиционных методов.

Этап 2: определить требования к формализации поведения агентов и механизму адаптации параметров принятия решений в системе мультимодальных перевозок.

Этап 3: определить перечень агентов, соответствующих ключевым участникам транспортного процесса; для каждого типа агентов определить цели функционирования, ограничения и основные критерии принятия решений, разработать математический аппарат описания поведения агентов. Введена универсальная функция удовлетворенности, позволяющая формализовать предпочтения агентов в виде совокупности критериев с изменяемыми весовыми коэффициентами. Определен принцип нормировки частных оценок и агрегирования критериев в единую функцию.

Этап 4: предложить и математически описать механизм самообучения системы.

Этап 5: формализовать процедуры обновления параметров модели во времени, включая введение временного индекса, описание динамики изменения весов критериев и нормировку параметров после обновления.

Методологически исследование опирается на методы и модели линейного программирования, агентного моделирования и сетевого анализа.

Результаты и обсуждение

В соответствии с ГОСТ 34.003-90 математическое обеспечение автоматизированной системы представляет собой совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, применяемых для решения задач автоматизированной системы. В рамках настоящей статьи рассматриваются отдельные элементы математического обеспечения, необходимые для построения самообучающейся мультиагентной модели адаптивного планирования мультимодальных перевозок. К таким элементам относятся модель поведения агентов транспортного процесса, функция удовлетворенности агентов, механизм оценки ожидаемых и фактических результатов перевозки, функция

награды, алгоритм адаптации весовых коэффициентов критериев и процедура самообучения системы. Далее данные элементы раскрываются через описание структуры агентов, формализацию функции удовлетворенности, механизм расчета награды и алгоритм адаптации параметров принятия решений.

Под системой адаптивного планирования мультимодальными перевозками в рамках настоящего исследования понимается организационно-информационная система, предназначенная для планирования, координации, мониторинга и адаптивного перепланирования мультимодальных перевозок в пределах доступного организатору перевозки сегмента транспортной сети. Основной функцией системы планирования является обеспечение адаптивного перевозочного процесса в условиях изменения параметров транспортной среды. В рамках рассматриваемой системы реализуются функции планирования, мониторинга, контроля и поддержки принятия решений. Функция планирования заключается в формировании и корректировке мультимодальных маршрутов перевозки, функция контроля – в анализе исполнения транспортных операций и выявлении отклонений, функция поддержки принятия решений – в выборе вариантов действий при изменении параметров транспортной среды.

Задача адаптивного планирования мультимодальных перевозок заключается в формировании и динамической корректировке плана доставки грузов по мультимодальным маршрутам с учетом текущего состояния транспортной сети, доступности ресурсов, ограничений перевозочного процесса и изменений параметров внешней среды. В рамках данной задачи требуются определение последовательности транспортных узлов, выбор видов транспорта и перевозчиков, распределение ресурсов и корректировка маршрутов таким образом, чтобы обеспечить достижение целевых показателей перевозочного процесса при сохранении устойчивости системы к возникающим возмущениям.

В ответ на выявленные ограничения широко используемых подходов к планированию мультимодальных перевозок в настоящей работе предлагается самообучающаяся мультиагентная модель адаптивного планирования мультимодальных перевозок. Суть предлагаемого подхода состоит в том, что процесс планирования рассматривается не как единая централизованная оптимизационная задача, а как последовательность согласованных локальных решений, принимаемых автономными агентами в изменяющейся транспортной среде. Каждый агент отражает отдельного участника или ресурс перевозочного процесса, имеет собственные критерии принятия решений и оценивает варианты действий через функцию удовлетворенности. После выполнения транспортной операции система сопоставляет ожидаемые и фактические результаты, после чего корректирует веса критериев агентов. За счет этого модель не только формирует согласованный план перевозки, но и изменяет параметры принятия решений на основе накопленного опыта.

Система мультимодальных перевозок строится как совокупность отдельных агентов, каждый из которых является отдельным участником транспортного процесса, обладающим собственными критериями эффективности, ограничениями и правилами поведения. В рамках мультимодальной транспортной цепочки такими агентами выступают агент заказа и агенты транспортных ресурсов, представляющие различные виды транспорта:

- агент заказа отражает интересы грузоотправителя или логистического заказа и стремится обесечить перевозку с приемлемыми сроками, стоимостью и качеством сервиса;
- агенты ресурсов (агенты транспортных ресурсов), отражают интересы исполнителей перевозки и ориентированы на рациональное использование собственных мощностей, соблюдение технологических требований и минимизацию операционной неэффективности.

Взаимодействие указанных агентов происходит через механизм виртуального рынка, в котором решения формируются поэтапно, через обмен предложениями, через выбор сегментов маршрута и через последующую корректировку параметров поведения системы [24].

В предлагаемой модели каждый агент рассматривается как самостоятельный субъект принятия решений, обладающий собственной системой предпочтений. С учетом специфики мультимодальных перевозок в модели выделяются следующие типы агентов ресурсов:

1) агент автомобильного транспорта;
2) агент железнодорожного транспорта;
3) агент морского транспорта;
4) агент авиационного транспорта.

Агент автомобильного транспорта характеризуется высокой гибкостью маршрутов и ориентирован на выполнение перевозок с минимальными временными задержками при ограниченной грузовместимости. Его поведение определяется стремлением к максимальной загрузке транспортных средств, сокращению простоев и минимизации отклонений от запланированного графика.

Агент железнодорожного транспорта функционирует в условиях фиксированных расписаний и высокой пропускной способности. Его интересы связаны с обеспечением полной загрузки составов, с соблюдением графика движения и с минимизацией простоев на узловых станциях. В отличие от автомобильного транспорта, данный агент обладает меньшей гибкостью, но обеспечивает более устойчивое выполнение перевозок на длинных плечах.

Агент морского транспорта ориентирован на перевозки больших объемов грузов с длительными сроками доставки. Его поведение определяется необходимостью оптимизации загрузки судов, координации с портовой инфраструктурой и учета расписаний захода в порты. Существенную роль в его функционировании играют ограничения, связанные с портовыми операциями и временем обработки грузов.

Агент авиационного транспорта обеспечивает максимальную скорость доставки при наличии жестких ограничений по стоимости перевозки и по доступности инфраструктуры. Его интересы связаны с эффективным использованием ограниченных мощностей, с соблюдением временных окон и с минимизацией задержек, оказывающих существенное влияние на стоимость операций.

Таким образом, агенты ресурсов формируют распределенную среду принятия решений, в которой каждый участник стремится к достижению собственных целей при соблюдении технологических и инфраструктурных ограничений. Указанные особенности находят отражение в составе критериев функции удовлетворенности и в значениях их весовых коэффициентов, что обеспечивает возможность формализации разнородного поведения агентов в рамках единой математической модели [25, 26].

Поведение агента описывается через функцию удовлетворенности, отражающую степень соответствия выбранного решения его целям и ограничениям [27–29]. Так как система функционирует в динамической среде, все оценки и параметры модели зависят от времени. Индекс времени (t) вводится во все основные выражения как элемент модели, позволяющий учитывать накопление опыта и реализовывать механизм самообучения. В момент времени (t) агент оценивает ожидаемое качество решения, после исполнения плана система наблюдает фактический результат, сопоставляет его с ожидаемым и на этой основе изменяет внутренние параметры. Время в модели используется для отражения действия системы во времени, для фиксации накопленного опыта и для реализации механизма самообучения.

В системе рассматривается множество агентов i:

$$i \in \{1, \ldots, N\},$$

где N – общее число агентов в системе.

Общая функция удовлетворенности агента i имеет вид:

$$Y_i(t) = \sum_{j=1}^{M_i} w_{ij}(t)\, y_{ij}(t),$$

где $Y_i(t)$ – удовлетворенность агента i в момент времени t; M_i – число критериев, значимых для агента i; $w_{ij}(t)$ – вес j-го критерия для агента i, отражающий его текущую значимость в момент времени t; $y_{ij}(t)$ – частная удовлетворенность агента i по j-му критерию в момент времени t.

Частная удовлетворенность $y_{ij}(t)$ представляет собой нормированную оценку степени достижения агентом i значения критерия j в момент времени t. Значение $y_{ij}(t) = 0$ соответствует полному неудовлетворению критерия, а значение $y_{ij}(t) = 1$ соответствует максимально предпочтительному результату. Нормирование позволяет использовать критерии различной природы в рамках единой модели, например стоимость перевозки, время доставки, уровень загрузки ресурсов и другие показатели эффективности транспортного процесса.

При этом все оценки нормированы:

$$y_{ij}(t) \in [0,1]; \quad \sum w_{ij}(t) = 1.$$

Удовлетворенность агента представляет собой взвешенную сумму частных оценок по отдельным критериям. Такая форма записи является универсальной и позволяет использовать единый принцип описания для агентов разных типов: для агента заказа, для агентов транспортных ресурсов, а также для других элементов системы. При этом различие между агентами проявляется в составе критериев и в значениях их весов. С прикладной точки зрения это позволяет формализовать в едином виде поведение разнородных участников мультимодальной транспортной системы. При этом данная свертка не означает тождественности экономической природы агентов. Единым в модели является лишь общий принцип агрегирования критериев, тогда как содержание самих критериев полностью определяется типом агента.

Использование только функции удовлетворенности агента приводит к замкнутому циклу принятия решений, описывающему метаматематическую модель без обучения. Принципиальная новизна предлагаемого подхода заключается в том, что после выполнения плана система использует не только ожидаемые оценки, но и фактические результаты транспортных операций. В отличие от статических моделей выбора, в предлагаемой системе после выполнения плана учитывается не только ожидаемая, но и фактическая результативность принятых решений. Это позволяет перевести мультиагентный механизм из режима локального согласования в режим накопительного обучения на основе опыта выполнения перевозок.

После завершения транспортной операции для каждого агента определяется фактическая удовлетворенность, полученная на основе реально достигнутых результатов за счет подстановки фактических данных в функцию удовлетворенности, использованную для расчета ожидаемого результата.

Далее вводится награда агента $R_i(t)$:

$$R_i(t) = Y_i^{fact} - Y_i(t),$$

где $Y_i^{fact}(t) = \sum_{j=1}^{M_i} w_{ij}(t) y_{ij}^{fact}(t)$.

При этом $y_{ij}^{fact}(t)$ представляет собой фактическую нормированную оценку достижения агентом i значения критерия j, рассчитанную по результатам завершенной транспортной операции. В отличие от ожидаемой оценки, формируемой на этапе планирования на основе прогнозных параметров перевозки, величина определяется на основе фактически наблюдаемых значений критериев, включая фактическое время доставки, фактические транспортные затраты,

уровень использования ресурсов и иные показатели, характеризующие результат выполнения перевозки.

Если $R_i(t) > 0$, то фактически реализованное решение оказалось лучше ожидаемого, следовательно, текущая стратегия выбора и рыночного согласования может считаться эффективной. Если $R_i(t) < 0$, это означает, что план привел к ухудшению результата относительно ожидаемой оценки, и параметры принятия решений должны быть скорректированы.

Таким образом, агент не просто сравнивает варианты в момент выбора, но и пересматривает значимость собственных критериев после завершения перевозки. Система начинает обучаться на реальных результатах, а не только на прогнозах, что переводит мультиагентную модель с полностью операционного уровня на уровень тактического планирования и параметрической адаптации. Обновление весов критериев выглядит следующим образом:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta R_i(t)\, y_{ij}^{real}(t),$$

где $w_{ij}(t+1)$ – обновленный вес критерия i агента i; η – шаг обучения, $0{,}001 \le \eta \le 0{,}1$; $y_{ij}^{real}(t)$ – вклад j-го критерия в фактический результат агента i.

После обновления веса нормируются:

$$\sum_j w_{ij}(t+1) = 1.$$

Из формулы следует, что веса тех критериев, которые внесли положительный вклад в фактически успешный результат, увеличиваются, тогда как значимость критериев, связанных с неудачными решениями, в относительном выражении снижается. Тем самым система не просто повторяет прошлые правила выбора, а постепенно изменяет внутренние приоритеты агентов. В этом состоит одно из наиболее важных отличий предлагаемой модели от традиционных мультиагентных схем, где предпочтения агентов считаются фиксированными.

Механизм самообучения реализует мягкую параметрическую адаптацию модели, при которой агенты не меняют базовую структуру своих целей, но изменяют относительную важность критериев внутри этой структуры. Это особенно важно для мультимодальной транспортной среды, где одни и те же параметры могут иметь различную значимость в зависимости от повторяемости ситуаций, характера нарушений, загрузки инфраструктуры и накопленного опыта исполнения перевозок.

Предложенный математический аппарат обладает несколькими важными свойствами. Во-первых, он обеспечивает единый принцип описания поведения различных агентов при сохранении индивидуальности их критериев. Во-вторых, он позволяет учитывать отраслевую специфику различных видов транспорта в рамках одной модели. В-третьих, введение временного индекса и процедуры обновления весов превращает систему из статической схемы согласования в самообучающуюся мультиагентную среду, способную адаптироваться к повторяющимся паттернам рынка перевозок.

Предложенный механизм самообучения может быть интерпретирован как упрощенная форма обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL), в которой агенты корректируют параметры своей функции предпочтений на основе получаемой награды. В отличие от классических подходов RL, ориентированных на поиск оптимальной стратегии в пространстве состояний и действий, в данной модели обучение реализуется через адаптацию весовых коэффициентов критериев, что позволяет учитывать специфику распределенного принятия решений в мультиагентной среде.

Практическое значение такого подхода состоит в том, что он позволяет строить интеллектуальные системы поддержки принятия решений для мультимодальных перевозок, в которых отдельные участники транспортного процесса не просто исполняют команды центра, а выступают как активные носители собственных критериев и ограничений. Это особенно важно для реальной логистики, где транспортная цепочка формируется не внутри одной полностью контролируемой системы, а на стыке интересов перевозчиков, терминалов, операторов и заказчиков [30, 31].

Для оценки потенциальной эффективности предложенного подхода можно рассмотреть сравнительный сценарий, в котором централизованная модель и мультиагентная система применяются к одной и той же транспортной задаче в условиях возникновения возмущений (например, задержек или изменения доступности ресурсов). В централизованной модели требуется пересчет всего транспортного плана, тогда как в мультиагентной системе изменения локализуются на уровне отдельных агентов. Это позволяет сократить время реакции системы и уменьшить количество изменений в уже согласованных сегментах маршрута. Таким образом, предложенный подход обеспечивает более устойчивое поведение системы при повторяющихся нарушениях и может рассматриваться как инструмент агентно-ориентированного адаптивного планирования мультимодальных перевозок.

Вместе с тем предложенная модель имеет и ряд ограничений. Во-первых, качество самообучения зависит от корректности нормировки критериев и от выбора шага обучения. Во-вторых, линейная форма удовлетворенности предполагает аддитивность критериев и не учитывает возможные нелинейные эффекты их взаимодействия. В-третьих, без дополнительной процедуры калибровки веса могут адаптироваться нестабильно в условиях редких, но сильных возмущений внешней среды.

Дополнительным ограничением является то, что в текущем виде модель описывает самообучение на уровне адаптации весов критериев, но не включает более сложные механизмы контекстной памяти, в которых система различала бы типы ситуаций и по-разному обновляла бы параметры в зависимости от класса события.

Перспективы развития модели связаны с ее интеграцией в цифровые логистические платформы, с использованием цифровых двойников логистической инфраструктуры и с расширением онтологического слоя системы для более точного описания условий формирования мультимодальных цепочек.

Заключение

В рамках проведенного исследования разработана самообучающаяся мультиагентная модель адаптивного планирования мультимодальных перевозок, в которой процесс формирования транспортного плана представлен как согласование локальных решений автономных агентов. Суть предложенного подхода состоит в переходе от централизованного пересчета единого оптимального плана к распределенному механизму планирования, где каждый агент отражает отдельного участника или ресурс перевозочного процесса, обладает собственной системой критериев и принимает решения в пределах своей области ответственности. Такое представление позволяет учитывать разнородность мультимодальной транспортной среды и связывать итоговое решение не только с параметрами маршрута, но и с поведением участников перевозочного процесса.

К основным результатам исследования относится формализация структуры агентов мультимодальной транспортной системы. В модели выделены агент заказа и агенты транспортных ресурсов, представляющие различные виды транспорта и отражающие особенности их функционирования в перевозочном процессе. Для описания поведения агентов предложена функция

удовлетворенности, позволяющая представить критерии принятия решений в единой математической форме. При этом различия между агентами сохраняются за счет состава критериев и значений весовых коэффициентов, что обеспечивает возможность описания разнородных участников транспортной системы в рамках единой модели.

Отдельным результатом является разработка механизма самообучения, основанного на сопоставлении ожидаемых и фактических результатов выполнения транспортных операций. Для этого в модель введены функция награды и правило обновления весовых коэффициентов критериев. После завершения перевозки система получает фактические значения показателей, сравнивает их с ожидаемыми результатами и на этой основе корректирует параметры принятия решений. Это позволяет модели не только согласовывать решения в момент планирования, но и изменять внутренние приоритеты агентов по мере накопления опыта выполнения перевозок.

Полученные результаты показывают, что предложенная модель формирует основу для агентно-ориентированного адаптивного планирования мультимодальных перевозок в условиях неопределенности. В отличие от статических моделей, где параметры выбора фиксированы заранее, разработанная модель предусматривает их последующую корректировку на основе результатов функционирования системы. Это позволяет снизить зависимость процесса планирования от полного централизованного пересчета и повысить устойчивость транспортного плана при возникновении отклонений на отдельных участках мультимодальной цепочки.

Практическая значимость разработанной модели связана с возможностью ее использования в интеллектуальных логистических платформах и в системах поддержки принятия решений. Модель может применяться для формирования и корректировки мультимодальных маршрутов, для согласования решений между участниками перевозочного процесса и для анализа последствий отклонений от исходного плана. Вместе с тем применение модели требует корректного выбора структуры критериев, процедуры нормировки показателей и параметров обучения. Дальнейшие исследования могут быть направлены на проверку модели на реальных данных, на уточнение механизма адаптации весов и на расширение состава факторов, влияющих на принятие решений в мультимодальной транспортной среде.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Dantzig G.B., Ramser J.H. (1959) The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6 (1), 80–91. DOI: 10.1287/mnsc.6.1.80

2. Ahuja R.K., Magnanti T.L., Orlin J.B. (1993) *Network flows: Theory, algorithms, and applications.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

3. Ferjani A., El Yaagoubi A., Boukachour J., Duvallet C. (2024) An optimization-simulation approach for synchromodal freight transportation. *Multimodal Transportation*, 3 (3), art. no. 100151. DOI: 10.1016/j.multra.2024.100151

4. SteadieSeifi M., Dellaert N.P., Nuijten W., Van Woensel T., Raoufi R. (2014) Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233 (1), 1–15. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.06.055

5. Demir E., Bektaş T., Laporte G. (2014) A review of recent research on green road freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 237 (3), 775–793. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.12.033

6. Pillac V., Gendreau M., Guéret C., Medaglia A.L. (2013) A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225 (1), 1–11. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.08.015

7. Alaei S., Durán-Micco J., Macharis C. (2024) Synchromodal transport re-planning: an agent-based simulation approach. *European Transport Research Review*, 16, art. no. 1. DOI: 10.1186/s12544-023-00624-y

8. Richter N., Martins-Turner K., Nagel K. (2024) Extension of an agent-based simulation for the optimized allocation of freight requests to differently structured supply chains. *Procedia Computer Science*, 238, 728–735. DOI: 10.1016/j.procs.2024.06.084

9. Фролов К.В., Бабкин А.В., Фролов А.К. (2024) Понятие и сущность цифровизации и цифровой трансформации на основе фундаментальных и прикладных аспектов системно-кибернетической теории. *π-Economy*, 17 (1), 7–26. DOI: 10.18721/JE.17101

10. Macharis C., Bontekoning Y.M. (2004) Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review. *European Journal of Operational Research*, 153 (2), 400–416. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00161-9

11. Bock S. (2010) Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains. *European Journal of Operational Research*, 200 (3), 733–746. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.01.046

12. Hrušovský M., Demir E., Jammernegg W., Van Woensel T. (2021) Real-time disruption management approach for intermodal freight transportation. *Journal of Cleaner Production*, 280 (2), art. no. 124826. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124826

13. Di Febbraro A., Sacco N., Saeednia M. (2016) An agent-based framework for cooperative planning of intermodal freight transport chains. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 64, 72–85. DOI: 10.1016/j.trc.2015.12.014

14. Davidsson P., Henesey L., Ramstedt L., Törnquist J., Wernstedt F. (2005) An analysis of agent-based approaches to transport logistics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13 (4), 255–271. DOI: 10.1016/j.trc.2005.07.002

15. Gambardella L.M., Rizzoli A.E., Funk P. (2002) Agent-based planning and simulation of combined rail/road transport. *Simulation*, 78 (5), 293–303. DOI: 10.1177/003754970207800551

16. Dolgui A., Ivanov D., Sokolov B. (2021) Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, 59 (1–2), 414–430. DOI: 10.1080/00207543.2017.1387680

17. Zhang T., Cheng J., Zou Y. (2024) Multimodal transportation routing optimization based on multi-objective Q-learning under time uncertainty. *Complex & Intelligent Systems*, 10 (2), 3133–3152. DOI: 10.1007/s40747-023-01308-9

18. Le T.V., Fan R. (2024) Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential, and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 187, art. no. 109768. DOI: 10.1016/j.cie.2023.109768

19. Xu L., Mak S., Schoepf S., Ostroumov M., Brintrup A. (2025) Multi-agent digital twinning for collaborative logistics: Framework and implementation. *Journal of Industrial Information Integration*, 45, art. no. 100799. DOI: 10.1016/j.jii.2025.100799

20. Tomljenovic V., Merzifonluoglu Y., Spigler G. (2024) Optimizing inland container shipping through reinforcement learning. *Annals of Operations Research*, 339, 1025–1050. DOI: 10.1007/s10479-024-05927-4

21. De Bok M., Tavasszy L., Thoen S. (2022) Application of an empirical multi-agent model for urban goods transport to analyze impacts of zero emission zones in The Netherlands. *Transport Policy*, 124, 119–127. DOI: 10.1016/j.tranpol.2020.07.010

22. Ivanov D., Dolgui A. (2021) OR-methods for coping with the ripple effect in supply chains during COVID-19 pandemic: Managerial insights and research implications. *International Journal of Production Economics*, 232, art. no. 107921. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107921

23. Pan S., Ballot E., Fontane F. (2021) The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains. *International Journal of Production Economics*, 143 (1), 86–94. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.10.023

24. Antonov A., Levina A., Zhao Z. (2025) Evolution of Digital Systems in the Economy Through the Adoption of Multi-Agent Technologies. In: *Digital Systems and Information Technologies in the Energy Sector* (eds. I. Ilin, M. Youzhong), Cham: Springer, 187–201. DOI: 10.1007/978-3-031-80710-7_14

25. Ahmad M.A., Al-Bazi A., Clegg B. (2026) A hybrid multi-agent and system dynamics approach for risk-informed selection of third-party logistics providers in supply chains. *Computers in Industry*, 176, art. no. 104443. DOI: 10.1016/j.compind.2026.104443

26. Zhang M., Pan C. (2023) Hierarchical optimization scheduling algorithm for logistics transport vehicles based on multi-agent reinforcement learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 25 (3), 3108–3117. DOI: 10.1109/TITS.2023.3337334

27. Khussanov A., Kaldybayeva B., Prokhorov O., Khussanov Z., Kenzhebekov D., Yevadilla M., Janabayev D. (2025) Agent-Based Simulation Modeling of Multimodal Transport Flows in Transportation System of Kazakhstan. *Logistics*, 9 (4), art. no. 172. DOI: 10.3390/logistics9040172

28. Silalahi S.A., Pujawan I.N., Singgih M.L. (2025) Agent-Based Simulation of Digital Interoperability Thresholds in Fragmented Air Cargo Systems: Evidence from a Developing Country. *Logistics*, 9 (4), art. no. 160. DOI: 10.3390/logistics9040160

29. Kahalimoghadam M., Thompson R.G., Rajabifard A. (2025) An intelligent multi-agent system for last-mile logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 200, art. no. 104191. DOI: 10.1016/j.tre.2025.104191

30. Kalyazina S., Ilin I., Levina A. (2025) A Multi-Agent System in the IT Architecture of Project Portfolio Management of an Energy Company. In: *Digital Systems and Information Technologies in the Energy Sector* (eds. I. Ilin, M. Youzhong), Cham: Springer, 261–273. DOI: 10.1007/978-3-031-80710-7_19

31. Salas-Peña A., García-Palomares J.C. (2025) Simulating Co-Evolution and Knowledge Transfer in Logistic Clusters Using a Multi-Agent-Based Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14 (4), art. no. 179. DOI: 10.3390/ijgi14040179

REFERENCES

1. Dantzig G.B., Ramser J.H. (1959) The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6 (1), 80–91. DOI: 10.1287/mnsc.6.1.80

2. Ahuja R.K., Magnanti T.L., Orlin J.B. (1993) *Network flows: Theory, algorithms, and applications*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

3. Ferjani A., El Yaagoubi A., Boukachour J., Duvallet C. (2024) An optimization-simulation approach for synchromodal freight transportation. *Multimodal Transportation*, 3 (3), art. no. 100151. DOI: 10.1016/j.multra.2024.100151

4. SteadieSeifi M., Dellaert N.P., Nuijten W., Van Woensel T., Raoufi R. (2014) Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233 (1), 1–15. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.06.055

5. Demir E., Bektaş T., Laporte G. (2014) A review of recent research on green road freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 237 (3), 775–793. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.12.033

6. Pillac V., Gendreau M., Guéret C., Medaglia A.L. (2013) A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225 (1), 1–11. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.08.015

7. Alaei S., Durán-Micco J., Macharis C. (2024) Synchromodal transport re-planning: an agent-based simulation approach. *European Transport Research Review*, 16, art. no. 1. DOI: 10.1186/s12544-023-00624-y

8. Richter N., Martins-Turner K., Nagel K. (2024) Extension of an agent-based simulation for the optimized allocation of freight requests to differently structured supply chains. *Procedia Computer Science*, 238, 728–735. DOI: 10.1016/j.procs.2024.06.084

9. Frolov K.V., Babkin A.V., Frolov A.K. (2024) Concept and essence of digitalization and digital transformation based on fundamental and applied aspects of the systems-cybernetic theory. *π-Economy*, 17 (1), 7–26. DOI: 10.18721/JE.17101

10. Macharis C., Bontekoning Y.M. (2004) Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review. *European Journal of Operational Research*, 153 (2), 400–416. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00161-9

11. Bock S. (2010) Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains. *European Journal of Operational Research*, 200 (3), 733–746. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.01.046

12. Hrušovský M., Demir E., Jammernegg W., Van Woensel T. (2021) Real-time disruption management approach for intermodal freight transportation. *Journal of Cleaner Production*, 280 (2), art. no. 124826. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124826

13. Di Febbraro A., Sacco N., Saeednia M. (2016) An agent-based framework for cooperative planning of intermodal freight transport chains. *Transportation Research Part C: Emerging Technologie*s, 64, 72–85. DOI: 10.1016/j.trc.2015.12.014

14. Davidsson P., Henesey L., Ramstedt L., Törnquist J., Wernstedt F. (2005) An analysis of agent-based approaches to transport logistics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13 (4), 255–271. DOI: 10.1016/j.trc.2005.07.002

15. Gambardella L.M., Rizzoli A.E., Funk P. (2002) Agent-based planning and simulation of combined rail/road transport. *Simulation*, 78 (5), 293–303. DOI: 10.1177/003754970207800551

16. Dolgui A., Ivanov D., Sokolov B. (2021) Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, 59 (1–2), 414–430. DOI: 10.1080/00207543.2017.1387680

17. Zhang T., Cheng J., Zou Y. (2024) Multimodal transportation routing optimization based on multi-objective Q-learning under time uncertainty. *Complex & Intelligent Systems*, 10 (2), 3133–3152. DOI: 10.1007/s40747-023-01308-9

18. Le T.V., Fan R. (2024) Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential, and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 187, art. no. 109768. DOI: 10.1016/j.cie.2023.109768

19. Xu L., Mak S., Schoepf S., Ostroumov M., Brintrup A. (2025) Multi-agent digital twinning for collaborative logistics: Framework and implementation. *Journal of Industrial Information Integration*, 45, art. no. 100799. DOI: 10.1016/j.jii.2025.100799

20. Tomljenovic V., Merzifonluoglu Y., Spigler G. (2024) Optimizing inland container shipping through reinforcement learning. *Annals of Operations Research*, 339, 1025–1050. DOI: 10.1007/s10479-024-05927-4

21. De Bok M., Tavasszy L., Thoen S. (2022) Application of an empirical multi-agent model for urban goods transport to analyze impacts of zero emission zones in The Netherlands. *Transport Policy*, 124, 119–127. DOI: 10.1016/j.tranpol.2020.07.010

22. Ivanov D., Dolgui A. (2021) OR-methods for coping with the ripple effect in supply chains during COVID-19 pandemic: Managerial insights and research implications. *International Journal of Production Economics*, 232, art. no. 107921. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107921

23. Pan S., Ballot E., Fontane F. (2021) The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains. *International Journal of Production Economics*, 143 (1), 86–94. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.10.023

24. Antonov A., Levina A., Zhao Z. (2025) Evolution of Digital Systems in the Economy Through the Adoption of Multi-Agent Technologies. In: *Digital Systems and Information Technologies in the Energy Sector* (eds. I. Ilin, M. Youzhong), Cham: Springer, 187–201. DOI: 10.1007/978-3-031-80710-7_14

25. Ahmad M.A., Al-Bazi A., Clegg B. (2026) A hybrid multi-agent and system dynamics approach for risk-informed selection of third-party logistics providers in supply chains. *Computers in Industry*, 176, art. no. 104443. DOI: 10.1016/j.compind.2026.104443

26. Zhang M., Pan C. (2023) Hierarchical optimization scheduling algorithm for logistics transport vehicles based on multi-agent reinforcement learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 25 (3), 3108–3117. DOI: 10.1109/TITS.2023.3337334

27. Khussanov A., Kaldybayeva B., Prokhorov O., Khussanov Z., Kenzhebekov D., Yevadilla M., Janabayev D. (2025) Agent-Based Simulation Modeling of Multimodal Transport Flows in Transportation System of Kazakhstan. *Logistics*, 9 (4), art. no. 172. DOI: 10.3390/logistics9040172

28. Silalahi S.A., Pujawan I.N., Singgih M.L. (2025) Agent-Based Simulation of Digital Interoperability Thresholds in Fragmented Air Cargo Systems: Evidence from a Developing Country. *Logistics*, 9 (4), art. no. 160. DOI: 10.3390/logistics9040160

29. Kahalimoghadam M., Thompson R.G., Rajabifard A. (2025) An intelligent multi-agent system for last-mile logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 200, art. no. 104191. DOI: 10.1016/j.tre.2025.104191

30. Kalyazina S., Ilin I., Levina A. (2025) A Multi-Agent System in the IT Architecture of Project Portfolio Management of an Energy Company. In: *Digital Systems and Information Technologies in the Energy Sector* (eds. I. Ilin, M. Youzhong), Cham: Springer, 261–273. DOI: 10.1007/978-3-031-80710-7_19

31. Salas-Peña A., García-Palomares J.C. (2025) Simulating Co-Evolution and Knowledge Transfer in Logistic Clusters Using a Multi-Agent-Based Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14 (4), art. no. 179. DOI: 10.3390/ijgi14040179

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

АНТОНОВ Александр Сергеевич
E-mail: antonov.aleksandr.s@yandex.ru
Aleksandr S. ANTONOV
E-mail: antonov.aleksandr.s@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-1413-5374

ИЛЬИН Игорь Васильевич
E-mail: ivi2475@gmail.com
Igor V. ILYIN
E-mail: ivi2475@gmail.com

ЛЁВИНА Анастасия Ивановна
E-mail: alyovina@gmail.com
Anastasia I. LEVINA
E-mail: alyovina@gmail.com

Поступила: 30.03.2026; Одобрена: 14.07.2026; Принята: 17.07.2026.
Submitted: 30.03.2026; Approved: 14.07.2026; Accepted: 17.07.2026.