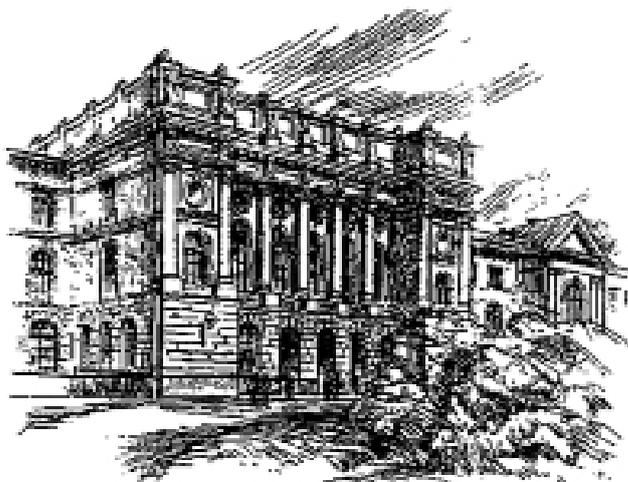


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ISSN 2782-6015

---

---

# **π-ECONOMY**

---

---

**Том 16, № 5, 2023**

**Интеллектуальная цифровая экономика  
и Индустрия 4.0 / 5.0**

Санкт-Петербург  
2023

## 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;

*Клейнер Г.Б.*, чл.-корр. РАН, д-р экон. наук, профессор, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия;

*Окрепилов В.В.*, академик РАН, д-р экон. наук, профессор, Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург, 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, доцент, профессор кафедры теории бухгалтерского учета Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия;

*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;

*Журавлев Д.М.*, д-р экон. наук, директор НИИ Социальных систем Московский государственный университет имени 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;

*Корягин С.И.*, д-р техн. наук, профессор, Инженерно-технический институт Балтийского федерального университета имени 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;

*Мальшев 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, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан;

*Мерзлякина 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;

*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;

*Устинова Л.Н.*, д-р экон. наук, профессор, Российская государственная академия интеллектуальной собственности, Москва, Россия;

*Чупров С.В.*, д-р экон. наук, профессор, Байкальский гос. университет, Иркутск, 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 ВИНТИ 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 редколлекции; д-р экон. наук, профессор А.В. Бабкин – зам. председателя редколлекции;

А.А. Родионова – секретарь редакции; А.А. Кононова – компьютерная вёрстка; Д.Ю. Алексеева – редактирование английского языка.

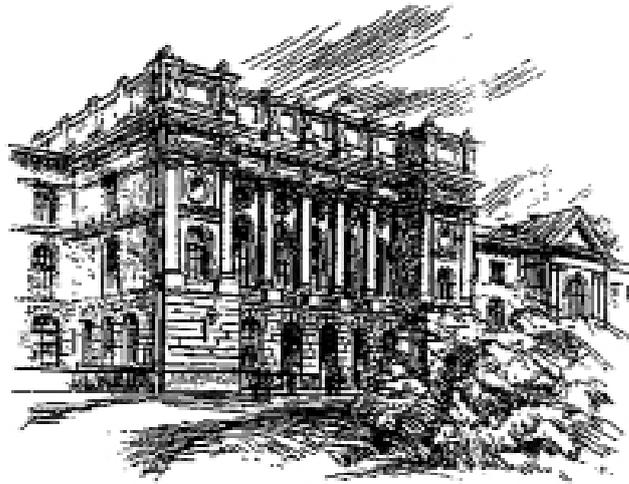
Адрес редакции: Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

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

Дата выхода: 31.10.2023

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2023

THE MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION



ISSN 2782-6015

---

---

# $\pi$ -ECONOMY

---

---

**Vol. 16, no. 5, 2023**

**Intelligent digital economy and Industry 4.0 / 5.0**

Saint Petersburg

2023

# $\pi$ -ECONOMY

## EDITORIAL COUNCIL

*A.A. Akaev* – foreign member of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc. (phys.-math.), Lomonosov Moscow State University, Russia;  
*G.B. Kleiner* – corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Central Economics and Mathematics Institute Russian Academy of Sciences, Russia;  
*V.L. Kvint* – foreign member of the Russian Academy of Sciences (USA), Lomonosov Moscow State University, Russia;  
*V.V. Okrepilov* – full member of the Russian Academy of Sciences, Institute for Problem Regional Economics RAS, 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;  
*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. Burkal'tseva* – Dr.Sc. (econ.), V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Russia;  
*S.V. Chuprov* – Dr.Sc. (econ.), prof., Baikal 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 Mathematics Institute Russian Academy of Sciences, 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.), National university of Uzbekistan, 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.V. Pshenichnikov* – Assoc. Prof. Dr., Voronezh State Agricultural University, Russia;  
*I.A. Tronina* – Dr.Sc. (econ.), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State University named after I.S., Russia;  
*L.N. Ustinova* – Dr.Sc. (econ.), prof., Russian State Academy of Intellectual Property, Russia;  
*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;  
*D.M. Zhuravlev* – Dr.Sc. (econ.), Lomonosov Moscow State University, Russia;  
*T.N. Yudina* – 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; D.Yu. Alekseeva – English translation.

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

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

Release date: 31.10.2023

© Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2023

*Уважаемые читатели!*

Перед вами тематический номер нашего журнала «**Интеллектуальная цифровая экономика и Индустрия 4.0 / 5.0**».

Мы видели необходимость его подготовки в том, что в современных условиях постоянных изменений и турбулентности, происходящих во внешней среде и стирания границ между физическими, виртуальными и социально-экономическими системами самых разных уровней экономическим агентам приходится быстро реагировать на новые модели спроса, конкурентную среду и предпочтения потенциальных клиентов. Поэтому концепция формирования интеллектуальной цифровой экономики в настоящее время считается наиболее эффективной с точки зрения эволюции, поскольку базируется на использовании сквозных цифровых технологий, процессах самоорганизации, учета разнообразия участников, взаимодействия участников на основе принципов партнерства, реализации экологичности и принципов ESG экономики.

Европейская комиссия в январе 2021 года объявила о новой промышленной эволюции, Индустрии 5.0, и анонсировала актуализированное представление Индустрии 5.0 как достижение триады устойчивости, человекоцентричности и жизнестойкости промышленности.

Эти факторы и обусловили необходимость отдельного рассмотрения на страницах журнала современных тенденций развития цифровой экономики и промышленности. С этих позиций в журнале рассмотрены Индустрия 5.0 и интеллектуальная экономика на основе нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем, цифровые технологии и инновации, экономическая безопасность и инструментарий интеллектуальной цифровой экономики и Индустрии 4.0 / 5.0.

*Благодарим Вас за сотрудничество и интерес к нашему журналу!  
Коллектив редакции журнала «π-Есопоту»*



## Содержание

### **Интеллектуальная цифровая экономика: формирование и развитие**

- Бабкин А.В., Либерман И.В. Клачек П.М.** Индустрия 5.0 и интеллектуальная экономика: основы нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных промышленных комплексов..... 8
- Никонова А.А.** Технологический суверенитет России: исследование и моделирование с позиций системной трансформации экономики..... 22

### **Цифровые технологии и инновации в интеллектуальной экономике**

- Орлова Е.В.** Обучение с подкреплением как технология искусственного интеллекта для решения социально-экономических задач: оценка производительности алгоритмов.... 38
- Силкина Г.Ю., Шабан А.П.** Цифровые инновации: сущностные характеристики и особенности... 51

### **Экономическая безопасность интеллектуальных систем**

- Шкарупета Е.В., Долганова Я.А., Пёрышкин М.О.** Интеллектуальный цифровой технополис в контексте повышения экономической безопасности депрессивных регионов..... 63

### **Инструментарий интеллектуальной цифровой экономики и Индустрии 4.0 / 5.0**

- Полянина П.В., Родионов Д.Г., Конников Е.А.** Моделирование состояний финансового рынка в условиях интеллектуальной экономики на основе нечетко-множественного подхода..... 78
- Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Ташенова Л.В.** Методика оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в условиях Индустрии 4.0 и 5.0..... 91
- Вертакова Ю.В., Булгакова И.Н., Дин Ш.** Методы и инструменты цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса в условиях индустрии 4.0..... 109

# Contents

## **Intelligent digital economy: formation and development**

- Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M.** Industry 5.0 and intelligent economy: fundamentals of neuro-digital transformation of cyber social meta-ecosystems of high-tech industrial complexes... 8
- Nikonova A.A.** Russia's Technological Sovereignty: Research and Modeling from the Standpoint of System Transformation of the Economy..... 22

## **Digital technologies and innovations in intelligent economy**

- Orlova E.V.** Reinforcement Learning as an Artificial Intelligence Technology to Solve Socio-Economic Problems: Algorithms Performance Assessment..... 38
- Silkina G.Yu., Shaban A.P.** Digital innovation: essential characteristics and features..... 51

## **Economic security of intelligent systems**

- Shkarupeta E.V., Dolganova Ya.A., Peryshkin M.O.** Intelligent digital technopolis in the context of improving economic security of depressed regions..... 63

## **Tools for intelligent digital economy and Industry 4.0 / 5.0**

- Polyanina P.V., Rodionov D.G., Konnikov E.A.** Modeling financial market conditions in an intelligent economy based on a fuzzy set approach..... 78
- Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Tashenova L.V.** Methodology for assessing the convergence of digital industrialization and industrial digitalization in the conditions of Industry 4.0 and 5.0..... 91
- Vertakova Yu.V., Bulgakova I.N., Din S.** Methods and tools of digital transformation of agro-industrial enterprises in the context of Industry 4.0..... 109

# Интеллектуальная цифровая экономика: формирование и развитие

## Intelligent digital economy: formation and development

Научная статья

УДК 621:319.23

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16501>



### ИНДУСТРИЯ 5.0 И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА: ОСНОВЫ НЕЙРО-ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КИБЕРСОЦИАЛЬНЫХ МЕТАЭКОСИСТЕМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.В. Бабкин<sup>1</sup> ✉, И.В. Либерман<sup>2</sup>, П.М. Клачек<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,  
г. Калининград, Российская Федерация

✉ [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**Аннотация.** В настоящее время понятие нейро-цифровая трансформация активно внедряется в теоретическую и практическую область деятельности цифровой экономики и Индустрии 5.0. В будущих исследованиях, на основе активного внедрения и развития разработанных к настоящему времени методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации промышленности, в том числе в компаниях макроуровня (SpaceX, «Карбоновая долина (Ростех)» и т.д.), авторы планируют приступить к созданию мультивариантной конструкции научно-технологического развития высокотехнологичных промышленных комплексов на основе методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации и интеллектуальной экономики. Развитие системно-целевой схемы когнитивного каркаса киберсоциальных экосистем, на основе модели нейро-цифрового интеллекта и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем позволило авторам разработать системно-целевую схему системной тетрады киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов. На основе этой схемы авторами разработан и внедрен комплекс прикладных систем управления когнитивным производством развития высокотехнологичных промышленных комплексов. Развитие концептуальных и методологических основ нейро-цифровой трансформации и киберсоциальных метаэкосистем Индустрии 5.0. высокотехнологичных промышленных комплексов позволяет перейти к созданию и апробации прикладных инструментариев управления развитием киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов в условиях Индустрии 5.0. и интеллектуальной экономики. Цель исследования – разработать системно-синергетический подход и инструментарий (платформу) нейро-цифровой трансформации высокотехнологичных промышленных комплексов. Основные результаты, представленные в статье. На основе системной тетрады, и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем, разработана системно-целевая схема создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов. Предложен метод моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов на основе многоагентного генетического алгоритма. Разработана блок-схема и прикладное программное обеспечение многоагентного генетического алгоритма. Разработана архитектура и программное обеспечение прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологичных промышленных комплексов в

условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики. Выполнена апробация прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем развития высокотехнологических промышленных комплексов, в условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики, к решению задачи моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологических агропромышленных комплексов Калининградской области.

**Ключевые слова:** интеллектуальная экономика, Индустрия 5.0, киберсоциальные экосистемы, искусственный интеллект, высокотехнологические промышленные комплексы

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-28-01316 «Стратегическое управление эффективным устойчивым ESG-развитием многоуровневой киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа в циркулярной экономике на основе концепции Индустрия 5.0: методология, инструментарий, практика», <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

**Для цитирования:** Бабкин А.В., Либерман И.В., Клачек П.М. (2023) Индустрия 5.0 и интеллектуальная экономика: основы нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологических промышленных комплексов. *П-Economy*, 16 (5), 8–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16501>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16501>



## INDUSTRY 5.0 AND INTELLIGENT ECONOMY: FUNDAMENTALS OF NEURO-DIGITAL TRANSFORMATION OF CYBER SOCIAL META-ECOSYSTEMS OF HIGH-TECH INDUSTRIAL COMPLEXES

A.V. Babkin<sup>1</sup> ✉, I.V. Liberman<sup>2</sup>, P.M. Klachek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg, Russian Federation;

<sup>2</sup> Baltic Federal University of Immanuel Kant,  
Kaliningrad, Russian Federation

✉ [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**Abstract.** Currently, the concept of neuro-digital transformation is being actively introduced into the theoretical and practical field of activity of the digital economy and Industry 5.0. In future studies, on the basis of active implementation and development, methods and tools for neuro-digital transformation of industry developed to date, including in macro-level companies (SpaceX, Carbon Valley (Rostec), etc.), the authors plan to start creating a multivariate design for the scientific and technological development of high-tech industrial complexes based on methods and tools for neuro-digital transformation and intelligent economy. The development of a system-targeted scheme of the cognitive framework of cyber social ecosystems, based on the model of neuro-digital intelligence and the system-synergistic concept of neuro-digital transformation of cyber social ecosystems, allowed the authors to develop a system-targeted scheme of a system tetrad of cyber social meta-ecosystems for the development of high-tech industrial complexes. Based on this scheme, the authors developed and implemented a complex of applied cognitive production management systems for the development of high-tech industrial complexes. Development of conceptual and methodological foundations of neuro-digital transformation and cyber social meta-ecosystems of Industry 5.0. high-tech industrial complexes allows you to move on to the creation and testing of applied tools for managing the development of cyber-social meta-ecosystems for the design of high-tech industrial complexes in the conditions of Industry 5.0. and intelligent economics. The purpose of the study is to develop a system-synergistic approach and a tool (platform) for the neuro-digital transformation of high-tech industrial complexes. Main results presented in the article. Based on the system tetrad and the system-synergistic concept of neuro-digital transformation of cyber social ecosystems, a system-targeted scheme for creating a system-synergistic

tetrad of cyber social meta-ecosystems for the development of high-tech industrial complexes was developed. The authors disclosed a method of simulating neuro-digital transformation of cyber social meta-ecosystems for the development of high-tech industrial complexes based on a multi-agent genetic algorithm. A block diagram and application software of a multi-agent genetic algorithm was developed. The architecture and software of the application tools for managing the development of cyber-social meta-ecosystems for the design of high-tech industrial complexes in the conditions of Industry 5.0 and the intelligent economy were developed. The application tools for managing the development of cyber social meta-ecosystems for the design of high-tech industrial complexes were tested, in the conditions of Industry 5.0 and the intelligent economy, to solve the problem of modeling the neuro-digital transformation of cyber social meta-ecosystems of high-tech agro-industrial complexes of the Kaliningrad region.

**Keywords:** intelligent economy, Industry 5.0, cyber social ecosystems, artificial intelligence, high-tech industrial complexes

**Acknowledgements:** The research was financially supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-28-01316 “Strategic management of effective sustainable ESG development of a multi-level cyber-social industrial ecosystem of a cluster type in a circular economy based on the concept of Industry 5.0: methodology, tools, practice”, <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

**Citation:** 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. *П-Economy*, 16 (5), 8–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16501>

## Введение

В работе авторов В.Л. Квинта и С.Д. Бодрунова отмечено: «шестой технологический уклад – формирующийся в настоящее время комплекс технологий, включающий нано-, био-, информационные и когнитивные технологии, отличительной чертой которого является конвергенция технологий и формирование гибридных технологий при интегрирующей роли информационных технологий (цифровизация, искусственный интеллект, обработка больших массивов информации)» [1]. В этой же работе представлены основы создания нового индустриального общества второго поколения (НИО.2), а также ноономики, как концептуальной платформы глобальной трансформации общества. Авторы отмечают, что «ноономика – неэкономическая общественная форма хозяйственной деятельности людей, нацеленная на удовлетворение ноопотребностей (в первую очередь – потребностей в развитии личности человека) на основе развития ноопроизводства, т. е. такого производства, которое осуществляется при выходе человека из непосредственной трудовой деятельности («безлюдное производство») и управлении техносферой как внешней по отношению к человеку сферой реализации потенциала человеческого познания» [1].

В работе [2] предложено понятие Индустрии 5.0 «как киберсоциальной системы [3], состоящей из совокупности взаимодействующих системно-целевых акторов-экосистем [4], функционирующих и самоорганизующихся в особой среде, “Нейросфере” [5], формируемой коллективным интеллектом, подразумевающим объединение человеческого и машинного интеллекта». Основные понятия, сущность, эволюция и формирование киберсоциальных экосистем Индустрии 5.0 рассмотрены в работах [1, 2, 7]. В работе [5], в рамках развития общей теории ноономики [6], представлена интегрированная модель глобальной трансформации общества на основе движения к нообществу и нейросфере, а также представлены концептуальные основы нейро-цифровой трансформации производств и сфер промышленности Индустрии 5.0.

В статье [8], рассмотрена архитектура системной тетрады киберсоциальных экосистем, которая «является по сути универсальной архетипической моделью киберсоциальных экосистем Индустрии 5.0», а также нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0. Этими авторами предложено понятие нейро-цифровой трансформации как процесса формирования качественных, революционных изменений, переходу к модели глобальной трансформации общества на основе движения к нообществу и нейросфере, основан-



ной на развитии ноопроизводства и интеллектуальной экономике, способных обеспечить магистральные направления технологических изменений, на основе применения знаниеинтенсивных технологий, нейро-цифрового интеллекта и стратегированных киберсоциальных, в том числе метаэкосистем, новой формации [8]. Основные предпосылки для формирования интеллектуальной экономики в условиях нового миропорядка рассмотрены в работе [9].

В условиях развития новой промышленной революции Индустрии 5.0, формирование интеллектуальной экономики позволит, по мнению авторов статьи, осуществить прорывное развитие высокотехнологичных секторов экономики России. Одна из ведущих ролей в решении этой задачи принадлежит высокотехнологичным промышленным комплексам (ВПрК) [4] и входящим в их состав промышленным предприятиям, общий вклад которых в ВВП Российской Федерации составляет более 30 процентов [4]. В работах [2, 5] рассмотрено понятие киберсоциальных метаэкосистем Индустрии 5.0 ВПрК как киберсоциальной экосистемы нового метауровня (метаэкосистемы) [3], эволюционирующей в условиях перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0, позволяющей организовать принципиально новый тип когнитивного производства [10, 11] и управления развитием метапромышленных комплексов нового поколения [12, 13].

Таким образом, развитие концептуальных и методологических основ нейро-цифровой трансформации и киберсоциальных метаэкосистем Индустрии 5.0 ВПрК, позволяет перейти к созданию и апробации прикладных инструментариев управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в условиях Индустрии 5.0. и интеллектуальной экономики.

В соответствии с изложенным цель исследования – разработать системно-синергетический подход и инструментарий (платформу) нейро-цифровой трансформации высокотехнологичных промышленных комплексов.

Задачи исследования:

1. На основе системной тетрады, и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем, разработать системно-целевую схему создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК.
2. Разработать архитектуру прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики.
3. Провести апробацию предложенных методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в центральных секторах экономики России.

### Литературный обзор

В работе [5] представлена нейро-экосистемная модель концепции Индустрия 5.0, в рамках которой сформулирован комплекс операторов  $\Psi_g \in \Psi$  нейро-цифровой трансформации, а также рассмотрена системно-целевая схема создания когнитивного каркаса киберсоциальных экосистем. Дальнейшее развитие системно-целевой схемы когнитивного каркаса киберсоциальных экосистем, на основе модели нейро-цифрового интеллекта [14] и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем [8], позволило разработать системно-целевую схему системной тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, на основе которой разработать и внедрить комплекс прикладных систем управления когнитивным производством ВПрК [14].

На рис. 1 представлена модель нейро-цифрового интеллекта инструментария стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0.

Методологической основой, представленной на рис. 1 модели нейро-цифрового интеллекта, является понятие генезиса когнитивных вычислений [14]. В соответствии с работой [14] когнитивный гиперцикл «реализуется на основе системно-целевой интеграции и согласованной самоорганизации нейро-цифровой системы, состоящей из человеческого и искусственного интеллекта», в виде комплекса когнитивных вычислительных процедур  $\dot{m}_1 - \dot{m}_7$  (рис. 2).

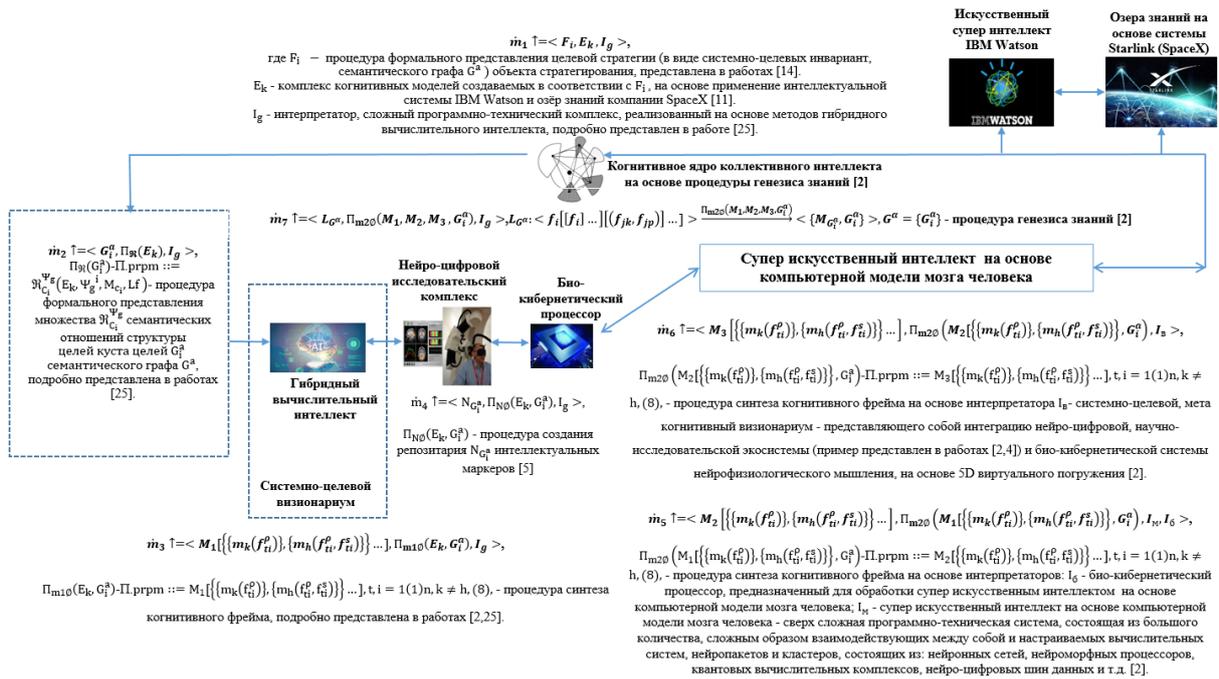


Рис. 1. Модель нейро-цифрового интеллекта инструментария стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0  
 Fig. 1. Model of neuro-digital intelligence tools for strategic goal setting and planning of Industry 5.0

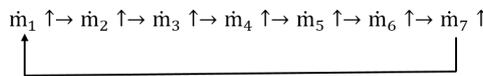


Рис. 2. Когнитивный гиперцикл модели нейро-цифрового интеллекта  
 Fig. 2. Cognitive hypercycle of the neuro-digital intelligence model

В статье [14] отмечено в «результате генезиса когнитивных вычислений, как основы для создания различных моделей коллективного интеллекта, происходит сопряжение мыслительной структуры человека с мыслительной структурой искусственного интеллекта и формирование нелинейных когнитивных связей, обладающих уникальными синергетическими свойствами и поддающихся формальному описанию и реализации посредством супер искусственного интеллекта, на основе компьютерной модели мозга человека» [14]. Также в этой статье рассмотрен прикладной вариант реализации модели когнитивного гиперцикла (рис. 2) методом двухнаправленной гирдизации [15, 16], позволяющий на основе когнитивных вычислительных процедур  $\dot{m}_1 - \dot{m}_7$  (подробно рассмотренных в работе [14]) осуществить синтез когнитивного каркаса киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, обеспечивая реализацию центральных механизмов киберсоциальных метаэкосистем ВПрК [2, 5]: самоорганизации, гомеостаза, адаптивности, адаптации экосистем к изменениям внешнего окружения, «Континуума экосистем» и т.д. Как показали прикладные исследования, предлагаемая модель нейро-цифрового интеллекта хорошо согласуется с теоретическими конструкциями нейроэкономики [17, 18], а также экономики несовершенных знаний [19, 20], основанных на исследовании параллельно действующих нейрональных систем, обеспечивающих процесс принятия производственно – экономических решений [21].

В статье [4] рассмотрен метод моделирования «цифровой трансформации экосистемы промышленных комплексов с использованием методов генетического алгоритма», являющийся, по

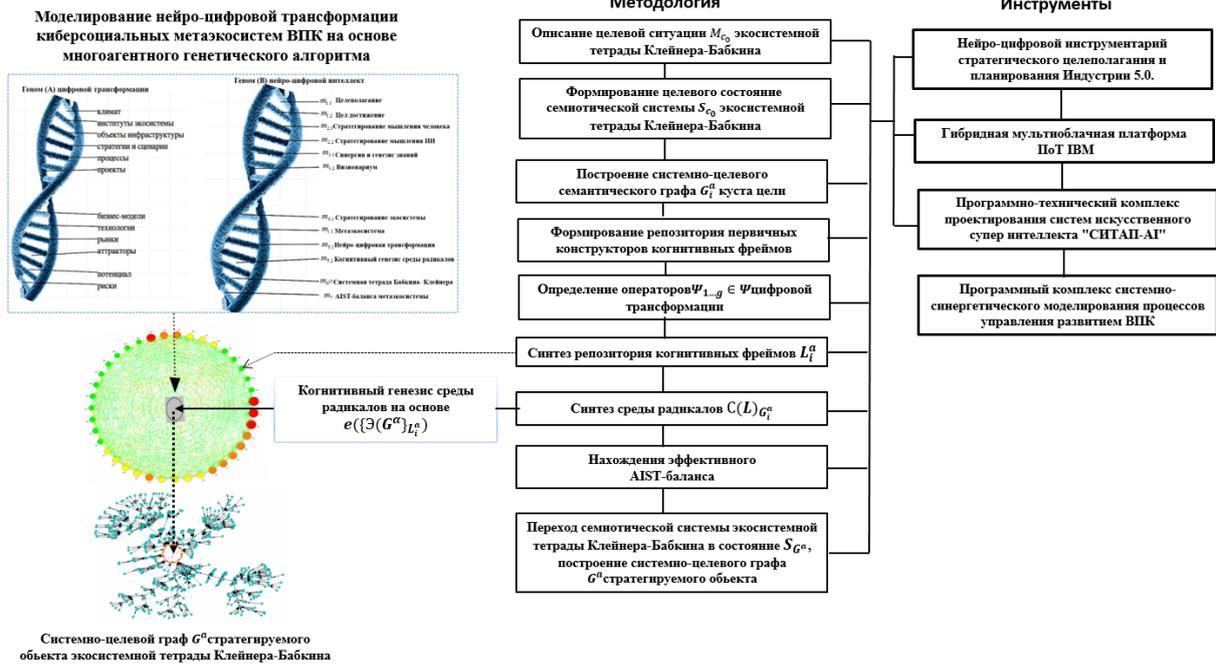


Рис. 3. Системно-целевая схема создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК  
 Fig. 3. System-targeted scheme for creating a system-synergistic tetrad of cyber social meta-ecosystems of high-tech industrial complexes

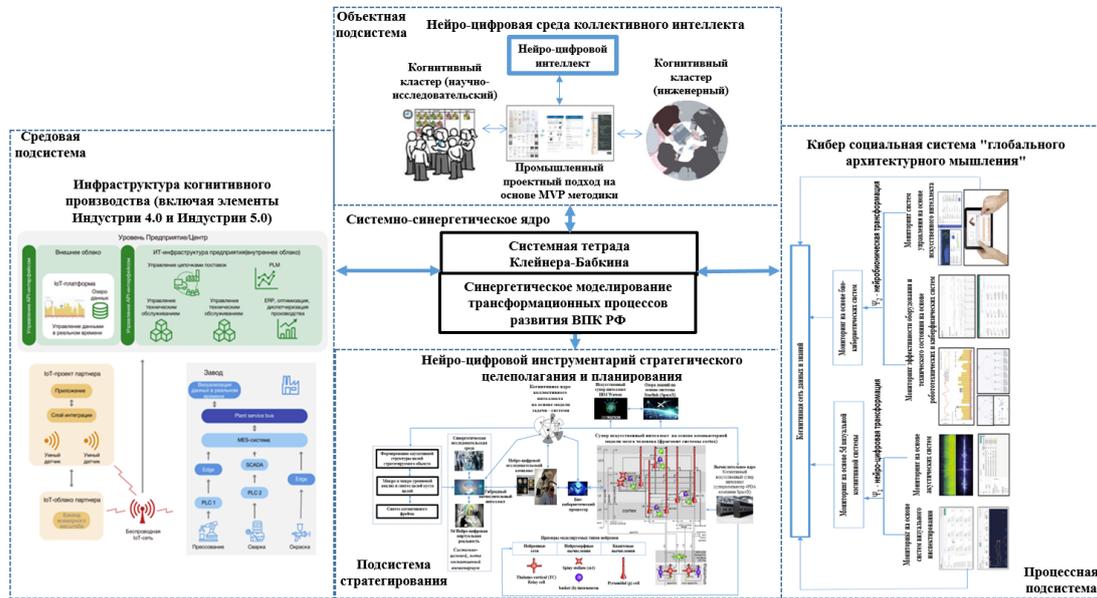


Рис. 4. Архитектура прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК  
 в условиях Индустрии 5.0. и интеллектуальной экономики

Fig. 4. Architecture of applied tools for managing the development of cyber social meta-ecosystems  
 of high-tech industrial complexes in the conditions of Industry 5.0. and intelligent economy

мнению авторов статьи, высокоэффективным, конструктивным инструментарием, «позволяющим описывать и моделировать цифровую трансформацию среды развития ВПрК», различных типов и назначений. Развитие данного метода, в рамках системной тетрады и системно-синерге-

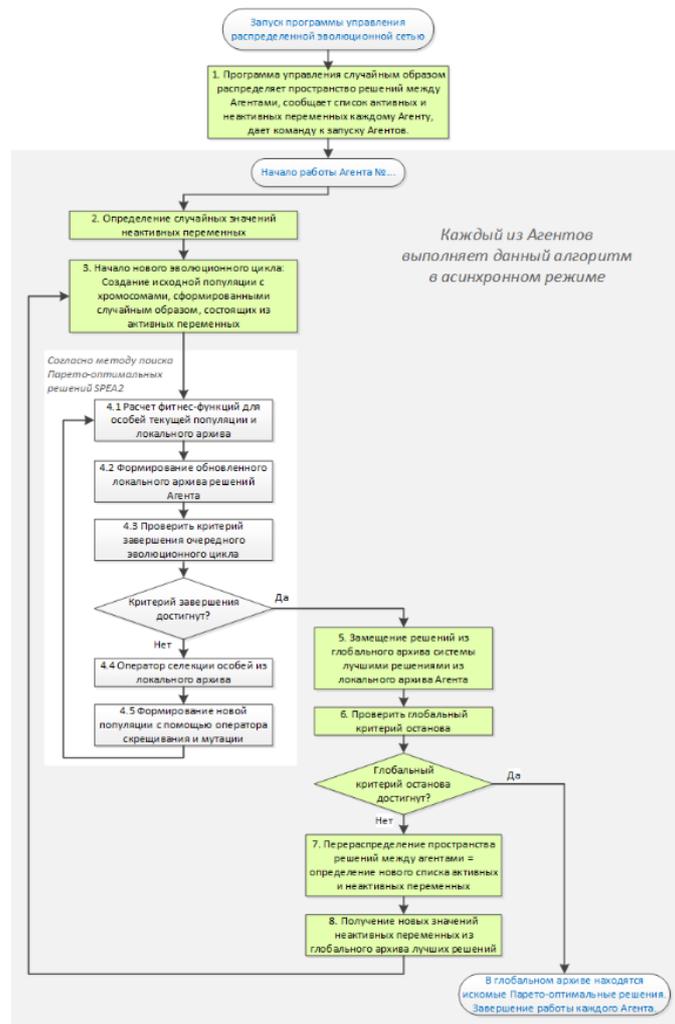


Рис. 5. Блок-схема многоагентного генетического алгоритма

Fig. 5. Flowchart of a multi-agent genetic algorithm

тической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем [8], привило к созданию системно-целевой схемы создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПК и архитектура прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в условиях Индустрии 5.0. и интеллектуальной экономики (рис. 3, 4).

### Методы исследования

Одним из центральных элементов, представленной на рис. 3 системно-целевой схемы создания системной тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПК, является авторский метод моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК на основе многоагентного генетического алгоритма [22], обобщенная блок-схема которого представлена на рис. 5.

На рис. 6. представлен состав двух хромосом генетического алгоритма.

Исходные данные и целевая функция генома А и В для работы многоагентного генетического алгоритма представлены, соответственно, в работах [4] и [8]. Реализация многоагентного генетического алгоритма как отдельного инструментария моделирования процессов управления и нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, так и в со-

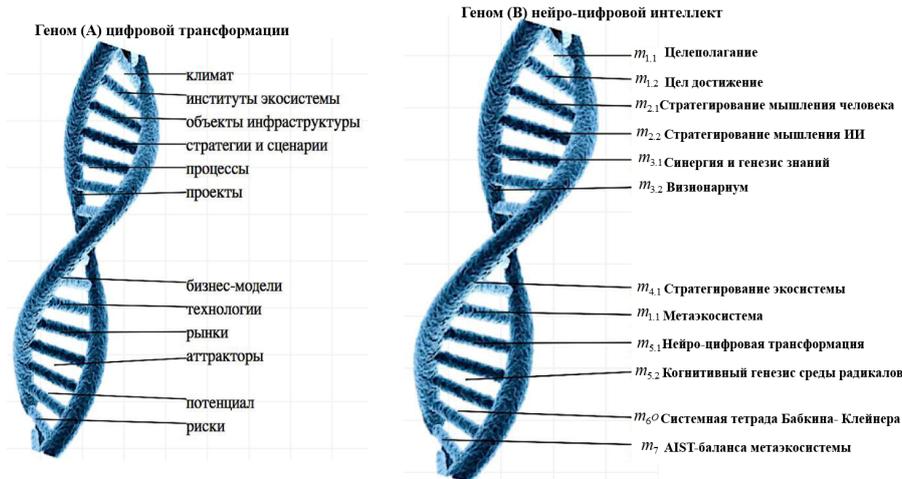


Рис. 6. Состав хромосом многоагентного генетического алгоритма  
Fig. 6. Composition of chromosomes of a multi-agent genetic algorithm

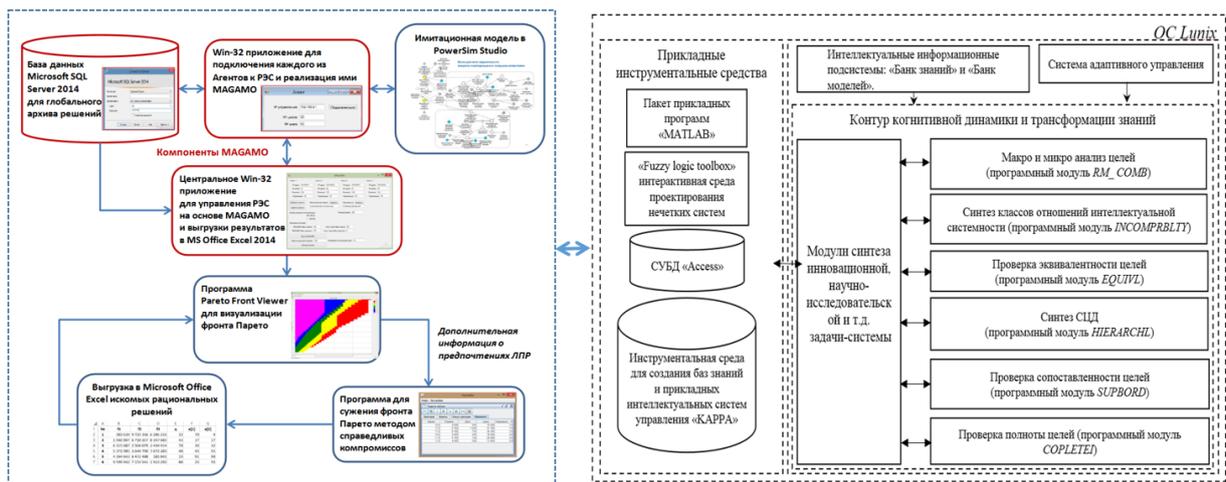


Рис. 7. Архитектура программного комплекса многоагентного генетического алгоритма  
Fig. 7. Architecture of a multi-agent genetic algorithm software package

стае системно-целевой схемы создания системной тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, возможна с использованием широкого спектра инструментов и технологий [23, 24]. Ниже представлен один из вариантов программной реализации моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, на основе многоагентного генетического алгоритма.

### Результаты и обсуждение

Начиная с 2019 г. по настоящее время, в рамках программы по созданию информационно-аналитического центра губернатора Калининградской области, в Калининградской области проходит разработка и апробация технологии проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции индустрия 5.0 [2]. В рамках данного проекта, на базе инструментальной среды «СИТАП-AI», была разработана технология-платформа проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 [2]. На рис. 7 представлено интегри-

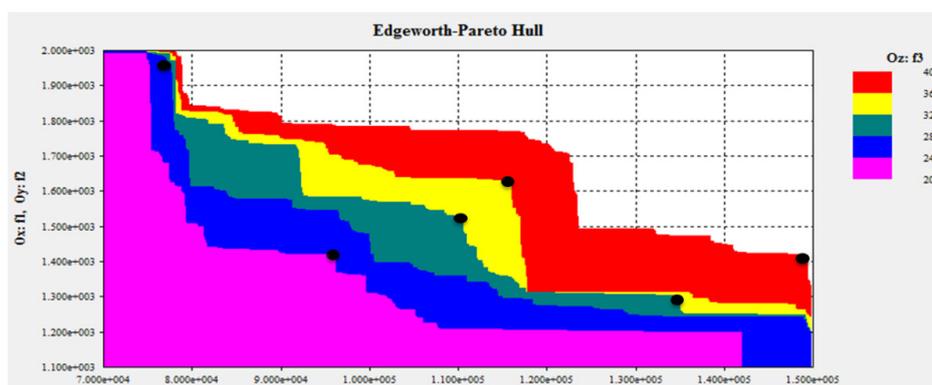


Рис. 8. Сужение найденного фронта Парето многоагентного генетического алгоритма  
Fig. 8. Restriction of the found Pareto front of a multi-agent genetic algorithm

рованное программное обеспечение, разработанное для реализации моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных, в том числе агропромышленных, комплексов на основе многоагентного генетического алгоритма (см. рис. б), включающее: инструментальную среду «СИТАП-АИ», предназначенную для моделирования когнитивных вычислительных процедур  $\dot{m}_1 - \dot{m}_7$  модели нейро-цифрового интеллекта (рис. 1); программный комплекс имитационного моделирования процесса управления развитием ВПК на основе многоагентного генетического алгоритма.

Применение программного комплекса к решению задачи моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных агропромышленных комплексов (ВАПрК), на основе многоагентного генетического алгоритма, позволило разработать (рис. 8) шесть рациональных вариантов управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВАПрК Калининградской области.

На рис. 9. представлен нейробионический вариант (Парето-оптимальных решений), полученный на основе применения инструментальной среды (рис. б) моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВАК Калининградской области.

В настоящее время ведется активная подготовка к внедрению разработанных инструментариев и полученных на их основе рациональных вариантов управления развитием киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных агропромышленных комплексов на базе ряда ведущих агропромышленных комплексов Калининградской области. На основе нейробионического варианта нейро-цифровой трансформации управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВАПрК в настоящее время проведено усовершенствование экспериментальной мехатронной системы зерноуборочного комбайна (СЕВИС) [25]. Как показали исследования и эксперименты применение нейробионического варианта управления развитием ВАПрК даже для усовершенствования отдельного технического устройства позволит существенно улучшить в целом показатели экономической эффективности агропромышленного производства, за счет существенного повышения эффективности при организации уборки урожая, что доказывает в целом эффективность предлагаемых в настоящей работе методов и инструментариев и необходимость продолжения исследований по данному направлению.

### Заключение

В будущих исследованиях на основе активного внедрения и развития разработанных к настоящему времени методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации промышленности, в том числе в компаниях макроуровня (SpaceX, «Карбоновая долина (Ростех)» и т.д.), авторы пла-

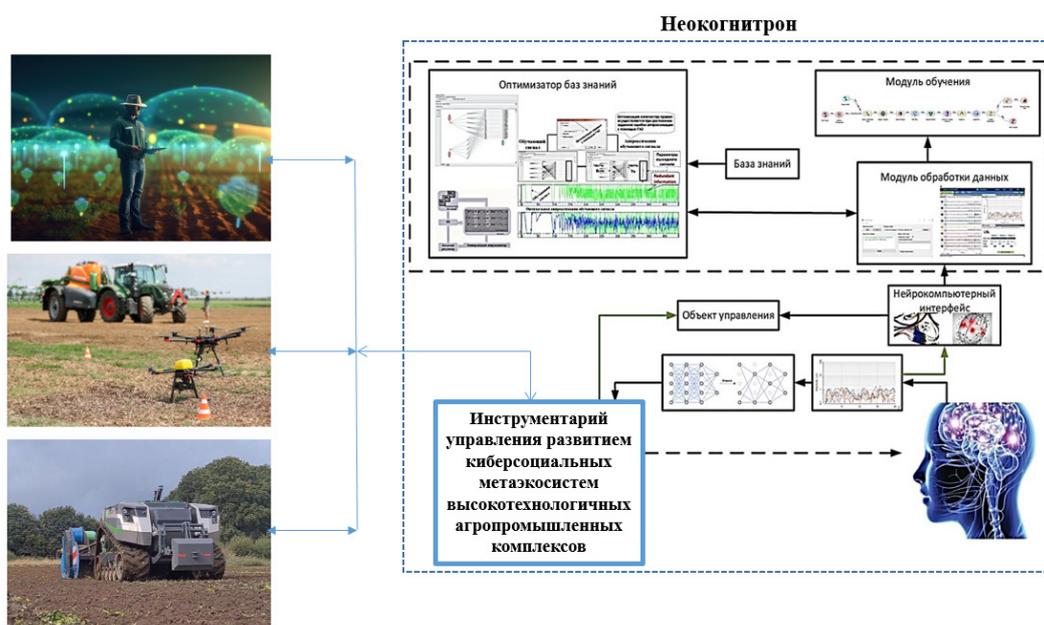


Рис. 9. Нейробионический вариант нейро-цифровой трансформации управления развитием киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных агропромышленных комплексов  
 Fig. 9. Neurobionic version of the neuro-digital transformation of managing the development of cyber-social meta-ecosystems of high-tech agro-industrial complexes

нируют приступить к созданию мультивариантной конструкции научно-технологического развития ВПрК, на основе методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации и интеллектуальной экономики.

Таким образом, в рамках исследований получены следующие результаты.

1. На основе системной тетрады и системно-синергетической концепции нейро-цифровой трансформации киберсоциальных экосистем разработана системно-целевая схема создания системно-синергетической тетрады киберсоциальных метаэкосистем ВПрК.
2. Предложен метод моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем ВПрК на основе многоагентного генетического алгоритма. Разработана блок-схема и прикладное программное обеспечение многоагентного генетического алгоритма.
3. Разработана архитектура и программное обеспечение прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК в условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики.
4. Выполнена апробация прикладного инструментария управления развитием киберсоциальных метаэкосистем ВПрК, в условиях Индустрии 5.0 и интеллектуальной экономики, к решению задачи моделирования нейро-цифровой трансформации киберсоциальных метаэкосистем высокотехнологичных агропромышленных комплексов Калининградской области.

В работе ([4], раздел 1.3) представлена модель развития промышленных комплексов по стадиям жизненного цикла, а также обосновывается вывод «трансформация крупных промышленных комплексов необходима на стадии зрелости, чтобы предотвратить стадию спада и осуществить кратное наращивание роста ПК». Как показали исследования авторов, проведенные в процессе апробации разработанных в рамках данной статьи методов и инструментариев, так и проведенных в рамках разработки системной тетрады киберсоциальных экосистем экосистемы Starbase [8], а также исследования представленные в работе [10, 26, 27], в настоящее время ряд крупных ВПрК, как российских, так и западных компаний, практически полностью достигли

стадии зрелости, исчерпав практически полностью ресурс цифровой трансформации. Кроме того, как показывают исследования, количество компаний (на всех уровнях сосуществования промышленных комплексов – макро, микро, мезо [4]) достигающих стадии зрелости, возрастает экспоненциально. Таким образом, уже в скором времени, мировая экономика может столкнуться с рядом серьезных проблем: синхронизированное замедление развития, кризис инвестиций, и т.д. Для решения данных проблем, связанных с необходимостью трансформации крупных индустриальных комплексов на стадии зрелости, необходим новый вектор прорывного развития ВПрК, связанный в первую очередь с созданием новых подходов и инструментариев нейро-цифровой трансформации и нейро-цифровизации ВПК.

### Направления дальнейших исследований

В будущих исследованиях на основе активного внедрения и развития, разработанных к настоящему времени методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации промышленности, в том числе в компаниях макроуровня (SpaceX, «Карбоновая долина (Ростех)» и т.д.) авторы планируют приступить к созданию мультивариантной конструкции научно-технологического развития ВПрК с использованием методов и инструментариев нейро-цифровой трансформации и интеллектуальной экономики.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Квинт В.Л., Бодрунов С.Д. (2021) *Стратегирование трансформации общества: знание, технологии, ноономика*. Монография. СПб.: ИНИР им. С. Ю. Витте, 351.
2. Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Ключек П.М. (2021) Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие. *Экономика промышленности*, 14 (4), 375–395. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>
3. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. (2021) Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: понятие, сущность, модель. *Экономическое возрождение России*, 4 (70). DOI: <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62>
4. Tolstykh T.O., Kostuhin Y.Y., Zhaglovskaya A.V., Shkarupeta E.V., Garin A.P. (2020) Scenarios for the development of industrial complexes in the digital economy. *Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. "Lecture Notes in Networks and Systems" Plekhanov Russian University of Economics. Luxembourg*, 1255–1261.
5. Бабкин А.В., Корягин С.И., Либерман И.В. и др. (2022) Индустрия 5.0: Нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования. *Технико-технологические проблемы сервиса*, 3 (61), 64–85.
6. Бодрунов С.Д. (2018) *Ноономика*, монография, М.: Культурная революция, 432.
7. Дударева О.В., Шкарупета Е.В. (2021) Концептуальные аспекты цифровой трансформации промышленных экосистем. *Цифровая экономика, умные инновации и технологии, Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2021 года*, 64–66.
8. Бабкин А.В., Либерман И.В., Ключек П.М., Шкарупета Е.В. (2023) Индустрия 5.0: Основы создания системной тетрады киберсоциальных экосистем. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: экономика*, 1, 103–120. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2023-1-103-120>
9. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. (2023) Интеллектуальная экономика экосистем: понятие, эволюция, формирование. *Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции «Интеллектуальная инженерная экономика и Индустрия 5.0» (ИНПРОМ), 27-30 апреля 2023, Санкт-Петербург*. (Под ред. д-ра экон. наук Родионова Д.Г., д-ра экон. наук Бабкина А.В.), 713.
10. Bonnaud S., Didier C. (2019) *Industrie 4.0 & Fabrication Cognitive. Cas d'usage, Patterns d'Architecture, Solutions IBM*. [online] Available at: <https://www.ibm.com/downloads/cas/N8DILLD6A> [Accessed 18.08.2023].
11. Горлачева Е.Н., Иванникова Е.М. (2019) Методология управления когнитивными факторами производства высокотехнологичных предприятий. *Экономика науки*. 5 (3). С. 203–214.

12. Бодрунов С.Д. (2018) Конвергенция технологий – новая основа для интеграции производства, науки и образования. *Экономическая наука современной России*, 1, 8–19.
13. Цифровая Россия: новая реальность. (2017) *Отчёт экспертной группы Digital McKinsey* [online] Available at: <https://corpshark.ru/wp-content/uploads/2017/07/Digital-Russia-report.pdf> [Accessed 20.08.2023].
14. Колесников А.В., Корягин С.И., Либерман И.В., Клачек П.М., Бабкин А.В. (2022) Индустрия 5.0: Основы создания нейро-цифрового интеллекта на примере компании SPACEX. *Сборник трудов двадцать пятой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием, 21–23 декабря 2022 года (КИИ-2-22)*, 2, 341–350.
15. Колесников А.В., Кириков И.А. (2007) *Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем*, М.: ИПИ РАН, 387.
16. Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В., Румовская С.Б., Доманицкий А.А. (2011) *Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем* (Под ред. А.В. Колесникова), М.: ИПИ РАН, 295 с.
17. Bechara A., Damasio A. (2005) The Somatic Marker Hypothesis: A Neural Theory of Economic Decision. *Games and Economic Behavior*, 52, 336–372.
18. Bogacz R. (2007) Optimal decision-making theories: linking neurobiology with behaviour. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 118–125.
19. Lemos N. (2007) *An Introduction to the Theory of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 244.
20. Foray D. (2004) *The Economics of Knowledge*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 289.
21. Трофимова Е.А., Мазуров В.Д., Гилев Д.В. (2017) *Нейронные сети в прикладной экономике*. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 96.
22. Хивинцев М.А., Акопов А.С. (2013) Распределенная эволюционная сеть для решения многокритериальных оптимизационных задач в системах имитационного моделирования. *Бизнес-информатика*, 3 (25), 35–41.
23. Akopov A.S., Nevencev M.A. (2013) A Multi-agent genetic algorithm for multi-objective optimization. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Manchester, UK, October 13-16*, 1391–1396.
24. Bleuer S., Brack M., Thiele L., Zitzler E. (2001) Multiobjective genetic programming: Reducing bloat by using SPEA 2. *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (CES-2001). Seoul, Korea, May 27-30*, 536–543.
25. Федоров А.А. и др. (2021) Основы создания нейро-цифровых экосистем. *Гибридный вычислительный интеллект*, монография, Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 320.
26. Бетелин В.Б. (2018) Проблемы и перспективы формирования цифровой экономики в России. *Вестник Российской академии наук*, 1, 3–9.
27. Цифровая экономика Российской Федерации (2019) *Официальный сайт Правительства России*. [online] Available at: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>. [Accessed 20.08.2023].
28. Журавлев Д.М., Глухов В.В. (2021) Стратегирование цифровой трансформации экономических систем как драйвер инновационного развития. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*, 14 (2), 7–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14201>
29. Махмудова Г.Н., Ашуrow З.А., Разакова Б.С. (2022) Развитие цифровой экосистемы и формирование цифровых платформ в Узбекистане. *π-Economy*, 15 (2), 7–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15201>
30. Писарев И.В., Бывшев В.И., Пантелеева И.А., Парфентьева К.В. (2022) Исследование готовности регионов России к цифровой трансформации. *π-Economy*, 15 (2), 22–37. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15202>

## REFERENCES

1. Kvint V.L., Bodrunov S.D. (2021) *Strategirovanie transformatsii obshchestva: znanie, tekhnologii, noonomika*. Monografiya. SPb.: INIR im. S. Yu. Vitte, 351.

2. Babkin A.V., Fedorov A.A., Liberman I.V., Klachek P.M. (2021) Industriya 5.0: ponyatie, formirovanie i razvitie. *Ekonomika promyshlennosti*, 14 (4), 375–395. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>
3. Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. (2021) Intellektual'naya kibersotsial'naya ekosistema Industrii 5.0: ponyatie, sushchnost', model'. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii*, 4 (70). DOI: <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62>
4. Tolstykh T.O., Kostuhin Y.Y., Zhaglovskaya A.V., Shkarupeta E.V., Garin A.P. (2020) Scenarios for the development of industrial complexes in the digital economy. *Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. "Lecture Notes in Networks and Systems" Plekhanov Russian University of Economics. Luxembourg*, 1255–1261.
5. Babkin A.V., Koryagin S.I., Liberman I.V. i dr. (2022) Industriya 5.0: Neuro-tsifrovoy instrumentarii strategicheskogo tselepolaganiya i planirovaniya. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 3 (61), 64–85.
6. Bodrunov S.D. (2018) *Noonomika*, monografiya, M.: Kul'turnaya revolyutsiya, 432.
7. Dudareva O.V., Shkarupeta E.V. (2021) Kontseptual'nye aspekty tsifrovoy transformatsii promyshlennykh ekosistem. *Tsifrovaya ekonomika, umnye innovatsii i tekhnologii, Sankt-Peterburg, 18–20 aprelya 2021 goda*, 64–66.
8. Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M., Shkarupeta E.V. (2023) Industriya 5.0: Osnovy sozdaniya sistemnoi tetrady kibersotsial'nykh ekosistem. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: ekonomika*, 1, 103–120. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2023-1-103-120>
9. Babkin A.V., Shkarupeta E.V. (2023) Intellektual'naya ekonomika ekosistem: ponyatie, evolyutsiya, formirovanie. *Sbornik trudov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Intellektual'naya inzhenernaya ekonomika i Industriya 5.0» (INPROM), 27-30 aprelya 2023, Sankt-Peterburg*. (Pod red. d-ra ekon. nauk Rodionova D.G., d-ra ekon. nauk Babkina A.V.), 713.
10. Bonnaud S., Didier C. (2019) Industrie 4.0 & Fabrication Cognitive. *Cas d'usage, Patterns d'Architecture, Solutions IBM*. [online] Available at: <https://www.ibm.com/downloads/cas/N8DLLD6A> [Accessed 18.08.2023].
11. Gorlacheva E.N., Ivannikova E.M. (2019) Metodologiya upravleniya kognitivnymi faktorami proizvodstva vysokotekhnologichnykh predpriyatii. *Ekonomika nauki*. 5 (3). S. 203–214.
12. Bodrunov S.D. (2018) Konvergentsiya tekhnologii – novaya osnova dlya integratsii proizvodstva, nauki i obrazovaniya. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoi Rossii*, 1, 8–19.
13. Tsifrovaya Rossiya: novaya real'nost'. (2017) *Otchet ekspertnoi gruppy Digital McKinsey* [online] Available at: <https://corpshark.ru/wp-content/uploads/2017/07/Digital-Russia-report.pdf> [Accessed 20.08.2023].
14. Kolesnikov A.V., Koryagin S.I., Liberman I.V., Klachek P.M., Babkin A.V. (2022) Industriya 5.0: Osnovy sozdaniya neuro-tsifrovogo intellekta na primere kompanii SPACEX. *Sbornik trudov dvadtsat' pyatoi natsional'noi konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem, 21–23 dekabr'ya 2022 goda (KII-2-22)*, 2, 341–350.
15. Kolesnikov A.V., Kirikov I.A. (2007) *Metodologiya i tekhnologiya resheniya slozhnykh zadach metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem*, M.: IPI RAN, 387.
16. Kolesnikov A.V., Kirikov I.A., Listopad S.V., Rumovskaya S.B., Domanitskii A.A. (2011) *Reshenie slozhnykh zadach kommvoyazhera metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem* (Pod red. A.V. Kolesnikova), M.: IPI RAN, 295 s.
17. Bechara A., Damasio A. (2005) The Somatic Marker Hypothesis: A Neural Theory of Economic Decision. *Games and Economic Behavior*, 52, 336–372.
18. Bogacz R. (2007) Optimal decision-making theories: linking neurobiology with behaviour. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 118–125.
19. Lemos N. (2007) *An Introduction to the Theory of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 244.
20. Foray D. (2004) *The Economics of Knowledge*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 289.
21. Trofimova E.A., Mazurov V.D., Gilev D.V. (2017) *Neironnye seti v prikladnoi ekonomike*. Ekaterinburg: Izd-vo UrFU, 96.
22. Khivintsev M.A., Akopov A.S. (2013) Raspredeleonnaya evolyutsionnaya set' dlya resheniya mnogokriterial'nykh optimizatsionnykh zadach v sistemakh imitatsionnogo modelirovaniya. *Biznes-informatika*, 3 (25), 35–41.

23. Akopov A.S., Hevencev M.A. (2013) A Multi-agent genetic algorithm for multi-objective optimization. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Manchester, UK, October 13-16*, 1391–1396.
24. Bleuer S., Brack M., Thiele L., Zitzler E. (2001) Multiobjective genetic programming: Reducing bloat by using SPEA 2. *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (CES-2001). Seoul, Korea, May 27-30*, 536–543.
25. Fedorov A.A. i dr. (2021) *Osnovy sozdaniya neuro-tsifrovyykh ekosistem. Gibridnyi vychislitel'nyi intellekt*, monografiya, Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 320.
26. Betelin V.B. (2018) Problemy i perspektivy formirovaniya tsifrovoi ekonomiki v Rossii. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 1, 3–9.
27. Tsifrovaya ekonomika Rossiiskoi Federatsii (2019) *Ofitsial'nyi sait Pravitel'stva Rossii*. [online] Available at: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>. [Accessed 20.08.2023].
28. Zhuravlev D.M., Glukhov V.V. (2021) Strategirovanie tsifrovoi transformatsii ekonomicheskikh sistem kak draiver innovatsionnogo razvitiya. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskije nauki*, 14 (2), 7–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14201>
29. Makhmudova G.N., Ashurov Z.A., Razakova B.S. (2022) Razvitie tsifrovoi ekosistemy i formirovanie tsifrovyykh platform v Uzbekistane. *π-Economy*, 15 (2), 7–21. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15201>
30. Pisarev I.V., Byvshev V.I., Panteleeva I.A., Parfent'eva K.V. (2022) Issledovanie gotovnosti regionov Rossii k tsifrovoi transformatsii. *π-Economy*, 15 (2), 22–37. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15202>

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**БАБКИН Александр Васильевич**

E-mail: [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**Aleksandr V. BABKIN**

E-mail: [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**ЛИБЕРМАН Ирина Владимировна**

E-mail: [ILiberman@kantiana.ru](mailto:ILiberman@kantiana.ru)

**Irina V. LIBERMAN**

E-mail: [ILiberman@kantiana.ru](mailto:ILiberman@kantiana.ru)

**КЛАЧЕК Павел Михайлович**

E-mail: [pklachek@mail.ru](mailto:pklachek@mail.ru)

**Pavel M. KLACHEK**

E-mail: [pklachek@mail.ru](mailto:pklachek@mail.ru)

*Поступила: 03.09.2023; Одобрена: 26.10.2023; Принята: 26.10.2023.*

*Submitted: 03.09.2023; Approved: 26.10.2023; Accepted: 26.10.2023.*

Научная статья

УДК 338.24

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16502>



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ РОССИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОЗИЦИЙ СИСТЕМНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ

А.А. Никонова ✉

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

✉ [prettyal@cemi.rssi.ru](mailto:prettyal@cemi.rssi.ru)

**Аннотация.** Актуальность. Проблема технологического суверенитета исследуется в условиях санкций против России. Цель – сформировать подход к сбалансированным решениям в обеспечении технологического суверенитета в сквозных технологиях за счет отечественных разработок и интеллектуального потенциала. Методология и методы. Положения системной экономической парадигмы использованы в основе системного анализа и синтеза российской экономики, моделирования взаимодействий ключевых секторов общественной системы, формулирования выводов. Результаты. Показана значительная степень зависимости от иностранных технологий и других компонентов импорта в динамике и в разрезе видов деятельности. Приведены возможности и ограничения технологического суверенитета России применительно к сфере информационных технологий как одной из критических. Рассмотрены два варианта сценариев технологического суверенитета: импортозамещения и радикальной трансформации модели экономики. С этой целью представлены имитационные модели. Новизна. Структурно-функциональные модели, основанные на платформенных решениях в сфере ИТ, имитируют взаимодействия предприятий, осуществляющих поиск технологий, в рамках системы, включающей не трех, но четырех коллективных акторов. В отличие от традиционных подходов, разделение экономики на сектор бизнеса и сектор предприятий, различающиеся в целях (прибыль и непрерывность воспроизводственного цикла), позволяет избежать доминирования какой-либо одной цели в обеспечении технологического суверенитета, преодолеть противоречие между краткосрочными и долгосрочными целями. Результаты системного подхода выводят на сетевые структуры без потери функциональности в условиях ограниченных ресурсов, дают научное знание о высокой значимости сотрудничества между акторами как фундаментального фактора трансформации экономической модели и технологического суверенитета на долгую перспективу. Выводы. Коллаборативные формы взаимодействий служат средством самоорганизации и формирования инновационных экосистем. Системный взгляд на структуру и функции ключевых акторов способствует выработке сбалансированных экономических, институциональных, организационных мер по обеспечению технологического суверенитета и повышению их обоснованности. Тетрадное представление функций четырех акторов позволяет исследовать способы получения сквозных технологий не только в сфере ИТ, это относится к дальнейшим исследованиям темы технологического суверенитета России.

**Ключевые слова:** российская экономика, система, импорт, информационные технологии, предприятия (компании), бизнес, государство, наука и образование, взаимодействия

**Благодарности:** Работа выполнена за счет средств федерального бюджета (тема FMGF-2019-0007 «Разработка экономико-математического инструментария для повышения эффективности бюджетной системы в Российской Федерации»).

**Для цитирования:** Никонова А.А. (2023) Технологический суверенитет России: исследование и моделирование с позиций системной трансформации экономики. П-Economy, 16 (5), 22–37. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16502>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16502>

## RUSSIA'S TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY: RESEARCH AND MODELING FROM THE STANDPOINT OF SYSTEM TRANSFORMATION OF THE ECONOMY

A.A. Nikonova 

Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Science,  
Moscow, Russian Federation

 [prettyal@cemi.rssi.ru](mailto:prettyal@cemi.rssi.ru)

**Abstract.** Relevance. The problem of technological sovereignty is being explored in the context of sanctions against Russia. The goal is to form an approach to balanced solutions in ensuring technological sovereignty in end-to-end technologies through domestic R&D and intellectual potential. Methodology and methods. The provisions of the system economic paradigm are used as the basis of the system analysis and synthesis of the Russian economy, modeling the interactions of key sectors of the social system, and formulating conclusions. Results. A significant degree of dependence both on foreign technologies and on other components of imports is presented in dynamics and in the context of activities. The possibilities and limitations of Russia's technological sovereignty in relation to the field of information technology as one of the critical ones are given. Two scenarios of technological sovereignty are considered: import substitution and a radical transformation of the economic model as a whole. For this, simulation models are presented. Novelty. Structural and functional models based on platform solutions in the field of IT imitate the interactions of enterprises searching for technologies within a system that includes not three, but four collective actors. Unlike traditional approaches, the division of economy on the business and enterprise sector, which differ in goals (profit and continuity of the reproduction cycle), allows you to avoid the dominance of any one goal in ensuring technological sovereignty, to overcome the contradiction between short-term and long-term goals. The results of a systematic approach lead to network structures without loss of functionality in conditions of limited resources, provide scientific knowledge about the importance of collaboration between actors as a fundamental factor in the transformation of the economic model and technological sovereignty in the long term. Conclusions. Collaborative forms of interaction serve as a means of self-organization and formation of innovative ecosystems. A systematic view of the structure and functions of actors contributes to the development of balanced economic, institutional, organizational measures to ensure technological sovereignty and increase their validity. The tetrad representation of the functions of the four actors allows us to explore ways to obtain end-to-end technologies not only in the field of IT; this also applies to further research on the topic of Russia's technological sovereignty.

**Keywords:** Russian economy, system, import, information technology, enterprises (companies), business, state, science and education, interactions

**Acknowledgements:** The work was carried out at the expense of the federal budget (topic FMGF-2019-0007 "Development of economic and mathematical tools to improve the efficiency of the budget system in the Russian Federation").

**Citation:** Nikonova A.A. (2023) Russia's Technological Sovereignty: Research and Modeling from the Standpoint of System Transformation of the Economy. *П-Economy*, 16 (5), 22–37. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16502>

### Актуальность исследования

Актуальность исследования обусловлена низкими темпами и качеством научно-технологического развития России [3, 7, 19]. Низкая абсорбция знаний в России [24], слабая передача знаний из науки в производство, вялая инновационная активность отечественных организаций, наряду с дисфункцией управляющей системы, обуславливают незавершенность инновационной цепи [9, 22]. На фоне стремительной динамики научно-технического прогресса (НТП) это ведет к техно-

логическому отставанию практически во всех видах экономической деятельности, за исключением военно-промышленного комплекса. Санкции и геополитико-экономический кризис резко ограничили доступность иностранного капитала, передовых технологий, результатов НИОКР [26, 39] и вызвали нехватку нужных продуктов и технологий, особенно в сфере фармацевтики, информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), промышленного инжиниринга. Значительные масштабы и глубина зависимости от иностранного импорта технологий несут угрозы в виде технологического отставания и устойчивости производственных систем и актуализируют задачи достижения технологической суверенности и экономической безопасности РФ на основе собственных линий разработки технологий, в т.ч. критических и сквозных<sup>1</sup>.

Объект исследования – российская экономика, в прикладном аспекте – сфера информационных технологий (ИТ), отнесенных к понятию «сквозные».

Предмет исследования – особенности, факторы, способы укрепления и роста технологической суверенности (ТС) в условиях санкций против РФ.

### Литературный обзор

В правительственных документах ТС понимается как «наличие в стране (под национальным контролем) критических и сквозных технологий, собственных линий разработки и условий производства продукции на их основе, обеспечивающих устойчивую возможность государства и общества достигать собственные национальные цели развития и реализовывать национальные интересы»<sup>2</sup>. В большинстве научных трудов ТС трактуется как возможность, способность и свобода обладать, получать, создавать, использовать технологии, научные и производственные факторы, в целях инновационного развития [35] в интересах страны, региона, компании [4, 18, 36]. Акцентируют на способности к воспроизводству необходимых современных технологий в критически важных сферах жизнедеятельности в целях устойчивости [2] и создании благоприятных условий [10]. Отмечают относительность ТС в глобальном мире [37]. Импортозамещение более узкое понятие: восполнение иностранных товаров и услуг отечественными аналогами, что принципиально отлично от ТС<sup>3</sup>.

Будем понимать ТС экономической системы как признак определенного ее состояния – доступности нужных технологий, способности создавать их и функционировать во времени и пространстве, достигать своих целей, не ухудшая характеристики под влиянием окружения. ТС – одна из компонент суверенности страны в целом и экономической безопасности; ТС касается финансов, культуры, привязки науки и образования к внешним центрам [25], защищенности информационного пространства (контроля)<sup>4</sup> [34] и других аспектов; эти связи здесь не исследуются ввиду ограниченности места.

В основном ТС исследуется с точки зрения масштабов зависимости от импорта, как во временном, так и в отраслевом аспекте [8, 12], с попытками измерения, в основном при помощи показателей структуры импорта и экспорта и доли их в ВВП, в промежуточном и конечном потреблении.

Динамика и уровень индикатора, измеряющего разницу между экспортом и импортом, свидетельствует о степени технологического отставания и указывает на сильную зависимость в машиностроении, абсолютную – в станкостроении и вычислительной технике [30, с. 85–87], причем В.К. Фальцман связывает динамику индикатора с изменением цены нефти. В эту тему А.А. Ши-

<sup>1</sup> Концепция технологического развития до 2030 г. Утв. Распоряж. Правительства РФ №1315-р от 20.05.2023. URL: <http://static.government.ru/media/files/Q1KvR0XIKjuo8zjzvARvqNEENPJO6va.pdf>; О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021. № 400. П. 5, 19, 22. Президент России. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046>

<sup>2</sup> Там же. С. 9.

<sup>3</sup> Путин В.В. Вручение премий Президента в области науки и инноваций для молодых учёных. 08.02.2022. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/70472>

<sup>4</sup> Наталья Касперская о цифровом суверенитете страны. 26.05.2023. URL: <https://arppsoft.ru/blog-kasperskaya/importozameshchenie-po-natalya-kasperskaya-o-tsifrovom-suverenitete-strany>

ров приводит данные сильнейшей зависимости от импорта и резонно отмечает, что ни при каких обстоятельствах в этой ситуации не стоит увеличивать объем производства нефти, но следует заниматься серьезной технологической трансформацией экономики [33].

В условиях высокой зависимости от импорта попытки импортозамещения после санкций 2014 г. не принесли ожидаемых результатов [27, 28, 32].

Четвертая научная техническая революция (НТР) фокусирует взгляды ученых и практиков на роли цифровых технологий в вопросах ТС [34] и актуализирует тему технологической модернизации российских организаций на основе ИТ [1, 6, 17, 20]. В этой сфере у нас есть заметные преимущества, но и проблемы [5, 29], требующие разрешения с учетом введенных ограничений доступности ИТ. Кроме того, Россия отстает от мирового тренда роста вложений в технологии, связанные с ИТ [16].

Таким образом, накапливается эмпирическая база, однако коренные факторы – отношения сторон – не затронуты и остаются в тени большинства исследований, однако именно они существенно определяют, по нашему мнению, перспективы ТС в условиях санкций. В связи с этим, в сравнении с другими работами, статья отвечает, скорее, на вопрос о конструктивных способах роста ТС на основе результатов системного анализа экономики, нежели – на вопрос, кто виноват.

Анализ особенностей и перспектив ТС представляет научный и практический интерес, а разработка способов обеспечения ТС при помощи моделирования взаимодействий ключевых секторов может внести заметный вклад в научное знание, т.к. уточняет понимание экономической и технологической политики ТС и стратегии ТС, т.е. решений, существенно меняющих подход к обеспечению ТС и несущих необратимые и долговременные изменения для экономики и ее звеньев.

#### **Цель исследования**

Цель – сформировать подход к сбалансированным решениям в обеспечении технологического суверенитета в сквозных технологиях за счет отечественных разработок и интеллектуального потенциала, руководствуясь положениями системной экономической теории [13] в приложении к сфере ИТ. С этой целью выполнены задачи системного анализа и синтеза экономики в период санкций, отвечающие на вопрос о коренных факторах ТС в основе модели отношений акторов и на вопрос «что делать». Полученные результаты изложены в основной части статьи.

Вначале приведены выводы из системного анализа трендов и факторов ТС в контексте текущего геополитико-экономического кризиса. Далее показаны возможности и ограничения ТС в секторах экономики, социума, бизнеса. Затем отмечены реактивные воздействия со стороны государственных органов законодательной и исполнительной власти. В итоге представлены структурно-функциональные модели взаимодействий секторов общественной системы, демонстрирующие пути трансформации отношений между ключевыми акторами, участвующими в создании отечественных продуктов и технологий в сфере ИТ. В заключении сделаны выводы о направлениях такой трансформации, прежде всего, в фундаменте существующей модели экономики.

#### **Методология, методы и материалы**

Исследование проблем ТС опирается на положения системной экономической парадигмы и системное представление общественной системы как целостности, согласно которым компоненты, сектора и соответствующие им субъекты, коллективные акторы, связаны между собой определенным образом и обмениваются ресурсами и способностями, необходимыми друг другу для реализации своего функционала [14]. На основе такого представления можно избежать проблем и сбоев в функционировании народнохозяйственного комплекса и его звеньев. Как показывают методы системного анализа и синтеза [15] разорванность горизонтальных и вертикальных связей, характерная для РФ разобщенность акторов во времени и пространстве [14] вызывает рост

транзакционных издержек и дисбалансы между ресурсами, способностями на входе и выходе секторов, другими словами, между затратами и результатами, тормозит инновационный процесс.

В связи с этим, по нашему выводу, не только недофинансирование технологий, науки, НИО-КР, модернизации промышленности выступает фактором технологического отставания РФ, но прежде всего, негармоничные взаимодействия, в частности, они обуславливают неполноту научно-производственного цикла. В результате творческий интеллектуальный потенциал теряется в провалах между созданием знаний, изобретений и производством [22]. Напротив, за рубежом силами наших талантов, особо знаменитых в сфере IT, химии, физики, создаются высокотехнологичные компании-единороги<sup>5</sup>, а в РФ – ни одной.

Приведенные ниже оценки зависимости РФ от импорта технологий, выполненные ведущими учеными и специалистами за период (2014–2019), помогают видеть болевые точки зависимости, но не причины их возникновения. Данные за период пандемии (2020–2021) считаются мало представительными. Публикуемые данные Росстата недостаточны для целей данного исследования; нужных данных ФТС за 2022 г. нет. Тем не менее, сравнительный анализ оценок позволяет определить особенные характеристики зависимости РФ от импорта технологий по видам деятельности и компонентам для производства.

### Результаты и обсуждение

Санкции против РФ (в т.ч. в сфере IT) имеют давние традиции. Координационный комитет по экспортному контролю (Coordinating Committee for Multilateral Export Controls, CoCom), в сфере ответственности которого были, помимо всего прочего, IT, заработал осенью 1949 г. Весной 2014 г., в связи с присоединением Крыма и конфликтом на востоке Украины, на Россию наложены санкции в разных областях. За период (2014–2021) в итоге программы импортозамещения степень зависимости от импорта снизилась по-разному в различных видах деятельности (рис. 1).

В конечном потреблении наибольший удельный вес импорта от «недружественных» поставщиков приходится на химические товары, фармацевтику, резиновые и пластмассовые изделия, транспортные средства, электрическое и иное оборудование, текстиль, одежду [8, с. 11]. В промежуточном потреблении импорт из «недружественных» источников занимал наибольший удельный вес в производстве автотранспорта, 26,3% от всего импорта, лекарственных средств и материалов – 22,3% (2019) [8, с. 11]. При этом значимость импортных комплектующих, оборудования, сырья, деталей, др. в ряде видов деятельности может быть не пропорциональна удельному весу импорта, используемого в производственном цикле (низкая эластичность замены). К примеру, чрезвычайно значим запрет на экспорт из США, ЕС, Японии оборудования для системообразующих отраслей – нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Круг критически важных поставок затрагивает также электронику, фармацевтику, химию, авиастроение, автомобилестроение и др. Доля стран-санкционеров в общем импорте около 60% в промежуточном потреблении; она выше средней в указанных выше отраслях и в секторе телекоммуникационных технологий и IT [12, с. 21].

В целом по экономике зависимость от импорта «санкционеров» составляет примерно 12% [8]. Однако ввиду ограниченности данных Федеральной таможенной службы по сектору услуг, оценки зависимости могут быть занижены, тогда как импортируемые высокотехнологичные услуги (IT, инжиниринг, дизайн, обслуживание, ремонт) занимают заметный вес в источниках производства (табл. 1). В структуре импортных компонент в производстве выявляется критическая зависимость (российских аналогов нет, а выбор зарубежных ограничен) от категории услуг, связанных в большей части с IT. Например, иностранное программное обеспечение (ПО) применяется в конструировании и управлении (ERP, CAD/CAM/CAE, PLM, MES), ему нет замены.

<sup>5</sup> Соломенцева П. From Russia with love: все единороги с российскими корнями. URL: <https://rb.ru/list/unicorns-from-russia/>



Рис. 1. Удельный вес отечественных продуктов в потреблении по видам деятельности (2014–2021), %

Fig. 1. Share of domestic products in consumption by type of activity (2014–2021), %

Источник: НИУ ВШЭ, 2023 по данным Минпромторга<sup>6</sup>

**Таблица 1. Доля российских предприятий, испытывающих критическую зависимость по категориям импорта (2018), %**

**Table 1. Share of Russian enterprises experiencing critical dependency by import category (2018), %**

ОТРАСЛЬ	ДЕТАЛИ И КОМПОНЕНТЫ	МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	ТЕХНОЛОГИИ	УСЛУГИ (ИНЖИНИРИНГ, ДИЗАЙН, ОБСЛУЖИВАНИЕ, РЕМОНТ)
Производство пищевых продуктов	33.7%	29.7%	42.8%	45.0%
Производство текстильных изделий	27.0%	27.0%	32.4%	38.9%
Производство одежды	43.9%	36.8%	46.6%	52.5%
Производство кожи и изделий из кожи	15.8%	21.1%	33.3%	42.1%
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки	34.4%	28.9%	43.5%	50.0%
Производство бумаги и бумажных изделий	23.1%	20.5%	22.5%	35.0%
Производство химических веществ и химических продуктов	29.6%	24.3%	36.1%	40.8%
Производство лекарственных средств и материалов	25.0%	22.2%	34.6%	34.6%
Производство резиновых и пластмассовых изделий	27.3%	27.9%	38.5%	45.9%
Производство прочей неметаллической минеральной продукции	33.5%	29.7%	41.3%	44.1%
Производство металлургическое	20.5%	17.5%	28.2%	35.9%
Производство готовых металлических изделий	28.8%	27.2%	31.0%	45.8%
Производство компьютеров, электронных и оптических изделий	23.1%	30.3%	50.0%	55.6%
Производство электрического оборудования	27.8%	27.4%	33.8%	46.5%
Производство машин и оборудования	25.2%	32.0%	40.2%	46.4%
Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	22.9%	27.3%	42.4%	57.6%
Производство прочих транспортных средств и оборудования	16.1%	24.1%	31.0%	46.7%
Производство мебели	27.6%	26.3%	35.1%	55.1%

Источник: НИУ ВШЭ, 2023. С. 5.

В 2022 г. в целом технологическая зависимость РФ составляла 68,7%<sup>7</sup>. Ужесточение санкций против РФ и уход значительной части компаний в сфере ИТ обострили необходимость в критических технологиях для непрерывности производственного цикла и реализации национальных целей в создании сквозных технологий, большинство из которых связано с ИТ.

Правительственные меры, в т.ч. для ИТ-компаний и сотрудников (налоговые и кредитные преференции, моратории на проверки, льготная ипотека, гранты, др.<sup>8</sup>) помогают сохранить устойчивость экономики в краткосрочном периоде. Созданы 35 индустриальных центров компетенций,

<sup>6</sup> Импортзамещение в России: вчера и завтра. НИУ ВШЭ. 2023. С. 4. URL: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/814560067.pdf>

<sup>7</sup> Концепция технологического суверенитета, 2023. Указ. соч.

<sup>8</sup> О мерах по обеспечению ускоренного развития отрасли информационных технологий в России. Указ Президента РФ от 02.03.2022. URL: <http://kremlin.ru/acts/news/67893>

12 центров компетенций в сфере ПО, они аккумулируют существующие технико-технологические решения и людей, владеющих ими. Предусмотрены субсидии активного замещения цифровых решений и продуктов ИТ.

В перспективе компенсация фактора зависимости от импорта как ограничителя экономического роста возможна, по мнению А.А. Широва, только при условии ускорения факторов технологического развития [33].

В связи с этим возможны два варианта модели ТС, различных (1) по горизонту и глубине преобразований; (2) по содержанию (продуктовая независимость, технологическая, экономическая); (3) по способам и механизмам реализации. 1. Кардинальная трансформация экономической модели и перестройка цепочек стоимости, ориентированных на «дружественные» и нейтральные страны. 2. Закрытая экономика, работающая по принципу – максимально заместить импорт, иметь и использовать все свое. В первом случае фундаментальные изменения затронут ключевые секторы общественной системы, включая модели бизнеса и финансирования проектов, институты, организационную и инновационную культуру с «прицелом» на снижение неопределенности, устойчивость, конкурентоспособность. Во втором случае локальные решения направлены на «расширение» узких мест для сохранения непрерывности производственного цикла. Такой сценарий означает «джернериковую» модель и ведет к упрощению продукта, технологическому регрессу, снижению интеллектуального потенциала соответствующим последствиям для спроса, структуры экономики, занятости – к краткосрочной, но не долгосрочной ТС.

Выбор модели обусловлен имеющимся потенциалом, возможностями и ограничениями в сфере основных производственных факторов: на какие преимущества можно опереться в достижении ТС, в частности в ИТ. Результаты анализа обнаруживают источники стратегической модели ТС: высокая квалификация занятых, сильные научные школы, хорошая образовательная подготовка, в т.ч. в физмат-школах, наличие талантливых специалистов в сфере ИТ, опыт применения ИТ в сфере электронных госуслуг; однако есть ряд препятствий (табл. 2). Поэтому нужны изменения в обществе: в головах, культуре, институтах, управлении, технологиях, финансировании, проектах. С этой точки зрения, следует предусмотреть возможности и слабости на разных уровнях иерархии.

**Таблица 2. Возможности и ограничения для технологического суверенитета в сфере ИТ**  
**Table 2. Opportunities and limitations for technological sovereignty in IT**

Возможности	Ограничения
Научные школы: инженерная, физико-математическая	Слабые горизонтальные и вертикальные связи
Работающие электронные платформы макроуровня («Электронное правительство»)	Плохо предсказуемая макро-политика в отношении к предпринимательству
Образовательный фундамент	Отсутствие навыков работы с отечественным ПО
Специалисты ИТ, программисты, интеграторы	Отсутствие доверия к российскому ПО
Терпение	Недостаток сервисных функций
Оптимизм и смекалка	Финансовые ограничения замены ПО
Индустриальные центры компетенций (ИЦК), в т.ч. ЦК по глобальной ИТ-кооперации (2020)	Масштабы замены, ремонта процессоров – во всех видах деятельности и в быту
Реестр российского ПО 16 372 ед., в т.ч.: Low code/no code, «Гостех», информационная безопасность, BI, CRM, документооборот	Значительные масштабы использования иностранного ПО (80%), в т.ч. в крупном бизнесе (95%)

Источник: составлено автором.

Наличие определенного научно-образовательного потенциала создает достаточные предпосылки для реализации первого варианта модели на основе технологических платформ и углубления сотрудничества компаний-поставщиков и компаний-заказчиков.

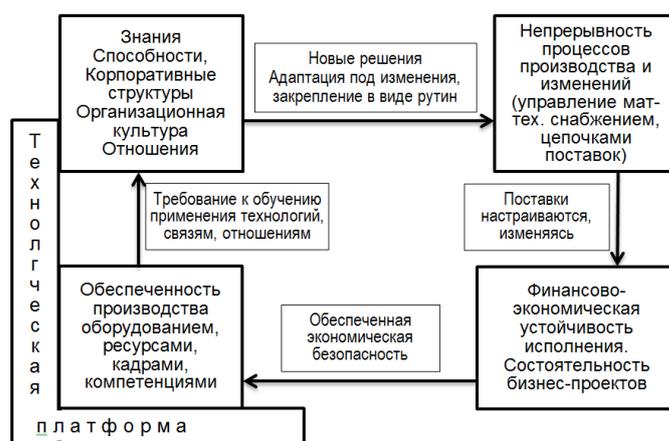


Рис. 2. Модель технологической платформы

Fig. 2. Technology platform model

Источник: разработано автором

Для перехода на российское ПО запущена платформа «эффективность.рф»<sup>9</sup>. Механизм в сотрудничестве трех акторов (предприятия, разработчики ИТ, эксперты) позволяет подобрать и внедрить подходящее решение за 3 этапа: 1) сравнительная диагностика предприятия и зависимости от импорта; 2) подбор решений из витрины возможного ПО, пошаговый план внедрения, в т.ч. определение рисков, мер предотвращения, оценка затрат, подбор доступных мер поддержки из реестра (2600 видов); 3) внедрение путем сопровождения и управления проектом (выбор поставщиков решений ИТ с лучшей ценой и минимальными рисками; контроль применения средств поддержки; обучение и аналитика). Затраты включают только оплату услуг вендора и самого продукта ИТ.

Варианты моделей, предназначенных для изучения и перестройки отношений между ними, рассматриваются ниже применительно к сфере ИТ в условиях санкций. Для перехода на отечественное ПО и оборудование могут быть использованы технологические платформы – партнерские «клубы» участников из разных видов деятельности, типа маркетплейсов для подбора ресурсов, запчастей, ПО, оборудования (труб, компьютеров, др.) [21], к примеру, ПО для управления поставками и закупки оборудования или логистики («грузовое такси»). Такой тип отношений помогает компаниям, объединенным в рамках платформы, настроиться на изменения и адаптироваться к новым условиям среды (рис. 2).

Как это работает. По мере нахождения новых технологических решений в процессе сотрудничества меняются принципиально способности и *отношения* сторон: формируются новые корпоративные структуры, организационная культура, способствующие не только непрерывности производственных процессов, но также улучшению финансово-экономического состояния компании, что расширяет компетенции для развития компании и ресурсные возможности для роста производства.

В результате такого способа объединения компетенций компания не ухудшает потенциал роста и развития в отсутствии нужных технологий и способна делать собственный выбор, как функционировать во времени и пространстве. Тогда ТС на микроуровне можно интерпретировать как способность к динамической обеспеченности (во времени) таким набором знаний, информации, технологий, программных продуктов, людей-профессионалов, отношений между стейкхолдерами, которая поможет (а) нивелировать негативные внешние воздействия (в т.ч. плохо предсказуемые), (б) меняться, подстраиваться эффективно без потерь.

<sup>9</sup> Глицевич А.Н. Платформа цифровых решений «эффективность.рф», 2023. URL: [https://disk.yandex.ru/d/\\_yuOWORL4nZ1vA](https://disk.yandex.ru/d/_yuOWORL4nZ1vA); URL: <https://invest.mosreg.ru/press/news/2150>



Рис. 3. Карта IT-решений технологической платформы

Fig. 3. IT-solutions map for technology platform

Источник: «Аладдин Р.Д.»<sup>10</sup>

Приведем одну из карт для платформенных IT решений (рис. 3).

Объединение компаний-заказчиков и вендоров в коллаборативной платформе цифрового типа [23] – более продвинутый вариант в виде коллаборативной модели консорциума (рис. 4). Объединение бюджетов компаний и/или объединение их с инвесторами и даже с банками представляет собой модель стратегического партнерства (см. рис. 4).

Новые технологические решения могут потребовать принципиально новых знаний, кадров, технологий, которых на платформе нет, но они могут быть получены путем обращения к научно-образовательному сектору. Для открытия новых учебных курсов, программ и финансирования требуется также участие органов власти, бюджетной системы, т.к. нужны нормативно-правовые изменения, поддержка, стимулы для новых организационных форм отношений. Интеграция может быть осуществлена в форме консорциума – объединения научно-производственных, сбытовых и др. организаций (вузы, НИИ, венчурные компании) и потребителей<sup>11</sup> [11, 23]. Стратегические партнерства возможны в пределах, как российской юрисдикции, так и в большей мере, с зарубежными партнерами (например, БРИКС). Решения, сбалансированные по всему кругу участников, могут дать синергию.

Таким образом, в процесс повышения ТС вовлечены ключевые сектора общественной системы и представляющие их коллективные акторы: экономические организации; наука и образование; государство в лице законодательной и исполнительной власти; финансовый бизнес. Коллаборативные платформы консолидируют участников на основе понимания ценности сотрудничества; – совместное решение проблем возможно и эффективно путем объединения знаний, НИОКР, ресурсов. Взаимно дополняющий обмен ресурсами и способностями замыкает жизненный цикл **в форме экосистемы как основы суверенности любого типа**, не только технологической, но также финансово-экономической, информационной, социокультурной, достижимой в результате согласования интересов сторон.

Предпосылки экосистемной модели отношений объективно обусловлены тенденциями гуманитарно-технологического развития:

<sup>10</sup> Аладдин. URL: <https://www.aladdin-rd.ru/catalog/>

<sup>11</sup> Стратегия развития электронной промышленности. 17.01.2020



Рис. 4. Модели взаимодействия коллективных акторов в макросистеме:

1) коллаборативная платформа; 2) стратегическое партнерство

Fig. 4. Models of interactions of collective actors within a macrosystem: 1) Collaborative platform; 2) Strategic partnership

Источник: разработано автором

- усложнение и дороговизна технологий Четвертой НТР;
- высокие темпы изменения технологий;
- сокращение времени от изобретения до внедрения;
- рост затрат на НИОКР во всех странах по 3-6% в год;
- открытые инновации.

ТС это также вопрос о месте РФ на зарубежных рынках с точки зрения степени мирового влияния, т.е. это лидерство в той или иной мере и в какой-то нише рынка. В связи с этим для усиления ТС есть идея о создании **многополярного мира ИТ** как компоненты национальной ТС — с целью снижения влияния монополиста, контролирующего мировые рынки ИТ (В.Л. Макаров, РУССОФТ<sup>12</sup>). Для многополярного мира нужны крупные совместные решения, России и др. стран, прежде всего, в области кибер-физических систем, чтобы занять заметные ниши рынка и стать «законодателем мод», предложить, распространить и отстаивать свои стандарты. Для выхода на зарубежные рынки В.Л. Макаров предлагает включить ПО в перечень видов деятельности, поддерживаемых Российским экспортным центром.

Несколько противоположная точка зрения касается проблемы информационной безопасности<sup>13</sup>. Кроме того, действует Указ Президента РФ (2022) о запрете экспорта ряда технологий и продуктов (из специального списка), которые могут быть использованы «недружественными» контрагентами.

### Заключение

1. Систематизация эмпирических оценок выявляет критическую зависимость от импорта в следующих видах деятельности и технологиях:

- в конечном потреблении — в инвестиционном машиностроении, вычислительной технике, ПО, медтехнике, фармацевтике;

<sup>12</sup> Технологическая независимость российских производств. 13.10.2022. URL: <https://russoft.org/news/tehnologicheskaya-nezavisimost-rossijskih-proizvodstv/>

<sup>13</sup> Касперская, 26.05.2023.

• в промежуточном потреблении – в технологиях электронного проектирования, конструирования, дизайна, инжиниринга и других операций, связанных с применением специального ПО и процессоров.

2. Относительно сильный интеллектуальный и человеческий потенциал, может быть использован как фактор в замещении импортных НИОКР и ПО; для этого нужно создать благоприятные условия для сохранения кадров.

3. Стимулирующие и ограничительные меры помогают снизить остроту нехватки российских аналогов в краткосрочном периоде, но есть объективные и субъективные препятствия для ТС в перспективе:

- рост сложности продуктов и технологий на фоне ускорения НТП;
- огромные масштабы страны; естественные пределы инфраструктуры;
- износ производственной и приборной базы;
- ограниченность финансовых вложений;
- обычай неисполнения решений в отсутствие ответственности, пр.

4. В выборе между радикальной перестройкой экономики и импортозамещением оптимальным будет гибкая комбинация локальных и стратегических мер и решений, различная для разных видов деятельности.

5. Предприятие выступает ведущей ячейкой структурной трансформации экономики [1, 17]: все самые главные события перехода на российские технологии осуществляются на микроуровне. Многого зависит от лидеров компаний, но нужна благожелательная среда. Создаваемые технологические платформы позволяют объединить игроков.

6. Модели взаимодействий на основе коллаборативных принципов могут способствовать сбалансированным решениям в области ТС на основе самоорганизации и синергии. Для этого нужно сформировать координирующие структуры, институциональное обеспечение, экономические условия, которые смогут заинтересовать игроков.

7. На основе коллаборативных платформ, в т.ч. цифрового типа, стоит создавать сеть научно-проектно-конструкторских институтов [23] в форме исследовательских консорциумов и технологических холдингов.

8. Предложенные модели и механизмы создания конкурентоспособных продуктов могут стать одним из инструментов «упреждения», которые рекомендуется формировать для обеспечения ТС [30, с. 85].

9. Решать проблему ТС следует, руководствуясь положениями системной экономической парадигмы, поскольку в центре проблемы – характер отношений в обществе, определяющих степень консолидации и сбалансированности секторов системы для адаптации к изменениям.

10. Предложен подход к перестройке структуры связей в национальной системе и управления технологической суверенностью на основе анализа и синтеза системы в условиях внешних ограничений. Результаты анализа выявляют преимущества в средовой подсистеме, на которые можно опираться в обеспечении ТС в области ИТ. Решение задачи системного синтеза в виде структурно-функциональной модели отношений между ключевыми субъектами ТС включает четыре типа подсистем национальной системы, взаимно дополняющих функционал каждой из них при помощи обмена ресурсами, которыми они обладают, в целях обеспечения нужными технологиями. Существенным моментом сборки элементов является характер отношений между субъектами, коллективными акторами, который позволяет соединить интеллектуальный потенциал, создаваемый в научно-образовательной подсистеме, производство, финансы бизнеса и государственное управление в целях достижения ТС. Реализация коллаборативной модели требует адекватной институциональной и регуляторной поддержки и взаимной заинтересованности сторон.

В отличие от выводов других исследователей, по результатам анализа обоснована трудность, если не невозможность, достигнуть ТС на долгосрочный период в условиях высоких темпов НТП

без фундаментальной трансформации модели экономики, затрагивающей, прежде всего, отношения между коллективными акторами, представителями ключевых секторов общественной системы: государства, бизнеса, экономики, научно-образовательной и социокультурной среды. Обоснованность такого результата базируется на рассмотрении объекта изучения, экономики, в контексте ее взаимодействий с другими системами в ближнем и дальнем окружении. Такое представление отличает используемый подход к конструированию моделей, не ограниченный определением способов замещения импорта, но позволяющий исследовать и создавать механизмы стратегической перестройки отношений на системных принципах сотрудничества и самоорганизации в обмене ресурсами и способностями.

Использование представленных моделей в рамках существующей экономической модели может не принести возможного эффекта в силу сохранения коренных причин рассогласованных взаимодействий. Именно характер отношений представляются нам центральной проблемой ТС в России. Для получения максимальной синергии сотрудничества требуется согласование интересов сторон, которое может быть достигнуто путем принципиальной трансформации производственных отношений. Такое исследование тесно связано с темой технологической независимости.

#### **Направления дальнейших исследований**

ТС – стратегическая проблема, она затрагивает разные стороны функционирования общественной системы и разные области науки и техники, т.е. это междисциплинарная гуманитарно-технологическая, финансово-экономическая и психологическая проблема. Независимость должна быть в головах, науке, культуре. В связи с этим научные решения проблемы ТС следует находить (1) в развитии концепции экосистемной экономики и (2) в области междисциплинарных исследований; практические способы – в применении системного анализа, сфокусированного на специфике экономических объектов, существенно определяющей инструменты стимулирования и механизмы координации взаимодействий ученых, разработчиков, инженеров, конструкторов, инвесторов, предпринимателей, чиновников. Методы системного менеджмента в новых условиях среды и санкций также отнесем к перспективам исследования.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Акмаева Р.И., Бабкин А.В. (2022) О стратегиях развития российских организаций в новой реальности. В книге: *Стратегическое управление устойчивым развитием экономики в новой реальности*. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 121–152.
2. Афанасьев А.А. (2022) «Технологический суверенитет» как научная категория в системе современного знания. *Экономика, предпринимательство и право*, 9, 2377–2394. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.12.9.116243>
3. Варшавский А.Е. (2017) О стратегии научно-технологического развития российской экономики. *Общество и экономика*, 6, 5–27.
4. Варшавский А.Е. (2015) Методические принципы оценивания научно-технологической безопасности России. *Вестник Московского университета. Серия 25: Международные отношения и мировая политика*, 4, 73–100.
5. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. (2019) Технологический прорыв на базе развития цифровой экономики: возможности, проблемы, риски. *Проблемы прогнозирования*, 177 (6), 48–59.
6. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. (2021) Стратегия обеспечения технологического суверенитета российских предприятий в условиях глобальной «цифровой трансформации». *Стратегическое планирование и развитие предприятий. Материалы XXII Всероссийского симпозиума*. М.: ЦЭМИ РАН, 455–458. DOI: <https://doi.org/10.34706/978-5-8211-0796-1-s5-02>
7. Глазьев С.Ю. (2022) Регулирование инновационных процессов в новом технологическом и мирохозяйственном укладах. *Экономическое возрождение России*, 72 (2), 24–27. DOI: <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2022-2-72-24-27>

8. Гнидченко А. (2022) *Сюжеты внешней торговли*. Под научн. ред. В. Сальникова. Вып. 16. М.: Центр макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования. URL: [http://www.forecast.ru/\\_ARCHIVE/WW\\_MONS/2021/16\\_2021.pdf](http://www.forecast.ru/_ARCHIVE/WW_MONS/2021/16_2021.pdf)
9. Голиченко О.Г. (2017) Государственная политика и провалы национальной инновационной системы. *Вопросы экономики*, 2, 97–108. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2017-2-97-108>
10. Голова И.М. (2022) Научно-технический потенциал регионов как основа технологической независимости РФ. *Экономика региона*, 18 (4), 1062–1074. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-7>
11. Дежина И.Г., Пономарев А.К. (2022) Подходы к обеспечению технологической самостоятельности России. *Управление наукой: теория и практика*, 4 (3), 53–68. DOI: <https://doi.org/10.19181/sntp.2022.4.3.5>
12. Карпов Д. (2022) Оценка зависимости России от импорта промежуточной продукции. *Серия докладов об экономических исследованиях Банка России*, 106. М.: Банк России, 2022. URL: [https://cbr.ru/content/document/file/144138/wp\\_106.pdf](https://cbr.ru/content/document/file/144138/wp_106.pdf)
13. Клейнер Г.Б. (2011) Новая теория экономических систем и её приложения. *Вестник Российской академии наук*, 81 (9), 794–811.
14. Клейнер Г.Б. (2013) Какая экономика нужна России и для чего? *Вопросы экономики*, 10, 4–27.
15. Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А. (2019) Системная сбалансированность экономики России: региональный разрез. *Экономика региона*, 15 (2), 309–323. DOI: <https://doi.org/10.17059/2019-2-1>
16. Клепач А.Н., Водоватов Л.Б., Дмитриева Е.А. (2022) Российская наука и технологии: взлет, или прогрессирующее отставание (Часть I). *Проблемы прогнозирования*, 195 (6), 76–93. DOI: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-195-76-93>
17. 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: <https://doi.org/10.18721/JE.15501/>
18. Ковалев С.Г. (2020) Технологическая суверенность России в новейшем мировом порядке. *Философия хозяйства*, 6, 29–47. URL: <http://www.philh.ru/index.php/arkhiv-materialov/teksty/327-s-g-kovalev-tekhnologicheskaya-suverennost-rossii-v-novejshem-mirovom-poryadke>
19. Комков Н.И. (2019) Анализ и оценка перспектив реализации стратегии научно-технологического развития России. *Проблемы прогнозирования*, 176 (5), 73–87.
20. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. (2021) Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик. *Бизнес-информатика*, 15 (2), 7–20. DOI: <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
21. Абдикеев Н.М. (2019) *Методы и модели использования цифровых платформ для обеспечения эффективного функционирования цепочек добавленной стоимости в промышленности*, монография, М.: Изд-во «КноРус», 160.
22. Онищенко Г.Г., Каблов Е.Н., Иванов В.В. (2020) Научно-технологическое развитие России в контексте достижения национальных целей: проблемы и решения. *Инновации*, 260 (6), 3–16. DOI: <https://doi.org/10.26310/2071-3010.2020.260.6.001>
23. Полтерович В.М. (2022) Конкуренция, сотрудничество и удовлетворенность жизнью. Часть 2. Основа лидерства – коллаборативные преимущества. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*, 15 (3), 42–57. DOI: <https://doi.org/10.15838/esc.2022.3.81.2>
24. Самоволева С.А. (2019) Абсорбция технологических знаний как фактор инновационного развития. *Вопросы экономики*, 11, 150–158. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-11-150-158>
25. Сухарев О.С. (2023) Технологическая независимость России: способы обеспечения. *Россия: общество, политика, история*, 6 (1), 24–39. DOI: [https://doi.org/10.56654/ROPI-2023-1\(6\)-24-39](https://doi.org/10.56654/ROPI-2023-1(6)-24-39)
26. Тимофеев И.Н. (2022) Политика санкций против России: новый этап. *Журнал Новой экономической ассоциации*, 55 (3), 198–206. DOI: <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-55-3-11>
27. Толкачев С.А., Комолов О.О. (2019) Государственная политика поддержки обрабатывающих отраслей промышленности России в условиях международных санкций. *Вестник Финансового университета. Гуманитарные науки*, 42, 9 (6), 72–81. DOI: <https://doi.org/10.26794/2226-7867-2019-9-6-72-81>
28. Толкачев С.А., Донцова О.И., Комолов О.О. (2019) Российская промышленность: влияние санкций и перспективы импортозамещения. *Экономика, предпринимательство и право*, 9 (4), 271–288. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.9.4.41512>

29. Толкачев С.А., Удалов И.Д., Темукуев С.А. (2022) Цифровизация обрабатывающей промышленности стран ЕС: приоритет развития киберфизических систем. *Современная Европа*, 108 (1), 169–183. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0201708322010132>
30. Фальцман В.К. (2018) Технологические суверенитеты России. Статистические измерения. *Современная Европа*, 82 (3), 83–91. DOI: <http://dx.doi.org/10.15211/soveurope320188391>
31. Фролов И.Э., Тресорук А.А. (2022) К вопросу о прогнозировании высокотехнологичных производств в современных условиях: теоретико-методологические аспекты. *Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН*, 20, 7–40. DOI: <https://doi.org/10.47711/2076-318-2022-7-40>
32. Цухло С.В. (2018) Импортзамещение в российской промышленности в 2014–2017 гг. *Экономическое развитие России*, 25 (2), 33–36.
33. Широков А.А. (2023) Развитие российской экономики в среднесрочной перспективе: риски и возможности. *Проблемы прогнозирования*, 197 (2), 6–17. DOI: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-6-17>
34. Budnitsky S., Jia L. (2018) Branding Internet sovereignty: digital media and the Chinese – Russian cyberalliance. *European Journal of Cultural Studies*, 21 (5), 594–613. DOI: <https://doi.org/10.1177/1367549417751151>
35. Grant P. (1983) *Technological sovereignty: forgotten factor in the “Hi-Tech” Razzamatazz*. *Critical*.
36. Haché A. (2014) *Technological sovereignty*. *Mouvements*, 79 (3), 38–48.
37. Havercroft J. (2011) *The Captive of Sovereignty*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
38. Martins P.M.G. (2019) Structural Change: Pace, Patterns and Determinants. *Review of Development Economics*, 23, 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1111/rode.12555>
39. Whitten R., Blanquart J., Mays L.C., Merchant F.K. (2022) Russian Risk: Transactions with Russian Banks and Exports to Russia Create Greatest Exposure under New U.S. Ukraine-Related Sanctions. *National Law Review*, XII (56). URL: <https://www.natlawreview.com/article/russian-risk-transactions-russian-banks-and-exports-to-russia-create-greatest>

## REFERENCES

1. Akmaeva R.I., Babkin A.V. (2022) O strategiyakh razvitiya rossiiskikh organizatsii v novoi real'nosti. In book: *Strategicheskoe upravlenie ustoychivym razvitiem ekonomiki v novoi real'nosti*. SPb.: POLITEKH-PRESS, 121–152.
2. Afanas'ev A.A. (2022) «Tekhnologicheskii suverenitet» kak nauchnaya kategoriya v sisteme sovremennogo znaniya. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 9, 2377–2394. DOI: <https://doi.org/10.183-34/epp.12.9.116243>
3. Varshavskii A.E. (2017) O strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya rossiiskoi ekonomiki. *Obshchestvo i ekonomika*, 6, 5–27.
4. Varshavskii A.E. (2015) Metodicheskie printsipy otsenivaniya nauchno-tekhnologicheskoi bezopasnosti Rossii. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 25: Mezhdunarodnye otnosheniya i mirovaya politika*, 4, 73–100.
5. Ganichev N.A., Koshovets O.B. (2019) Tekhnologicheskii proryv na baze razvitiya tsifrovoi ekonomiki: vozmozhnosti, problemy, riski. *Problemy prognozirovaniya*, 177 (6), 48–59.
6. Ganichev N.A., Koshovets O.B. (2021) Strategiya obespecheniya tekhnologicheskogo suvereniteta rossiiskikh predpriyatii v usloviyakh global'noi «tsifrovoi transformatsii». *Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatii. Materialy XXII Vserossiiskogo simpoziuma*. M.: TsEMI RAN, 455–458. DOI: <https://doi.org/10.34706/978-5-8211-0796-1-s5-02>
7. Glaz'ev S.Yu. (2022) Regulirovanie innovatsionnykh protsessov v novom tekhnologicheskome i mirokhozyaistvennom ukladakh. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii*, 72 (2), 24–27. DOI: <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2022-2-72-24-27>
8. Gnidchenko A. (2022) *Syuzhety vneshnei torgovli*. Pod nauchn. red. V. Sal'nikova. Vyp. 16. M.: Tsentr makroekonomicheskogo analiza i kratkosrochnogo prognozirovaniya. URL: [http://www.forecast.ru/\\_ARCHIVE/WW\\_MONS/2021/16\\_2021.pdf](http://www.forecast.ru/_ARCHIVE/WW_MONS/2021/16_2021.pdf)
9. Golichenko O.G. (2017) Gosudarstvennaya politika i provaly natsional'noi innovatsionnoi sistemy. *Voprosy ekonomiki*, 2, 97–108. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2017-2-97-108>

10. Golova I.M. (2022) Nauchno-tehnicheskii potentsial regionov kak osnova tekhnologicheskoi nezavisimosti RF. *Ekonomika regiona*, 18 (4), 1062–1074. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-7>
11. Dezhina I.G., Ponomarev A.K. (2022) Podkhody k obespecheniyu tekhnologicheskoi samosoyatel'nosti Rossii. *Upravlenie nauko: teoriya i praktika*, 4 (3), 53–68. DOI: <https://doi.org/10.19181/sntp.2022.4.3.5>
12. Karpov D. (2022) Otsenka zavisimosti Rossii ot importa promezhutochnoi produktsii. *Seriya dokladov ob ekonomicheskikh issledovaniyakh Banka Rossii*, 106. M.: Bank Rossii, 2022. URL: [https://cbr.ru/content/document/file/144138/wp\\_106.pdf](https://cbr.ru/content/document/file/144138/wp_106.pdf)
13. Kleiner G.B. (2011) Novaya teoriya ekonomicheskikh sistem i ee prilozheniya. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 81 (9), 794–811.
14. Kleiner G.B. (2013) Kakaya ekonomika nuzhna Rossii i dlya chego? *Voprosy ekonomiki*, 10, 4–27.
15. Kleiner G.B., Rybachuk M.A. (2019) Sistemnaya sbalansirovannost' ekonomiki Rossii: regional'nyi razrez. *Ekonomika regiona*, 15 (2), 309–323. DOI: <https://doi.org/10.17059/2019-2-1>
16. Klepach A.N., Vodovatov L.B., Dmitrieva E.A. (2022) Rossiiskaya nauka i tekhnologii: vzlet, ili progressiruyushchee otstavanie (Chast' I). *Problemy prognozirovaniya*, 195 (6), 76–93. DOI: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-195-76-93>
17. Kobzev V.V., Babkin A.V., Skorobogatov A.S. (2022) Tsifrovaya transformatsiya promyshlennykh predpriyatii v usloviyakh novoi real'nosti.  *$\pi$ -Economy*, 15 (5), 7–27. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15501/>
18. Kovalev S.G. (2020) Tekhnologicheskaya suverennost' Rossii v noveishem mirovom poryadke. *Filosofiya khozyaistva*, 6, 29–47. URL: <http://www.philh.ru/index.php/arkhiv-materialov/teksty/327-s-g-kovalev-tekhnologicheskaya-suverennost-rossii-v-noveishem-mirovom-poryadke>
19. Komkov N.I. (2019) Analiz i otsenka perspektiv realizatsii strategii nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossii. *Problemy prognozirovaniya*, 176 (5), 73–87.
20. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2021) Tsifrovoy zavod: metody diskretno-sobytiinogo modelirovaniya i optimizatsii proizvodstvennykh kharakteristik. *Biznes-informatika*, 15 (2), 7–20. DOI: <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
21. Abdikeev N.M. (2019) *Metody i modeli ispol'zovaniya tsifrovyykh platform dlya obespecheniya effektivnogo funktsionirovaniya tsepohek dobavlennoi stoimosti v promyshlennosti*, monografiya, M.: Izd-vo «KnoRus», 160.
22. Onishchenko G.G., Kablov E.N., Ivanov V.V. (2020) Nauchno-tehnologicheskoe razvitie Rossii v kontekste dostizheniya natsional'nykh tselei: problemy i resheniya. *Innovatsii*, 260 (6), 3–16. DOI: <https://doi.org/10.26310/2071-3010.2020.260.6.001>
23. Polterovich V.M. (2022) Konkurentsia, sotrudnichestvo i udovletvorennost' zhizn'yu. Chast' 2. Osnova liderstva – kollaborativnye preimushchestva. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*, 15 (3), 42–57. DOI: <https://doi.org/10.15838/esc.2022.3.81.2>
24. Samovoleva S.A. (2019) Absorbtsiya tekhnologicheskikh znaniy kak faktor innovatsionnogo razvitiya. *Voprosy ekonomiki*, 11, 150–158. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-11-150-158>
25. Sukharev O.S. (2023) Tekhnologicheskaya nezavisimost' Rossii: sposoby obespecheniya. *Rossiya: obshchestvo, politika, istoriya*, 6 (1), 24–39. DOI: [https://doi.org/10.56654/ROPI-2023-1\(6\)-24-39](https://doi.org/10.56654/ROPI-2023-1(6)-24-39)
26. Timofeev I.N. (2022) Politika sanktsii protiv Rossii: novyi etap. *Zhurnal Novoi ekonomicheskoi assotsiatsii*, 55 (3), 198–206. DOI: <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-55-3-11>
27. Tolkachev S.A., Komolov O.O. (2019) Gosudarstvennaya politika podderzhki obrabatyvayushchikh otraslei promyshlennosti Rossii v usloviyakh mezhdunarodnykh sanktsii. *Vestnik Finansovogo universiteta. Gumanitarnye nauki*, 42, 9 (6), 72–81. DOI: <https://doi.org/10.26794/2226-7867-2019-9-6-72-81>
28. Tolkachev S.A., Dontsova O.I., Komolov O.O. (2019) Rossiiskaya promyshlennost': vliyanie sanktsii i perspektivy importozameshcheniya. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 9 (4), 271–288. DOI: <https://doi.org/10.18334/epp.9.4.41512>
29. Tolkachev S.A., Udalov I.D., Temukuev S.A. (2022) Tsifrovizatsiya obrabatyvayushchei promyshlennosti stran ES: prioritet razvitiya kiberfizicheskikh sistem. *Sovremennaya Evropa*, 108(1), 169–183. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0201708322010132>
30. Fal'tsman V.K. (2018) Tekhnologicheskie suverenitety Rossii. Statisticheskie izmereniya. *Sovremennaya Evropa*, 82 (3), 83–91. DOI: <http://dx.doi.org/10.15211/soveurope320188391>
31. Frolov I.E., Tresoruk A.A. (2022) K voprosu o prognozirovanii vysokotekhnologichnykh proizvodstv v sovremennykh usloviyakh: teoretiko-metodologicheskie aspekty. Nauchnye trudy: *Institut*



*narodnokhozyaistvennogo prognozirovaniya RAN*, 20, 7–40. DOI: <https://doi.org/10.47711/2076-318-2022-7-40>

32. Tsukhlo S.V. (2018) Importozameshchenie v rossiiskoi promyshlennosti v 2014-2017 gg. *Ekonomicheskoe razvitie Rossii*, 25 (2), 33–36.

33. Shirov A.A. (2023) Razvitie rossiiskoi ekonomiki v srednesrochnoi perspektive: riski i vozmozhnosti. *Problemy prognozirovaniya*, 197 (2), 6–17. DOI: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-6-17>

34. Budnitsky S., Jia L. (2018) Branding Internet sovereignty: digital media and the Chinese – Russian cyberalliance. *European Journal of Cultural Studies*, 21 (5), 594–613. DOI: <https://doi.org/10.1177/1367549417751151>

35. Grant P. (1983) *Technological sovereignty: forgotten factor in the “Hi-Tech” Razzamatazz*. *Critical*.

36. Haché A. (2014) *Technological sovereignty*. *Mouvements*, 79 (3), 38–48.

37. Havercroft J. (2011) *The Captive of Sovereignty*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

38. Martins P.M.G. (2019) Structural Change: Pace, Patterns and Determinants. *Review of Development Economics*, 23, 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1111/rode.12555>

39. Whitten R., Blanquart J., Mays L.C., Merchant F.K. (2022) Russian Risk: Transactions with Russian Banks and Exports to Russia Create Greatest Exposure under New U.S. Ukraine-Related Sanctions. *National Law Review*, XII (56). URL: <https://www.natlawreview.com/article/russian-risk-transactions-russian-banks-and-exports-to-russia-create-greatest>

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

**НИКОНОВА Алла Александровна**

E-mail: [prettyal@cemi.rssi.ru](mailto:prettyal@cemi.rssi.ru)

**Alla A. NIKONOVA**

E-mail: [prettyal@cemi.rssi.ru](mailto:prettyal@cemi.rssi.ru)

*Поступила: 31.05.2023; Одобрена: 04.07.2023; Принята: 13.07.2023.*

*Submitted: 31.05.2023; Approved: 04.07.2023; Accepted: 13.07.2023.*

# Цифровые технологии и инновации в интеллектуальной экономике

## Digital technologies and innovations in intelligent economy

Научная статья

УДК 519.857.3

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16503>



### ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ КАК ТЕХНОЛОГИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ: ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМОВ

Е.В. Орлова  

Уфимский университет науки и технологий,  
г. Уфа, Российская Федерация

 [ekorl@mail.ru](mailto:ekorl@mail.ru)

**Аннотация.** Обучение с подкреплением, с одной стороны, является классом методов машинного обучения и искусственного интеллекта, а с другой стороны – областью знания, в которой исследуется сама прикладная задача, а также методы ее решения. Одной из таких задач является задача управления социальными и экономическими системами, конструирование оптимального управления с учетом свойств самой системы, таких как разнообразие шкал характеристик изучаемых объектов, неоднородность выборок данных, неполнота и пропуски в данных, стохастичность данных, их мультиколлинеарность и гетероскедастичность. Методы обучения с подкреплением не чувствительны к этим особенностям и могут быть использованы с более высокой эффективностью в различных приложениях экономики, финансов и бизнеса. Обучение с подкреплением ближе всего к способам обучения людей, а решения возникающих проблем можно находить в области биологических самообучающихся систем на основе принципа проб и ошибок. Методы обучения с подкреплением представляет собой вычислительный подход к обучению, в ходе которого субъект управления (агент) обучается в процессе взаимодействия со сложным, динамическим, чаще стохастическим, объектом управления (средой) социально-экономической природы с целью максимизации общего вознаграждения. В процессе моделирования возникает проблема выбора таких алгоритмов обучения, которые адекватно отражают стохастическую динамику моделируемого объекта, и имеют высокую производительность. Бизнес-метрики и метрики качества, приемлемые для оценки качества методов обучения с учителем и без учителя в машинном обучении не вполне пригодны для оценки эффективности методов обучения с подкреплением, так как отсутствуют эмпирические данные для оценки. В работе предложены ряд показателей качества обучения для сгенерированных на основе методов обучения с подкреплением управленческих решений. На примере задачи управления человеческим капиталом предприятия произведено сравнение алгоритмов обучения – DQN, DDQN, SARSA, PRO для конструирования оптимальных траекторий профессионального развития работников предприятия. Осуществлена оценка предложенных показателей качества для всей группы методов обучения и выбран один из алгоритмов с наивысшей производительностью.

**Ключевые слова:** социально-экономические системы, индивидуальные траектории развития работников предприятия, искусственный интеллект, машинное обучение, обучение с подкреплением, качество алгоритмов обучения

**Для цитирования:** Орлова Е.В. (2023) Обучение с подкреплением как технология искусственного интеллекта для решения социально-экономических задач: оценка производительности алгоритмов. П-Economy, 16 (5), 38–50. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16503>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16503>

## REINFORCEMENT LEARNING AS AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY TO SOLVE SOCIO-ECONOMIC PROBLEMS: ALGORITHMS PERFORMANCE ASSESSMENT

E.V. Orlova  

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

 [ekorl@mail.ru](mailto:ekorl@mail.ru)

**Abstract.** Reinforcement learning is a class of machine learning and artificial intelligence methods, a field for the applied problem studied, as well as methods for solving it. One of these problems is management in social and economic systems, designing optimal control taking into account the systems' properties such as variety of characteristics scales, heterogeneity of data samples, incompleteness and gaps in the data, data stochasticity, their multicollinearity and heteroscedasticity. Reinforcement learning methods are not sensitive to these features and can be used with higher efficiency in various applications of economics, finance and business. Reinforcement learning is closest to the way humans learn, and solutions to emerging problems can be found in the field of biological self-learning systems based on the principle of trial and error. Reinforcement learning methods are a computational approach to learning, when the control subject (agent) learns under interaction with a complex, dynamic, often stochastic, control object (environment) like a socio-economic system in order to maximize the total reward. In the process of modeling, the problem of choosing such learning algorithms that adequately reflect the stochastic dynamics of the modeled object and have high performance is very important. Business and quality metrics that are appropriate for assessing the quality of supervised and unsupervised learning methods in machine learning are not entirely suitable for evaluating the effectiveness of reinforcement learning methods, since there is no empirical data for evaluation. The paper proposes a number of quality indicators of training for managerial decisions generated on the basis of training methods with reinforcement learning. We use an example for the corporate human resources management. A comparison for learning algorithms such as DQN, DDQN, SARSA, PRO for designing optimal trajectories for the proficiency training of the personnel is made. An assessment of the proposed quality indicators for the entire group of learning methods is carried out and one of the algorithms with the highest performance is selected.

**Keywords:** socio-economic systems, individual trajectories for employees' development, artificial intelligence, machine learning, reinforcement learning, quality of learning algorithms

**Citation:** Orlova E.V. (2023) Reinforcement Learning as an Artificial Intelligence Technology to Solve Socio-Economic Problems: Algorithms Performance Assessment. *П-Economy*, 16 (5), 38–50. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16503>

### Введение

#### *Актуальность*

Обучение с подкреплением (reinforcement learning, RL) является одним из самых активно изучаемых сфер искусственного интеллекта, представляет собой вычислительный подход к обучению в рамках методологии машинного обучения, в ходе которого субъект управления (агент) обучается, взаимодействуя со сложным, динамическим, часто стохастическим объектом управления (средой) с целью максимизации общего вознаграждения.

Для формализации задач последовательного принятия решений, когда последствия действий не детерминированы, используется марковский процесс принятия решений (markov decision process, MDP). Модель MDP определяет стохастическую динамику описываемой системы, а также полезность, связанную с эволюцией и со стратегий принятия решений. Этот класс задач разрешается с помощью алгоритмов RL, на основе которых агенты учатся, используя метод проб и

ошибок. RL как класс методов машинного обучения и искусственного интеллекта, использует теорию оптимального управления и понятие марковского процесса принятия решений. RL появился еще в 1950-х годах в контексте динамического программирования и квазилинейных уравнений Беллмана. Задача RL может быть представлена в виде системы, состоящей из агента (управляемой подсистемы) и среды (подсистемы управления). Системы RL реализуют цикл управления с обратной связью, где агент и среда обмениваются сигналами, при этом агент стремится максимизировать целевую функцию. Обе стороны взаимодействуют непрерывно: агент выбирает действия, а среда реагирует на эти действия и предлагает агенту новые ситуации. Среда генерирует вознаграждения – числовые значения, которые агент стремится со временем максимизировать посредством выбора действий.

Одной из проблем, возникающих при подборе необходимых алгоритмов обучения, является оценка их качества, производительности. Метрики, используемые в машинном обучении, не вполне пригодны для RL, так как отсутствуют обучающие выборки, то есть эмпирические данные [1, 2]. Сопоставление фактических и модельных результатов с помощью метрик машинного обучения, должно быть заменено иными показателями качества.

#### *Цель исследования*

Целью работы является проведение анализа показателей качества методов и алгоритмов RL и выбор приемлемых метрик при исследовании организационных, в том числе социально-экономических систем, в контуре которых присутствует человек как лицо, принимающее решение, и привносящее дополнительную неопределенность в систему. Данная цель декомпозирована на совокупность задач:

- 1) провести анализ решаемых задач и используемых алгоритмов RL в области экономики, финансов и бизнеса;
- 2) показать особенности наиболее часто используемых алгоритмов RL, учитывающих свойства исследуемого класса систем;
- 3) предложить показатели производительности алгоритмов RL применительно к исследованию социально-экономических систем;
- 4) на примере задачи управления человеческим капиталом предприятия провести сравнительную оценку производительности алгоритм RL.

#### *Литературный обзор*

Приложения систем обучения с подкреплением в организационных и социально-экономических системах разнообразны, связаны с задачами оптимизации (динамического программирования) процессов и систем. Новейшие исследования в области управления таким классом систем представлены ниже:

- в области промышленности, менеджмента RL используется по всему спектру задач управления ресурсами [3, 4], разработки принципов календарного планирования производства [5], разработке планов пополнения запасов, устанавливающих момент и объем пополнения запасов, разработке логистических маршрутов и цепочек поставок [6, 7];
- в робототехнике RL имеет множество приложений, включая улучшение движения, разработку автономных транспортных средств [8, 9].
- RL улучшают управление движением на дорогах и используется в алгоритмах управления умными городами [10];
- множество приложений RL в области здравоохранения используются для формирования схем расчета и дозирования лекарственных средств [11];
- при конструировании систем образования и электронного обучения, которые могут повысить свою эффективность за счет подбора учебных программ на базе RL [12].

В табл. 1 приведены приложения RL в области экономики, финансов и бизнеса, сгруппированные по общности используемых методов и алгоритмов обучения.

**Таблица 1. Анализ решаемых задач и используемых алгоритмов RL в области экономики, финансов и бизнеса**  
**Table 1. Analysis of the problems and the RL algorithms used in the field of economics, finance and business**

Решаемая задача	Алгоритм	Ссылка на источник
Биржевая торговля Разработка стратегии принятия решений	DDPG (Deteministic Policy Gradirmt) Adaptive DDPG DQN (Deep Q-networks) RCNN (Recurrent Convolutional Neural Networks)	[13–16]
Управление инвестиционным портфелем (в том числе на рынках криптовалют) Задача алгоритмической торговли Оптимизация портфеля	DDPG Model-less CNN Model-free Model-based	[17–19]
Онлайн торговля и ритейл Разработка рекомендательных систем Разработка алгоритмов динамического ценообразования (в реальном времени)	Actor-critic method SS-RTB method (Sponsored Search Real-Time Bidding) (аукцион, построенный в реальном времени с привлечением спонсоров) DDPG DQN	[20–22]

В задачах управления человеческими ресурсами на уровне предприятия методы RL до сих пор не использовались. Предложенный автором методологический подход [23, 24] к управлению человеческим капиталом на основе индивидуализации управленческих решений, связанных с развитием потенциала работников, использует методы RL для выработки оптимальных стратегий по управлению человеческим капиталом предприятия.

### Методы и материалы

Теоретико-методологической базой исследования служат труды зарубежных и отечественных исследователей, связанных с машинным обучением, обучением с подкреплением, изучением человеческого капитала и его влиянию на эффективность производственно-экономических систем. Используются общенаучные методы системного анализа, оптимального управления, теории принятия решений, стратегического управления, методы математического и компьютерного моделирования.

### Описание алгоритмов обучения агента

Алгоритм обучения с подкреплением представляет собой последовательность адаптированных процедур, соответствующих динамическому изменению состояния системы. Таким образом, стратегия управления, разработанная на основе метода обучения с подкреплением, будет динамически меняться с течением времени по мере накопления наблюдений.

При построении алгоритмов RL важное значение имеет представление среды, то есть объекта управления. Различают алгоритмы, основанные на модели среды (model-based algorithm) и не использующие модели среды (model-free algorithm). Модель описывает поведение среды, предсказывает следующее ее состояние и вознаграждение для данных состояния и действия. Если модель известна, то для взаимодействия со средой в качестве выработки рекомендации будущих действий можно использовать алгоритмы планирования. Например, в средах с дискретными действиями потенциальные траектории можно смоделировать, применяя поиск по дереву методом Монте-Карло. Модель среды может быть либо задана заранее, либо обучена посредством взаимо-

действия с ней. Если среда сложная, динамичная, плохоформализуемая, то ее в процессе обучения можно аппроксимировать глубокой нейронной сетью.

Среда, представленная в виде марковского процесса принятия решения и гибкие алгоритмы RL реализуют способ последовательного принятия решений, когда выбранное действие влияет на следующие состояния объекта управления и результаты воздействия решений. Оптимальная стратегия достижения поставленной цели вырабатывается посредством взаимодействия объекта и субъекта управления.

В работе используются алгоритмы следующих классов – алгоритмы, основанные на полезности, алгоритмы, основанные на стратегии и комбинированные алгоритмы.

#### Алгоритмы, основанные на полезности (DQN-алгоритмы)

С использованием данных алгоритмов агент настраивает либо  $V^\pi(s)$  (функцию ценности состояния  $s$  при стратегии  $\pi$ ) либо  $Q^\pi(s, a)$  (функция ценности действия  $a$  в состоянии  $s$  при стратегии  $\pi$ ). Настраиваемая функция полезности используется для оценки пар  $(s, a)$  и порождения стратегии агента.

Алгоритм DQN (Deep Q-Networks) как алгоритм обучения глубоких нейронных сетей, основан на полезностях и методе временных различий, который аппроксимирует  $Q$ -функцию. Настраиваемая  $Q$ -функция используется агентом для выбора действий. Применяется для дискретного пространства действий.

$Q$ -обучение основано на ценности действия, это алгоритм с разделенной стратегией. Для обновления текущей стратегии используется опыт, накопленный при реализации разных стратегий (не только текущей). В  $Q$ -обучении две стратегии: целевая (постоянно улучшается) и поведенческая  $\epsilon$  – жадная, используемая для взаимодействия со средой. Агент на основе сведений о состоянии объекта управления  $s_t$  и полученном из среды вознаграждении  $r_t$  за действие  $a_t$ , переведшее состояние объекта в следующее состояние, вычисляет значение функции  $Q(s, a)$  оценивающее ценность действия  $a_t$  в состоянии  $s_t$ . Настройка  $Q$ -функции осуществляется с помощью метода  $TD$ -обучения (метода временных различий), значение функции обновляется на накопленные дисконтированные будущие вознаграждения и определяет принцип оптимальности Беллмана:

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha \left[ r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t) \right], \quad (1)$$

где  $\alpha$  – скорость обучения функции ценности (при  $\alpha < 1$  осуществляется приближение старого состояния к новому, при  $\alpha = 1$  осуществляется замена старого состояния новым);  $r_{t+1}$  – награды, полученные из среды, за действия  $a_t$  из состояния  $s_t$ ;  $\gamma$  – коэффициент дисконтирования;  $\max_a Q(s_{t+1}, a)$  – максимальное ожидаемое значение из состояния  $s_{t+1}$  (новое значение);  $Q(s_t, a_t)$  – предыдущая оценка  $Q$ -значения (старое значение).

Полученные  $Q$ -значения используются для обучения агента и для определения следующего действия. Для этого используется нейронная сеть (сеть полезности, value networks), которая оценивает  $Q$ -значения пар  $(s, a)$  и выбирает действия с максимальным  $Q$ -значением (максимальной полезностью):

$$Q_{target}^\pi(s, a) = r + \gamma \max_{a'} Q^{\pi_0}(s', a'). \quad (2)$$

У алгоритма SARSA идея такая же за исключением того, что алгоритм DQN рассчитывает функцию полезности за несколько временных шагов, то есть буферизует опыт. Алгоритм DQN реализует вычисления по множеству пакетов данных, это увеличивает вычислительную нагрузку на вычислительную систему, но при этом может значительно ускорить обучение. Если  $Q^{\pi_0}$  со-

держит ошибки, то вычисленное максимальное значения  $\max Q^{\pi_0}$  будет смещенным вправо и полученные итоговые  $Q$ -значения окажутся завышенными.

Для предотвращения ошибок в максимизации в  $Q$ -обучении и повышения устойчивости обучения используется алгоритм двойного  $Q$ -обучения. В алгоритме DQN для выбора действия и получения оценки  $Q$ -функции используется одна и та же нейронная сеть. В алгоритме двойной DQN (double DQN, DDQN) применяется две нейронные сети. Первая сеть обучаемая  $\theta$ -сеть используется для выбора действия  $a$ , вторая сеть прогнозная  $\phi$ -сеть используется для расчета  $Q$ -значения для пар  $(s, a)$ , то есть для оценки этого действия  $a$ . Эти две сети обучаются на пересекающихся прецедентах. Применение прогнозной сети позволяет сделать обучение более устойчивым благодаря снижению скорости изменения целевого  $Q$ -значения  $Q_{target}^{\pi}$  :

$$Q_{target}^{\pi}(s, a) = r + \gamma Q^{\pi_0}(s'_i, \max_{a'_i} Q^{\pi_0}(s'_i, a'_i)). \quad (3)$$

Применение двух сетей в данном алгоритме могут замедлять процесс обучения, если параметры  $\theta$  и  $\phi$  являются очень близкими значениями, в этом случае обучение может быть неустойчивым, но если  $\phi$  меняется слишком медленно, процесс обучения может замедлиться. Для поиска разумного соотношения между устойчивостью и скоростью обучения нужно настраивать гиперпараметр – частоту  $F$ , управляющий скоростью изменения  $\phi$ .

#### Алгоритмы, основанные на стратегии (REINFORCE)

Данный класс алгоритмов предназначен для настраивания стратегии  $\pi$ . Хорошие состояния должны порождать действия, обеспечивающие траектории  $\tau$ , которые максимизируют целевую функцию агента  $J(\tau)$  как сумму дисконтированных вознаграждений, усредненную по нескольким эпизодам:

$$J(\tau) = E_{\tau} [R(\tau)] = E_{\tau} \left[ \sum_{t=0}^T \gamma^t r_t \right], \quad (4)$$

где  $J(\tau)$  – сумма дисконтированных вознаграждений за временные шаги  $t = 0, \dots, T$ , целевая функция  $J(\tau)$  – это отдача, усредненная по нескольким эпизодам (повторным прогонам).

Агенту нужно действовать в среде, а действия, который будут оптимальными в данный момент, зависят от состояния. Функция стратегии  $\pi$  принимает на входе состояние, а на выходе выдает действие  $a \sim \pi(s)$ . То есть агент может принимать эффективные решения в разных ситуациях.

Алгоритм строит параметризованную стратегию, которая получает вероятности действия по состояниям среды. Агент использует эту стратегию, чтобы действовать в среде. Представляют собой алгоритмы градиента стратегии, в которой для максимизации целевой функции ценности состояния используется ее градиент, который применяется для корректировки весов нейросети обратного распространения ошибки. Способ вычисления ошибки (потерь) основан на теореме о градиенте стратегии. В алгоритме не используется прошлый опыт: весь опыт, накопленный при следовании текущей стратегии, отбрасывается после перехода к другой стратегии. Оптимизация выполняется на основе пакета данных, сформированных на основании текущей реализованной и сохраненной траектории. Пакет данных включает все переходы. Процедура оптимизации заключается в обновлении весов нейросети в результате обратного распространения ошибки, полученной на обучающем пакете данных.

#### Комбинированные алгоритмы (PRO)

Алгоритм PRO (Proximal Policy Optimization, проксимальная оптимизация стратегии) представляет собой метод градиента стратегии с преобразованием целевой функции. Он комбинирует

алгоритм REINFORCE и алгоритм актора-критика. Существует два варианта выбора функции потерь: 1 – на основе расстояния Кульбака-Лейблера (с адаптивной штрафной функцией), 2 – на основе усеченной целевой функции. Применение преобразования целевой функции для стратегии может повысить устойчивость и эффективность выборок в процессе обучения за счет меньшей затратности вычислительных ресурсов и более высокой производительности. Однако есть и недостатки этого алгоритма, например, низкая чувствительность к гиперпараметру  $\epsilon$ , что дает близкие значения производительности при разных значениях этого параметра.

## Результаты и обсуждение

### Показатели производительности алгоритмов RL

Обучение с подкреплением представляет собой машинное обучение, в которой нет обучающей выборки, то метрики качества алгоритмов обучения отличаются от метрик качества алгоритмов классификации или регрессии. Кроме бизнес метрик (KPI и других) к метрикам качества классификации относят: Accuracy, Precision, Recall. В случае разбиения на два класса строят матрицы смежности (confusion matrix) с выделением различных исходов – True positives (TP), False positives (FP), True negatives (TN), False negatives (FN). ROC-кривая (Receiver operator characteristic) является часто используемой метрикой для представления результатов бинарной классификации [25]. В случае обработки данных с высокой степенью асимметричности кривая PR (precision-recall) дает более информативную картину точности алгоритма.

К метрикам качества регрессии относят MAE/MAD (Mean Absolute Error, Mean Absolute Deviation) – средний модуль ошибки; MSE/MSD (Mean Squared Error / Deviation) – среднеквадратическая ошибка; RMSE (Root Mean Squared Error) – квадратный корень из метрики MSE, выражается в тех же единицах, что и изучаемый показатель; MAPE (Mean Absolute Percentage Error) – ошибка, выраженная в процентах от самой величины.

Агент обучения с подкреплением может обучаться, взаимодействуя с реальной системой, или с ее имитационной моделью (или ее частью), или с обоими источниками сразу. Имитационная модель реальной системы представляет собой среду, которую агент может исследовать без ограничений. В большинстве современных приложений RL обучение производится на имитированном опыте, поэтому можно сгенерировать неограниченное количество данных с меньшими затратами, чем получение реальной информации о системе. Проблема состоит в том, что имитация реальной системы ограничено достоверна. Особенно это касается организационных систем, то есть сред, динамика которых зависит от поведения людей – производственно-экономических систем, образовательных систем, систем здравоохранения, транспортных систем, систем государственного управления.

Эффективность агента и, соответственно, производительность алгоритма RL можно описать двумя абстрактными эффективностями политики и эффективности обучения. Эффективность политики отражает, насколько хорошо алгоритм решает поставленную задачу. Эффективность обучения измеряет, насколько быстро можно обучить агента формированию оптимальной политики. В задаче с конечным горизонтом классическим способом измерения эффективности политики представляется суммарным вознаграждением. В задачах с бесконечным горизонтом используется дисконтированные вознаграждения.

Для задач управления в сложных дискретных средах с дискретным пространством состояний оценка производительности алгоритмов RL может быть основана на следующих показателях, первый относится к эффективности обучения, остальные – к эффективности политики:

1. Время обучения агента. Алгоритм, у которого время обучения минимально, является более эффективным. Однако оптимальность является асимптотическим результатом, поэтому скорость сходимости к оптимальности иногда более приемлемый показатель.

2. Значения средних вознаграждений. Они рассчитываются как скользящие средние по ряду контрольных точек по полным вознаграждениям, усредненных по результатам нескольких сес-

сий в испытаниях. Значения гиперпараметров в данном случае фиксируются. Алгоритм, имеющий максимальный показатель, является более эффективным.

3. Оценки чувствительности функции потерь (или средних вознаграждений) к изменению гиперпараметров. Определяются значения гиперпараметров, обеспечивающих максимальное среднее вознаграждение.

4. Оценка изменения политики при изменении начального состояния среды. Эффективность надежной политики должно постепенно ухудшаться при наличии неблагоприятных факторов. Политики, у которых есть необследованные области среды, близкие к оптимальной траектории, не являются надежными, так как небольшие отклонения могут привести к состоянию с неопределенной политикой.

5. В обучении онлайн применяется метрика – ошибка алгоритма предсказателя (regret). Измеряется как разница между вознаграждением, если агент вел себя оптимально в ретроспективе, и фактическим вознаграждением, полученным за все время обучения. Данная метрика используется как математический инструмент при формировании алгоритмов на основе политики, где политика оптимизируется, чтобы ограничить ошибку алгоритма предсказателя. Метрика важна концептуально, так как лицо, принимающее решение, опирается на имеющийся у него опыт для вывода причинно-следственных связей и ставит под сомнение полезность долгосрочных решений [26].

6. Статистические показатели [27] представляют собой способы количественной оценки устойчивости политики. Стандартное отклонение полученного вознаграждения по ряду испытаний является показателем устойчивости политики к изменению наблюдений. Для анализа различий между парными выборками, то есть тестируются гипотезы о статистически значимом различии между выборками на основе следующих тестов: параметрический  $t$ -тест Стьюдента (для независимых выборок), непараметрический теста Вилкоксона [28, 29].

### **Численные эксперименты**

В рамках предложенного подхода [23, 24] разработана управленческая схема формирования индивидуальных траекторий развития работников на основе методов обучения с подкреплением с учетом текущего уровня человеческого капитала. Стратегия, которую вырабатывает алгоритм, определяет, как агент выбирает действие в данном состоянии, то есть какие методы управленческого воздействия будут наиболее приемлемыми для данного работника в данный момент времени. Выбирается такое решение (действие), которое максимизирует полное вознаграждение, которое может быть достигнуто из данного состояния, а не действие, которое приносит наибольший немедленный эффект (вознаграждение). Преследуется долгосрочная цель предприятия по улучшению качества человеческого капитала, росту производительности ресурсов и эффективности функционирования предприятия.

Работник представлен как среда, в которой заданы ограничения достижимости цели (конечного состояния среды), начальное состояние, функции переходов состояний, награды за эти переходы. Возможны переходы вправо и вниз, что соответствует перемещению работника на следующий уровень по одному из показателей при реализации управленческих решений в соответствующей группе. Действия дискретные и отражают одно из управленческих решений, предназначенных для данной категории работников. Под решением понимается реализация определенного мероприятия (например, проведение повышения квалификации), направленного на рост человеческого капитала и повышение производительности труда.

Проведена серия экспериментов для нескольких работников с разными значениями ЧК. Для каждого работника (среды) были реализованы различные алгоритмы обучения агента (предприятия), проводилась оценка сходимости алгоритма, и достижения наибольшего вознаграждения. Было проведено несколько имитационных экспериментов. А результате оценены средние суммы вознаграждения, полученные за каждый из 200 эпизодов моделирования. В каждом эпизоде

реализовывалось 50 испытаний. Результаты моделирования характеризуют быструю сходимость алгоритмов – для первого эксперимента использован алгоритм DDQN-обучения, для второго и третьего – алгоритм DQN-обучения, для четвертого эксперимента – алгоритм SARSA-обучения, для пятого – алгоритм PRO.

В табл. 2 представлены результаты оценки двух характеристик производительности алгоритмов – эффективности политики и эффективности обучения агента. Показано, что наилучший результат по этим двух критериям обеспечивает алгоритм DDQN, дающий сравнительно быстрое обучение и положительное вознаграждение. Значения средних вознаграждений, полученные за каждый из 200 эпизодов моделирования, усредненных по 50 испытаниям. Результаты получены со следующими гиперпараметрами:  $\gamma = 0.99$ ,  $\varepsilon = 0.04$ .

**Таблица 2. Результаты оценки эффективности политик и эффективности обучения**  
**Table 2. Results of evaluation of policies and training efficiency**

Алгоритм	Эффективность политики – среднее вознаграждение	Эффективность обучения – скорость сходимости (число эпизодов)
DQN	-0.15	0.27 (53)
DDQN	0.2	0.29 (58)
SARSA	-3.1	0.59 (117)
PRO	-52	–

Таким образом, разработка политик, то есть оптимальных программных мероприятий для работников предприятия в зависимости от рассчитанного значения его человеческого капитала целесообразна и более эффективна на основе агента, обученного с помощью DDQN алгоритма. Реализация предложенных политик позволит повысить качество человеческого капитала предприятия, и обеспечит рост интегральных показателей производственно-экономической деятельности.

### Заключение

Цель, поставленная в работе, достигнута. Задачи управления организационными, в том числе социально-экономическими системами могут быть представлены как задачи управления в сложных дискретных средах с дискретным пространством состояний. Их решение осложняется наличием дополнительной неопределенности, связанной с присутствием человека в контуре системы, действия которого не всегда возможно спрогнозировать. При построении систем поддержки принятия решений на базе алгоритмов RL возникает задача выбора приемлемых алгоритмов не только с точки зрения их адекватности содержанию социально-экономической проблемы, но и обладающих высокой производительностью.

В работе показано, что методы RL имеют доказанную эффективность, когда особенности решаемых задач управления следующие: во-первых, объект управления характеризуется стохастической динамикой своих показателей, а управленческие решения не детерминированы; во-вторых, задачи управления носят стратегический характер; в-третьих, решение задачи управления представляется в виде последовательного принятия решений.

Осуществлен подробный анализ показателей качества методов и алгоритмов RL и на примере задачи управления человеческим капиталом предприятия осуществлен выбор алгоритмов, обладающих максимальной эффективностью выработанной политики и эффективностью обучения.

На основе проведенных экспериментов было показано, что наилучшие результаты в смысле достижения максимальной полезности в кратчайшие сроки обеспечивает алгоритм DDQN на базе Q-обучения, который позволяет решать задачу оптимального управления социально-экономической системой.

### Направления дальнейших исследований

Критически важными задачами при использовании методов и алгоритмов обучения в подкреплении является проектирование сигналов вознаграждения, так как именно они оценивают прогресс в достижении поставленной цели исследования. В последнее время значительно большее внимание исследователей стало уделяться построению функции вознаграждения, состоящей из двух компонент. Первая компонента формирует внутреннюю мотивацию агента, отражая его уровень социальной ответственности за принятые им решения. Вторая компонента связана с внешней мотивацией, она формируется как награда от объекта управления. Синтез таких комплексных наград может значительно улучшить процесс обучения агента за счет улучшения производительности используемых алгоритмов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sutton R.S., Barto A.G. (2020) *Reinforcement Learning. An Introduction*. MIT Press, Cambridge, MA, 552 p.
2. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. (2015) Deep learning. *Nature*. 521 (7553), 436–444. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14539>
3. Ding Q., Jahanshahi H., Wang Y., Bekiros S., Alassafi M.O. (2022) Optimal Reinforcement Learning-Based Control Algorithm for a Class of Nonlinear Macroeconomic Systems. *Mathematics*, 10 (499). DOI: <https://doi.org/10.3390/math10030499>
4. Li Q., Lin T., Yu Q., Du H., Li J., Fu X. (2023) Review of Deep Reinforcement Learning and Its Application in Modern Renewable Power System Control. *Energies*, 16 (4143). DOI: <https://doi.org/10.3390/en16104143>
5. Wang R., Chen Z., Xing Q., Zhang Z., Zhang T. A. (2022) Modified Rainbow-Based Deep Reinforcement Learning Method for Optimal Scheduling of Charging Station. *Sustainability*, 14 (1884). DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031884>
6. Abideen A.Z., Sundram V.P.K., Pyeman J., Othman A.K., Sorooshian S. (2021) Digital Twin Integrated Reinforced Learning in Supply Chain and Logistics. *Logistics*, 5 (84). DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics5040084>
7. Yan Y., Chow A.H., Ho C.P., Kuo Y.H., Wu Q., Ying C. (2022). Reinforcement Learning for Logistics and Supply Chain Management: Methodologies, State of the Art, and Future Opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 162 (102712).
8. Han D., Mulyana B., Stankovic V., Cheng S. A. (2023) Survey on Deep Reinforcement Learning Algorithms for Robotic Manipulation. *Sensors*, 23 (3762). DOI: <https://doi.org/10.3390/s23073762>
9. Orr J., Dutta A. (2023) Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Multi-Robot Applications: A Survey. *Sensors*, 23(3625). DOI: <https://doi.org/10.3390/s23073625>
10. Mohammadi M., Al-Fuqaha A., Guizani M., Oh J. (2018) Semi-supervised deep reinforcement learning in support of IoT and Smart City Services. *IEEE Internet of Things Journal*, 5 (2), 624–635.
11. Yu C., Liu J., Nemati S. (2019) Reinforcement Learning in Healthcare: A Survey. *arXiv:1908.08796*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.08796>
12. Chi M., VanLehn K., Litman D. et al. (2011) Empirically evaluating the application of reinforcement learning to the induction of effective and adaptive pedagogical strategies. *User Model User-Adapted Interaction*, 21, 137–180. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11257-010-9093-1>
13. Azhikodan A.R., Bhat A.G., Jadhav M.V. (2019) Stock Trading Bot Using Deep Reinforcement Learning. *Innovations in Computer Science and Engineering*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 41–49.
14. Пономарев Е.С., Оселедец И.В., Чихоцкий А.С. (2019) Использование обучения с подкреплением в задаче алгоритмической торговли. *Информационные процессы*, 19 (2), 122–131.
15. Гурин А.С., Гурин Я.С., Горохова Р.И., Корчагин С.А., Никитин П.В. (2020) Повышение доходности торгового агента на основе метода Q-learning посредством использования производных финансовых показателей. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 16 (3), 799–809. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202003.799-809>

16. Гатауллин С.Т., Хасаншин И.Я., Никитин П.В., Семенов Д.Н., Круглов В.И., Мельникова А.И. (2021) Различные подходы применения технологии обучения с подкреплением в алгоритмической торговле. *Фундаментальные исследования*, 12, 86–91. DOI: <https://doi.org/10.17513/fr.43158>
17. Jiang Z., Liang J. (2017) Cryptocurrency portfolio management with deep reinforcement learning. In: *Proceedings of the 2017 Intelligent Systems Conference (IntelliSys), London, UK*, 905–913.
18. Yu P., Lee J.S., Kulyatin I., Shi Z., Dasgupta S. (2019) Model-based Deep Reinforcement Learning for Dynamic Portfolio Optimization. *arXiv:1901.08740*.
19. Amirzadeh R., Nazari A., Thiruvady D. (2022) Applying Artificial Intelligence in Cryptocurrency Markets: A Survey. *Algorithms*, 15 (428). DOI: <https://doi.org/10.3390/a15110428>
20. Feng L., Tang R., Li X., Zhang W., Ye Y., Chen H., Guo H., Zhang Y. (2018) Deep reinforcement learning based recommendation with explicit user-item interactions modeling. *arXiv:1810.12027*.
21. Liu J., Zhang Y., Wang X., Deng Y., Wu X. (2019) Dynamic Pricing on E-commerce Platform with Deep Reinforcement Learning. *arXiv:1912.02572*.
22. Zheng G., Zhang F., Zheng Z., Xiang Y., Yuan N.J., Xie X., Li Z. (2018) DRN: A deep reinforcement learning framework for news recommendation. In: *Proceedings of the 2018WorldWideWeb Conference, Lyon, France*, 167–176.
23. Orlova E.V. (2021) Design of Personal Trajectories for Employees' Professional Development in the Knowledge Society under Industry 5.0. *Social Sciences*, 10 (11), 427. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci10110427>
24. Orlova E. V. (2021) Assessment of the Human Capital of an Enterprise and its Management in the Context of the Digital Transformation of the Economy. *Journal of Applied Economic Research*, 20 (4), 666–700. DOI: <https://doi.org/10.15826/vestnik.2021.20.4.026>
25. Orlova E.V. (2021) Methodology and Models for Individuals' Creditworthiness Management Using Digital Footprint Data and Machine Learning Methods. *Mathematics*, 9 (15). DOI: <https://doi.org/10.3390/math9151820>
26. Hung C.C., Lillicrap T., Abramson J., Wu Y., Mirza M., Carnevale F., Ahuja A., Wayne G. (2019) Optimizing agent behavior over long time scales by transporting value. *Nature Communication*. 10 (1), 5223. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13073-w>
27. Colas C., Sigaud O., Oudeyer P.-Y. (2019) A Hitchhiker's Guide to Statistical Comparisons of Reinforcement Learning Algorithms. *arXiv:1904.06979*.
28. Orlova E.V. (2023) Inference of Factors for Labor Productivity Growth Used Randomized Experiment and Statistical Causality. *Mathematics*, 11 (4), 863. DOI: <https://doi.org/10.3390/math11040863>
29. Orlova E.V. (2022) Methodology and Statistical Modeling of Social Capital Influence on Employees' Individual Innovativeness in a Company. *Mathematics*, 10 (11), 1809. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10111809>

## REFERENCES

1. Sutton R.S., Barto A.G. (2020) *Reinforcement Learning. An Introduction*. MIT Press, Cambridge, MA, 552 p.
2. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. (2015) Deep learning. *Nature*. 521 (7553), 436–444. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14539>
3. Ding Q., Jahanshahi H., Wang Y., Bekiros S., Alassafi M.O. (2022) Optimal Reinforcement Learning-Based Control Algorithm for a Class of Nonlinear Macroeconomic Systems. *Mathematics*, 10 (499). DOI: <https://doi.org/10.3390/math10030499>
4. Li Q., Lin T., Yu Q., Du H., Li J., Fu X. (2023) Review of Deep Reinforcement Learning and Its Application in Modern Renewable Power System Control. *Energies*, 16 (4143). DOI: <https://doi.org/10.3390/en16104143>
5. Wang R., Chen Z., Xing Q., Zhang Z., Zhang T. A. (2022) Modified Rainbow-Based Deep Reinforcement Learning Method for Optimal Scheduling of Charging Station. *Sustainability*, 14 (1884). DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031884>
6. Abideen A.Z., Sundram V.P.K., Pyeman J., Othman A.K., Sorooshian S. (2021) Digital Twin Integrated Reinforced Learning in Supply Chain and Logistics. *Logistics*, 5 (84). DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics5040084>

7. Yan Y., Chow A.H., Ho C.P., Kuo Y.H., Wu Q., Ying C. (2022). Reinforcement Learning for Logistics and Supply Chain Management: Methodologies, State of the Art, and Future Opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 162 (102712).
8. Han D., Mulyana B., Stankovic V., Cheng S. A. (2023) Survey on Deep Reinforcement Learning Algorithms for Robotic Manipulation. *Sensors*, 23 (3762). DOI: <https://doi.org/10.3390/s23073762>
9. Orr J., Dutta A. (2023) Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Multi-Robot Applications: A Survey. *Sensors*, 23 (3625). DOI: <https://doi.org/10.3390/s23073625>
10. Mohammadi M., Al-Fuqaha A., Guizani M., Oh J. (2018) Semi-supervised deep reinforcement learning in support of IoT and Smart City Services. *IEEE Internet of Things Journal*, 5 (2), 624–635.
11. Yu C., Liu J., Nemati S. (2019) Reinforcement Learning in Healthcare: A Survey. *arXiv:1908.08796*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.08796>
12. Chi M., VanLehn K., Litman D. et al. (2011) Empirically evaluating the application of reinforcement learning to the induction of effective and adaptive pedagogical strategies. *User Model User-Adapted Interaction*, 21, 137–180. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11257-010-9093-1>
13. Azhikodan A.R., Bhat A.G., Jadhav M.V. (2019) Stock Trading Bot Using Deep Reinforcement Learning. *Innovations in Computer Science and Engineering*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 41–49.
14. Ponomarev E.S., Oseledets I.V., Chikhotskii A.S. (2019) Ispol'zovanie obucheniya s podkrepleniem v zadache algoritmicheskoi trgovli. *Informatsionnye protsessy*, 19 (2), 122–131.
15. Gurin A.S., Gurin Ya.S., Gorokhova R.I., Korchagin S.A., Nikitin P.V. (2020) Povyshenie dokhodnosti torgovogo agenta na osnove metoda Q-learning posredstvom ispol'zovaniya proizvodnykh finansovykh pokazatelei. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*. 16 (3), 799–809. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202003.799-809>
16. Gataullin S.T., Khasanshin I.Ya., Nikitin P.V., Semenov D.N., Kruglov V.I., Mel'nikova A.I. (2021) Razlichnye podkhody primeneniya tekhnologii obucheniya s podkrepleniem v algoritmicheskoi trgovle. *Fundamental'nye issledovaniya*, 12, 86–91. DOI: <https://doi.org/10.17513/fr.43158>
17. Jiang Z., Liang J. (2017) Cryptocurrency portfolio management with deep reinforcement learning. In: *Proceedings of the 2017 Intelligent Systems Conference (IntelliSys), London, UK*, 905–913.
18. Yu P., Lee J.S., Kulyatin I., Shi Z., Dasgupta S. (2019) Model-based Deep Reinforcement Learning for Dynamic Portfolio Optimization. *arXiv:1901.08740*.
19. Amirzadeh R., Nazari A., Thiruvady D. (2022) Applying Artificial Intelligence in Cryptocurrency Markets: A Survey. *Algorithms*, 15 (428). DOI: <https://doi.org/10.3390/a15110428>
20. Feng L., Tang R., Li X., Zhang W., Ye Y., Chen H., Guo H., Zhang Y. (2018) Deep reinforcement learning based recommendation with explicit user-item interactions modeling. *arXiv:1810.12027*.
21. Liu J., Zhang Y., Wang X., Deng Y., Wu X. (2019) Dynamic Pricing on E-commerce Platform with Deep Reinforcement Learning. *arXiv:1912.02572*.
22. Zheng G., Zhang F., Zheng Z., Xiang Y., Yuan N.J., Xie X., Li Z. (2018) DRN: A deep reinforcement learning framework for news recommendation. In: *Proceedings of the 2018 World Wide Web Conference, Lyon, France*, 167–176.
23. Orlova E.V. (2021) Design of Personal Trajectories for Employees' Professional Development in the Knowledge Society under Industry 5.0. *Social Sciences*, 10 (11), 427. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci10110427>
24. Orlova E.V. (2021) Assessment of the Human Capital of an Enterprise and its Management in the Context of the Digital Transformation of the Economy. *Journal of Applied Economic Research*, 20 (4), 666–700. DOI: <https://doi.org/10.15826/vestnik.2021.20.4.026>
25. Orlova E.V. (2021) Methodology and Models for Individuals' Creditworthiness Management Using Digital Footprint Data and Machine Learning Methods. *Mathematics*, 9 (15). DOI: <https://doi.org/10.3390/math9151820>
26. Hung C.C., Lillcrap T., Abramson J., Wu Y., Mirza M., Carnevale F., Ahuja A., Wayne G. (2019) Optimizing agent behavior over long time scales by transporting value. *Nature Communication*. 10 (1), 5223. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13073-w>
27. Colas C., Sigaud O., Oudeyer P.-Y. (2019) A Hitchhiker's Guide to Statistical Comparisons of Reinforcement Learning Algorithms. *arXiv:1904.06979*.
28. Orlova E.V. (2023) Inference of Factors for Labor Productivity Growth Used Randomized Experiment and Statistical Causality. *Mathematics*, 11 (4), 863. DOI: <https://doi.org/10.3390/math-11040863>

29. Orlova E.V. (2022) Methodology and Statistical Modeling of Social Capital Influence on Employees' Individual Innovativeness in a Company. Mathematics, 10 (11), 1809. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10111809>

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR**

**ОРЛОВА Екатерина Владимировна**

E-mail: [ekorl@mail.ru](mailto:ekorl@mail.ru)

**Ekaterina V. ORLOVA**

E-mail: [ekorl@mail.ru](mailto:ekorl@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-6727>

*Поступила: 07.08.2023; Одобрена: 27.09.2023; Принята: 02.10.2023.*

*Submitted: 07.08.2023; Approved: 27.09.2023; Accepted: 02.10.2023.*

Научная статья

УДК 65.012

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16504>



## ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИИ: СУЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ

Г.Ю. Силкина , А.П. Шабан  

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

✉ [14371759@kafedrapik.ru](mailto:14371759@kafedrapik.ru)

**Аннотация.** Цифровизация приобрела тотальный общественно-экономический характер, и это означает, что цифровые инновации возымели масштабное действие – в экономике они выполняют роль базисных, отраслеформирующих, и развивающих инноваций в меру нарастания темпов обновления продуктов и совершенствования бизнес-процессов. Реально сложившаяся ситуация требует осмысления сущности цифровых инноваций, их технологических особенностей и ресурсных возможностей в достижении экономического прогресса. Данное исследование локализует свою предметную область сферой менеджмента в ее общэкономическом и прикладном контексте. Последний рассматривается с позиции обоснования и принятия управленческих решений по обеспечению цифровой трансформации. Выполненный авторами информационно-аналитический обзор позволяет констатировать, что теория цифровой инноватики находится в процессе накопления знаний и становления научных школ. В трудах зарубежных и российских ученых четко прослеживается конвергенция идей цифровизации и инновационного развития экономики, эффект которой обосновывается оценкой потенциала открытых инноваций и сетевых форм организации инновационной деятельности, создания инновационных экосистем, действующих при использовании информационно-коммуникационных технологий в их цифровом формате. Экскурс в экономическую практику доказывает паритетный интерес к научным обоснованиям, разработкам и решениям в реальном и финансовом секторах экономики при соответствующей институциональной поддержке системы государственного регулирования. Объектом данного исследования рассматриваются цифровые инновации, предметом исследования являются сущностные характеристики цифровых инноваций, детерминирующие подходы и методы управления ими. Сущность цифровых инноваций – инноватика, обеспеченная применением цифровых информационных технологий, раскрывается авторами с позиции уточненного ими понятия цифровой экономики как экономического уклада, предполагающего повсеместно формирование цифровых компетенций на уровне хозяйственных систем и их реализацию при обосновании управленческих решений. Характерными чертами цифровой экономики определяются: дата-центричный подход к принятию решений; динамичный конкурентный ландшафт, клиентоцентричность, платформенные бизнес-модели с экосистемной перспективой. В обосновании сущностных характеристик цифровых инноваций авторы исходят из понимания рациональной природы современной организации инновационной деятельности. В рамках статьи уточнен терминологический аппарат введением авторских интерпретацией категорий "цифровая экономика" и "цифровая инновация"; выявлена и обоснована зависимость между ними; определены базовые характеристики цифровых инноваций и их специфические особенности.

**Ключевые слова:** Цифровая экономика, цифровые инновации, открытые инновации, сетевая модель организации инновационной деятельности, цифровые инновационные проекты, гибкие методологии управления

**Для цитирования:** Силкина Г.Ю., Шабан А.П. (2023) Цифровые инновации: сущностные характеристики и особенности. П-Economy, 16 (5), 51–62. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16504>



## DIGITAL INNOVATION: ESSENTIAL CHARACTERISTICS AND FEATURES

G.Yu. Silkina , A.P. Shaban  

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

✉ [14371759@kafedrapik.ru](mailto:14371759@kafedrapik.ru)

**Abstract.** Digitalization has acquired a total socio-economic nature, which means that digital innovations have had a large-scale effect in the economy: they play the role of basic, industry-forming, and developing innovations as the pace of product restock and business process improvement increases. The actual situation requires understanding the essence of digital innovations, their technological features and resource capabilities in achieving economic progress. The subject area of the study is the field of management in its general economic and applied context. The latter is considered from the standpoint of substantiating and making managerial decisions to ensure digital transformation. The information and analytical review carried out by the authors allows us to state that the theory of digital innovation is in the process of accumulating knowledge and developing scientific schools. In the works of foreign and Russian scientists, there is a clear convergence of ideas of digitalization and innovative development of the economy, the effect of which is substantiated by an assessment of the potential of open innovations and network forms of organizing innovative activities, creating innovative ecosystems that operate using information and communication technologies in their digital format. A digression into economic practice proves an equal interest in scientific substantiations, developments and solutions in the real and financial sectors of the economy, with appropriate institutional support from the state regulation system. The object of this study is digital innovation; the subject of the study is the essential characteristics of digital innovation, determining approaches and methods of their management. The essence of digital innovation, that is the innovation ensured by the use of digital information technologies, is revealed by the authors from the perspective of their refined concept of the digital economy as an economic structure, which presupposes the widespread formation of digital competencies at the level of economic systems and their implementation in justifying management decisions. The characteristic features of the digital economy are: data-centric approach to decision making; dynamic competitive landscape, customer-centricity, platform business models with an ecosystem perspective. In substantiating the essential characteristics of digital innovation, the authors proceed from an understanding of the rational nature of the modern organization of innovation activity. Within the framework of the article, the terminological apparatus was clarified by introducing the author's interpretation of the categories "digital economy" and "digital innovation"; the relationship between them is identified and justified; the basic characteristics of digital innovations and their specific features are determined.

**Keywords:** Digital economy, digital innovations, open innovations, network model of organization of innovation activities, digital innovation projects, flexible management methodologies

**Citation:** Silkina G.Yu., Shaban A.P. (2023) Digital innovation: essential characteristics and features. *П-Economy*, 16 (5), 51–62. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16504>

### Введение

Динамизм и сложность текущей социально-экономической обстановки побуждает субъектов хозяйствования к активизации инновационной деятельности и реализации инноваций [1]. Тема инноваций в их цифровом формате стала сегодня одной из наиболее обсуждаемых в научном обществе и деловых кругах. Понятие «цифровые инновации» изучают ученые в сфере информационных технологий, экономики, менеджмента.

Ведущие мировые ученые: Э. Брайнжес, К. Шваб, М. Портер исследуют цифровые инновации в общеэкономическом контексте, обосновывая их значение как ключевого фактора экономического роста и развития общества в целом. Они анализируют технологии, процессы и стратегии,



которые могут помочь компаниям и странам использовать цифровые возможности для достижения своих целей и улучшения жизни людей.

Тема «цифровые инновации» актуальна и для российских авторов: А.А. Аузан, А.В. Бабкин, В.В. Глухов и др. предлагают научной общественности множество публикаций [2–6]. Специалисты НИУ ВШЭ определяют инновации как процесс, охватывающий создание новой технологии и ее применение в решении реальных бизнес-задач, подчеркивая, что сегодня большинство инноваций являются цифровыми [7]; эта мысль прослеживается и в зарубежных публикациях [8].

### Литературный обзор

Б. Хайнингс, Т. Гегенхубер и Р. Гринвуд в статье [9] трактуют цифровые инновации как результат взаимодействия между технологическими возможностями и институциональными условиями. Они анализируют, как институциональные факторы влияют на принятие и реализацию цифровых инноваций в организациях. В публикации «Digital innovation: A review and synthesis» [10] авторы выделяют несколько ключевых направлений исследований: технологические возможности, инновационные процессы, стратегии, принятие решений. М. Кенни в своих работах [11–13] анализирует цифровые инновации в структуре Силиконовой долины, определяет, какие факторы способствуют успеху цифровых стартапов и как они взаимодействуют с другими агентами рынка. В публикации Дж. Караяннис, Д. Кэмпбелл [14] рассматриваются цифровые инновации как инструмент для достижения целей устойчивого развития, анализируется, как цифровые технологии могут помочь решать глобальные проблемы: изменение климата, экологические кризисы и социальная несправедливость.

Детальный анализ совместных инноваций как комплекса мероприятий, нацеленных на решение проблем инновационного развития путем эффективного использования коллективных идей и рационального использования ресурсов, выполнен в [15]. Авторами определены принципы формирования инновационных партнерств, систематизированы формы совместной деятельности: Co-Working, Co-Location, Co-Creation, Collaboration, Co-Innovation, выявлены их преимущества и недостатки.

Содержание рационалистской концепции современной инноватики составляют пользовательские инновации, которые не вписываются в доминирующие на протяжении десятилетий линейные модели инновационной деятельности. Пользовательские инновации иницируются не компаниями, а клиентами, которые берут на себя ведущую роль при внедрении новых и адаптации существующих продуктов и услуг таким образом, чтобы они полнее соответствовали конкретным потребностям пользователей [16].

Ускоренное развитие пользовательских цифровых инноваций, встроенных в общий инновационный процесс, происходит под влиянием доступности средств коммуникации, распространения компьютерного дизайна и т.п. Пользовательские инновации не ограничиваются исключительно бытовым применением, они широко распространены и в промышленности: новое полупроводниковое оборудование, технологии нефтеочистки, продукты ИКТ-сферы и др.

Современная инновационная активность строго дифференцирована; наиболее продвинутой областью в этой сфере – промышленность. Российские эксперты к передовым относят предприятия высокотехнологичных отраслей (авиационная промышленность, ракетно-космическая промышленность, судостроение, атомная промышленность), а также нефтегазовой, нефтехимической отраслей, металлургии [7; 17]. Инновационные цифровые технологии, активно внедряемые на промышленных предприятиях: робототехника, 3D/4D/5D-печать, нейротехнологии, искусственный интеллект, машинное обучение, виртуальная и дополненная реальность, технологии цифровых двойников.

Анализ практического опыта показывает: в промышленном секторе отечественной экономики нарастает тенденция коллективного генерирования творческих проблем, что привле-

ло к появлению новой категории инструментальных средств, известных как Computer-Aided Innovations, CAI [18].

Авторский коллектив в рамках статьи «Применение цифровых технологий в банковском секторе экономики» [19] рассматривает влияние цифровых инноваций на банковскую сферу в России. Одними из наиболее радикальных являются инновации платежных систем, завершающие процесс дематериализации денег, которые теперь сами по себе принимают форму цифровых потоков через компьютерные сети [20]. Формируемый на основе цифровых денег цифровой банкинг является качественно новой, инновационной формой банкинга.

Все больше компаний присоединяется к глобальной повестке ООН по построению более устойчивого мира за счет реализации цифровых инноваций [21].

Современные инновации в государственном управлении включают автоматизацию, технологическую составляющую, касаются технической поддержки деятельности служащих, наращиванию их профессиональных компетенций. Пользовательские инновации в государственном управлении опираются на технологии больших данных, искусственный интеллект, облачные ресурсы, распределенные учетные системы.

Цифровая трансформация коснулась и образовательных систем, меняя образовательный ландшафт, оказывая решающее воздействие на формирование и развитие человеческого потенциала. Инновационные процессы в образовательной сфере ориентированы на предоставление каждому обучающемуся возможность овладения компетенциями, необходимыми человеку XXI века: цифровой грамотностью, критическим мышлением, способностью к самообучению [22; 23]. Содержание инновационной деятельности в образовании – это обновление программ образования, образовательных технологий, организационных форм образовательной деятельности и методов оценивания ее результатов, формирование новых моделей работы образовательных учреждений.

Взрывной рост инновационной активности наблюдается в сфере здравоохранения; его обеспечивают новые решения в области сенсорики и робототехники, беспроводной связи, дополненной и виртуальной реальности, искусственного интеллекта. Прорывные технологические инновации в области цифрового здравоохранения: хирургические системы с использованием технологий дополненной реальности, API обратной биологической связи, искусственный интеллект для ранней постановки диагноза, здравоохранение по требованию, искусственный интеллект для персонализированного лечения [24; 25].

Обширность, многообразие и глубина научной литературы по цифровым инновациям, накопленный опыт их практического применения свидетельствуют о непреходящем и постоянно нарастающем интересе к этой проблематике. Однако анализ публикаций демонстрирует: научные основы современной (цифровой) инноватики исследованы явно недостаточно. До сих пор не существует точного определения цифровой инновации, не изучены ее свойства.

Цель настоящего исследования – развитие теоретических положений инноватики включением сущностных характеристик цифровых инноваций и определением подходов к управлению разработкой цифровых инноваций.

Объект исследования – цифровые инновации; задачи исследования: систематизация существующих научных заделов и анализ передовых практик цифровых инноваций; обоснование роли открытых инноваций; предложение по формированию подходов к управлению цифровыми инновационными проектами.

### **Методы и материалы**

В процессе исследования использовались нормативные документы и законодательные акты РФ, аналитические отчеты консалтинговых агентств, положения теории инноваций и менеджмента. Результаты получены на основе системного подхода с применением методов библио-

графического анализа, принципов аналогий и систематизации. Использование разнообразных методов и источников данных в исследовании о цифровых инновациях позволило создать более полную и углубленную картину этой области и выявить наиболее значимые аспекты для исследования.

### **Результаты и обсуждение**

#### ***Корреляция понятий «цифровая экономика» и «цифровые инновации»***

Согласно определению Всемирного банка, цифровая экономика – это система экономических, социальных и культурных отношений, основанных на использовании цифровых информационно-коммуникационных технологий [26].

Современное отечественное видение концепции цифровой экономики содержится в указе Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». В соответствии с этим документом, «цифровая экономика – это хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг».

Приведенное определение является достаточно полным, учитывает специфику абсолютного большинства экономических и деловых операций, социальных коммуникаций, выполняемых с применением информационно-коммуникационных технологий.

Авторами предлагается свое определение: цифровая экономика – это экономический уклад, где информационные технологии в их актуальном цифровом формате являются базовым ресурсом функционирования и развития хозяйственных систем, предполагающих формирование цифровых компетенций в составе знаний, умений, навыков и их реализацию при обосновании управленческих решений.

Характерные черты цифровой экономики:

- дата-центричный подход к принятию управленческих решений;
- объемы данных и их вариативность;
- высокие скорости реагирования и адаптации;
- динамический конкурентный ландшафт;
- клиентоцентричность (причем не только в сегменте конечных потребителей, но и в сегменте B2B);
- платформенные бизнес-модели с экосистемной перспективой [27];
- платформы позволяют потребителям и производителям напрямую связываться между собой (одноранговые, Peer-to-Peer, взаимодействия) для обмена товарами, услугами, информацией [28; 29];
- экосистемы являются дальнейшим развитием платформ. Экосистемная модель – адаптивная сеть независимых участников и их групп, которая развивается путем совместной разработки технологий и создания на этой основе инновационных решений [30].

Формирование цифровой экономики обеспечивается, прежде всего, цифровыми инновациями, в том числе, в ИКТ-сфере. Согласно статистическому сборнику «Индикаторы цифровой экономики 2022», выпущенному Институтом статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ совместно с Минцифры России и Росстатом [31], удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг сектора ИКТ в 2021 году составлял 9,4%.

Хорошо прослеживается тенденция того, что цифровая экономика меняет все уклады жизни общества. Цифровые инновации могут создавать преимущества при разработке продуктов, об-

служивании клиентов и эксплуатации оборудования. На пути к достижению своих целей лидеры в области цифровых инноваций готовы переходить на новые организационные и бизнес-модели, создавать гибкие корпоративные архитектуры, если они приносят измеримые результаты и создают дополнительную ценность.

Цифровые инновации в экономике – это нововведения в цифровом виде, являющиеся ключевыми факторами повышения эффективности в различных сферах экономики [32]. Согласно Федеральному закону от 31.07.2020 № 258-ФЗ «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации» цифровые инновации – это новое средство, использующее цифровые процессы, ресурсы и сервисы на основе технологий больших данных, нейротехнологий и искусственного интеллекта, системы распределенного реестра (блокчейн), квантовых технологий, новых производственных технологий, промышленного интернета, компонентов робототехники и сенсорики, технологий беспроводной связи, виртуальной и дополненной реальностей и других технологий, которые в государственных правовых актах отражены как относящиеся к цифровым или к цифровой экономике; новая система таких средств или новая форма использования такого существующего средства/системы средств.

Нами предлагается дополнить определение положением о том, что цифровые технологии, примененные при разработке инновации, определяет ее главный результат – новые свойства инновационных решений обеспечиваются именно применением цифровых технологий; без их включения результат оказался бы недостижимым. Каждая инновация направлена на достижение конкретной цели совершенствования хозяйственной деятельности.

Результат инновации – это продукт или бизнес-процесс. Актуальное в настоящее время четвертое издание Руководства Осло – непрерывно эволюционирующего семейства руководств, посвященных измерению и интерпретации данных, которые относятся к науке, технологиям, инновациям, выделяет только два класса инноваций – инновации продуктов и инновации бизнес-процессов. Продукты, в свою очередь, подразделяются на три категории: инновации в товарах, инновации в услугах, а также их комбинации [33].

Сосредоточенность на данных, информации и знаниях подтверждается, в том числе, тем, что продукты, «захватывающие данные» (Knowledge Capturing Products), являются одной из базовых продуктовых инноваций, выделяемых как самостоятельная категория четвертым изданием Руководства Осло. Результатом реализации цифровых продуктовых инноваций должен стать цифровой продукт, который создается, продается и используется в цифровом виде. Цифровой продукт – это нематериальный актив или носитель, который можно многократно продавать и распространять в Интернете без необходимости пополнять запасы.

#### ***Открытые инновации в цифровой среде***

Эта концепция генерации инноваций зародилась за десятилетия до формирования цифровой экономики, и сегодня активно применяется в отраслях, производящих обычные аналоговые продукты; однако именно в цифровой среде она приобрела новые черты.

Современные инновационные компании все чаще обращаются к модели открытых инноваций, которые стимулируют свободное распространение знаний, интенсифицируют движение внутренних и внешних информационных потоков и открывают новые перспективы на всех этапах создания стоимости [34]. Открытые инновации позволяют интенсифицировать внутренние инновации и расширить рынок для внешнего применения инновационных результатов. Для успешного внедрения цифровых инноваций необходимо в существующей инновационной среде компании организовать своеобразное «перекрестное опыление» и пересмотреть обычную практику разработки продуктов [35].

Особую роль в этом процессе играют современные информационно-коммуникационные технологии, формирующие единое информационное пространство. Они позволяют в режиме реального времени «сканировать» всю информацию по любым направлениям. Инновации становятся



все более демократичными, поскольку и компании-разработчики, и потребители получают новые возможности для формирования инноваций [36].

Модель открытых инноваций связана с моделями шеринговой экономики. Специалисты-практики утверждают, что сегодня шанс ценной идеи реализоваться обеспечивается не тщательной ее охраной, а тем, чтобы как можно раньше поделиться ею с максимальным числом компетентных людей – только так можно оценить ее реальную ценность и перспективы.

Зачастую под открытыми инновациями понимают не только доступ к знаниям и их распространение, а формы совместного использования распределенной информации. Последний термин характеризует общие свойства распределенных систем: отсутствие иерархии в распространении, в данном контексте информации, и отсутствие единой точки отказа – утрата части информации одним из партнеров не ведут к ее безвозвратной потере для всех участников взаимодействия.

Пользуясь открытым интерфейсом и/или краудсорсинговыми платформами, любой партнер, отдельный индивидуум или компания, в рамках модели открытых инноваций может внести свои идеи и предложения по разработке, а в идеале – довести эти предложения до этапа коммерческой реализации с применением специальных программных средств.

Дополнительная ценность открытых цифровых инноваций обеспечивается рядом их свойств:

– инновация является результатом коллективных действий, а не усилий отдельных индивидуумов;

- ориентированность на клиента;
- модульная структура;
- упреждающая разработка;
- адаптивность.

#### ***Подходы к разработке цифровых инноваций***

Цифровая инновация – не просто технологическая платформа, но и проведение необходимых организационных изменений. Реализация инновационной активности компаний осуществляется через инновационные проекты. Это позволило в середине XX столетия выработать процессный подход к управлению инновационными проектами, базовой моделью которого является каскадная модель Stage-Gate. Она представляет собой характерный пример «постадийного» подхода к разработке новых продуктов, четкий последовательный план продвижения от идеи до запуска.

В инновационных цифровых проектах не всегда точно определены и четко понятны детали, а также методы и приемы, требуемые для достижения результата. Масштабные инновационные проекты задействуют множество сторон, согласование интересов которых является нетривиальной задачей. Внедрение цифровых инноваций предполагает поиск и достижение баланса между традиционным и инновационным способами деятельности, прежними и новыми инновационными компетенциями, ориентацией на инновационный продукт или бизнес-процесс, внутренними и внешними инновациями, гибкостью и обеспечением контроля. Цифровое окружение проекта меняется чрезвычайно быстро; в том же режиме должно происходить принятие инновационных решений [37].

Переход к цифровым инновациям радикально меняет процессы разработки продуктов и бизнес-процессов во всех отраслях. Сфера ИКТ и программного обеспечения подталкивает исследовательские и разработческие подразделения компаний к использованию методов, характерных для программистов. Речь идет о гибких подходах к управлению, которые позволяют повысить скорость и качество разработки продуктов, своевременно реагировать на изменение условий реализации инновации.

Цифровизация радикально меняет весь процесс разработки продукта. Процесс разработки цифровых инноваций определяется рядом руководящих принципов [38; 39]:

– большинство компаний считают разработку инноваций динамическим процессом, который продолжается на протяжении всего жизненного цикла инноваций;

- при разработке используется дизайн-мышление, основанное на четком понимании желаний потребителей и обуславливающих их факторов с учетом накапливающегося в режиме реального времени клиентского опыта, когда клиент непосредственно участвует в разработке;
- собственно разработка осуществляется поэлементно с применением гибких методологий, изначально предназначенных для разработки программного обеспечения и постепенно проникающих в иные сферы;
- интегрированные системы управления жизненным циклом инновации в рамках дата-центричного подхода позволяют снизить риски цифровых инновационных проектов;
- дата-центричный подход позволяет обеспечить прозрачность разработки и повысить ожидаемую рентабельность разрабатываемого продукта.

### **Заключение**

В ходе исследования:

- уточнен понятийный аппарат введением авторских трактовок терминов «цифровая экономика» и «цифровая инновация»;
- выявлена и обоснована зависимость между категориями «цифровая экономика» и «цифровая инновация»;
- определены свойства цифровых инноваций;
- выявлена специфика открытых инноваций в цифровой среде.

### **Направление дальнейших исследований**

Разработка методов управления цифровыми инновациями на основе гибких методологий и инструментария оценки эффективности их реализации.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Мильнер Б.З. (2023) *Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями*, монография, М.: ИНФРА-М.
2. Аузан А.А. (2019) Цифровая экономика как экономика: институциональные тренды. *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*, 6, 12–19.
3. Плотников В.А., Бабкин А.В. (2022) Подходы к оценке уровня цифровизации экономики. *Экономика и Индустрия 5.0 в условиях новой реальности (ИНПРОМ-2022)*, 112–115. DOI: <https://doi.org/10.18720/IER/2022.1/28>
4. Аркин П.А., Богданова Е.Л., Максимова Т.Г. и др. (2020) *Теория и практика управления инновациями в научной сфере, промышленности и бизнесе*, монография, СПб.: Политех-пресс
5. Атурин В.В., Мога И.С., Смагулова С.М. (2020) Управление цифровой трансформацией: научные подходы и экономическая политика. *Управленец*, 11 (2), 67–76. DOI: <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2020-11-2-6>
6. Якубова И.И. (2021) Современные тенденции развития цифровых инноваций. *Журнал прикладных исследований*, 5 (6), 474–478. DOI [https://doi.org/10.47576/2712-7516\\_2021\\_6\\_5\\_474](https://doi.org/10.47576/2712-7516_2021_6_5_474)
7. *Развитие отдельных высокотехнологичных направлений. Белая книга* (2022), М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».
8. Davenport T. (2019) Information Technology Powers (Almost) All Innovation. [online] Available at: <https://www.forbes.com/sites/tomdavenport/2019/09/23/information-technology-powers-almost-all-innovation/?sh=62648ae243dc> [Accessed 29.04.2023]
9. Hinings B., Gegenhuber T., Greenwood, R. (2018) Digital innovation and transformation: An institutional perspective. *Information and Organization*, 28 (1), 52–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2018.02.004>
10. Kohli R., Melville N. (2019) Digital innovation: A review and synthesis. *Information Systems Journal*, 29 (3). DOI: <https://doi.org/10.1111/isj.12193>

11. Kenney M., Burg U.V. (2022) *Institutions and Economies: Creating Silicon Valley*. Stanford University Press, 218–240. DOI: <https://doi.org/10.1515/9781503618381-013>
12. Kenney M. (2017) Explaining the growth and globalization of Silicon Valley: the past and today. *Berkeley Roundtable on the International Economy (BRIE) Working Paper*, 1.
13. Kenney M. (2016) Silicon Valley and Internationalization: A Historical and Policy Overview. *Berkeley Roundtable on the International Economy*.
14. Carayannis E., Campbell D. (2009) 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': Toward a 21<sup>st</sup> century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, 46 (3/4), 201–234. DOI:10.1504/IJTM.2009.023374
15. Мерзликина Г.С., Бабкин А.В. (2022) Развитие инновационных партнерств: от совместной работы к совместным инновациям. *π-Economy*, 15 (3), 64–80. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15305>
16. Gault F. (2019) User Innovation in the Digital Economy. *Foresight and STI Governance*, 13 (3), 6–12. DOI: <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.3.6.12>
17. Цифровизация промышленности (2021) *Tadviser*. [online] Available at: <https://www.tadviser.ru/a/640838> [Accessed 30.04.2023]
18. Двигатель инноваций: симбиоз индивидуализма, сотрудничества и ценностного мышления (2019) *Интеграл*. [online] Available at: <https://integral-russia.ru/2019/03/21/dvigatel-innovatsij-simbioz-individualizma-sotrudnichestva-i-tsennostnogo-myshleniya/> [Accessed 02.05.2023]
19. Андреева Н.В., Ермош Е.В., Набатчикова С.Б., Огородникова Е.П. (2020) Применение цифровых технологий в банковском секторе экономики. *Вестник Академии знаний*, 2 (37), 415–419. DOI: <https://doi.org/10.24411/2304-6139-2020-10201>
20. Филиппов Д.И. (2019) Финансовые инновации в условиях развития цифровой экономики. *Journal of Creative Economy*, 13 (8), 1503–1520. DOI: <https://doi.org/10.18334/ce.13.8.40881>
21. Технологии для достижения целей устойчивого развития (2022) *Tadviser*. [online] Available at: <https://www.tadviser.ru/a/643305> [Accessed 30.04.2023]
22. Уваров А.Ю., Фруммин И.Д. (2019) *Трудности и перспективы цифровой трансформации образования*. М.: Издательский дом Высшей школы экономики.
23. Скиннер К. (2019) *Человек цифровой. Четвертая революция в истории человечества, которая затронет каждого*. С.: Манн, Иванов и Фербер.
24. Тренды образования 2022/2023 (2022) *VC.ru* [online] Available at: <https://vc.ru/education/479818-trendy-obrazovaniya-2022-2023> [Accessed 02.05.2023]
25. 5 интересных инноваций в области цифрового здравоохранения (2020) *Evercare* [online] Available at: <https://evercare.ru/news/5-interesnykh-innovatsiy-v-oblasti-cifrovogo-zdravookhraneniya> [Accessed 02.05.2023]
26. World Development Report 2016: Digital Dividends (2016) *The World Bank*. [online] Available at: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016> [Accessed 30.04.2023]
27. Хейг П. (2019) *Управленческие концепции и бизнес-модели: Полное руководство*. М.: Альпина Паблишер.
28. О'Рейли Т. (2019) *WTF?: Гид по бизнес-моделям будущего*. М.: Эксмо.
29. Цифровые платформы (Digital Platforms) (2018) *Tadviser*. [online] Available at: <https://www.tadviser.ru/a/395824> [Accessed 30.04.2023]
30. Моазед А., Джонсон Н. (2019) *Платформа: Практическое применение революционной бизнес-модели*. М.: Альпина Паблишер.
31. Паркер Дж., Альстин М., Чаудари С. (2017) *Революция платформ. Как сетевые рынки меняют экономику – и как заставить их работать на вас*. М.: Манн, Иванов и Фербер.
32. Тенденции мирового ИТ-рынка (2023) *Tadviser*. [online] Available at: <https://www.tadviser.ru/a/171763> [Accessed 05.05.2023]
33. *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation*, 4<sup>th</sup> Edition (2018) Organisation for Economic Co-operation and Development statistical office of the European Communities.
34. Индикаторы цифровой экономики: 2022 (2022) *ИСИЭЗ*. [online] Available at: <https://issek.hse.ru/news/780811313.html> [Accessed 05.05.2023]
35. Кувшинова В.В., Дарсавелидзе И.В. (2019) Цифровые инновации в экономике: социально-правовые аспекты. *Вестник Санкт-Петербургской юридической академии*, 4 (45), 57–64.
36. Ottonicar S.L.C., Arraiza P.M., Armellini F. (2020) Opening Science and Innovation: Opportunities for Emerging Economies. *Foresight and STI Governance*, 14 (4), 95–111. DOI: <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2020.4.95.111>

37. *Цифровизация: Практические рекомендации по переводу бизнеса на цифровые технологии* (2019) М.: Альпина-Паблишер.
38. Кулагин В, Сухаревски А., Мефферт Ю. (2020) *Digital@Scale: Настольная книга по цифровизации бизнеса*. М.: Интеллектуальная Литература.
39. Ферр Н., Даер Д., Кристинсен К. (2019) *Создавая инновации. Креативные методы от Netflix, Amazon и Google*. М.: Эксмо.

## REFERENCES

1. Milner B.Z. (2023) *Innovative development: economics, intellectual resources, knowledge management*, monograph, М.: INFRA-M.
2. Auzan A.A. (2019) Digital Economy as an Economy: Institutional Trends. *Vestnik Moskovskogo universiteta. S6: Ekonomika*, 6, 12–19.
3. Plotnikov V.A., Babkin A.V. (2022) Approaches to assessing the level of digitalization of the economy. *Ekonomika i Industriya 5.0 v usloviyakh novoy realnosti (INPROM-2022)*, 112–115. DOI <https://doi.org/10.18720/IEP/2022.1/28>
4. *Theory and practice of innovation management in science, industry and business* (2020), monografiya, SPb.: Politekh-press.
5. Aturin V.V., Moga I.S., Smagulova S.M. (2020) Digital Transformation Management: Scientific Approaches and Economic Policy. *Upravlenets*, 11 (2), 67–76. DOI: <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2020-11-2-6>
6. Yakubova I.I. (2021) Current trends in the development of digital innovations. *Zhurnal prikladnykh issledovaniy*, 5 (6), 474–478. DOI [https://doi.org/10.47576/2712-7516\\_2021\\_6\\_5\\_474](https://doi.org/10.47576/2712-7516_2021_6_5_474)
7. *Development of individual high-tech areas. White Book* (2022), М.: National Research University Higher School of Economics.
8. Davenport T. (2019) Information Technology Powers (Almost) *All Innovation*. [online] Available at: <https://www.forbes.com/sites/tomdavenport/2019/09/23/information-technology-powers-almost-all-innovation/?sh=62648ae243dc> [Accessed 29.04.2023]
9. Hinings B., Gegenhuber T., Greenwood, R. (2018) Digital innovation and transformation: An institutional perspective. *Information and Organization*, 28 (1), 52–61. DOI: 10.1016/j.infoandorg.2018.02.004
10. Kohli R., Melville N. (2019) Digital innovation: A review and synthesis. *Information Systems Journal*, 29 (3). DOI: <https://doi.org/10.1111/isj.12193>
11. Kenney M., Burg U.V. (2022) *Institutions and Economies: Creating Silicon Valley*. Stanford University Press, 218–240. DOI: <https://doi.org/10.1515/9781503618381-013>
12. Kenney M. (2017) Explaining the growth and globalization of Silicon Valley: the past and today. *Berkeley Roundtable on the International Economy (BRIE) Working Paper*, 1.
13. Kenney M. (2016) Silicon Valley and Internationalization: A Historical and Policy Overview. *Berkeley Roundtable on the International Economy*.
14. Carayannis E., Campbell D. (2009) 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': Toward a 21<sup>st</sup> century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, 46 (3/4), 201–234. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.023374>
15. Merzlikina G.S., Babkin A.V. (2022) Development of innovation partnerships: from collaboration to joint innovation. *π-Economy*, 15 (3), 64–80. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15305>
16. Gault F. (2019) User Innovation in the Digital Economy. *Foresight and STI Governance*, 13 (3), 6–12. DOI: <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.3.6.12>
17. Digitalization of industry (2021) *Tadviser*. [online] Available at: <https://www.tadviser.ru/a/640838> [Accessed 30.04.2023]
18. The engine of innovation: a symbiosis of individualism, cooperation and value thinking (2019) *Integral*. [online] Available at: <https://integral-russia.ru/2019/03/21/dvigatel-innovatsij-simbioz-individualizma-sotrudnichestva-i-tsennostnogo-myshleniya/> [Accessed 02.05.2023]
19. Andreyeva N.V., Yermosh Ye.V., Nabatchikova S.B., Ogorodnikova Ye.P. (2020) Application of digital technologies in the banking sector of the economy. *Vestnik Akademii znaniy*, 2 (37), 415–419. DOI: <https://doi.org/10.24411/2304-6139-2020-10201>

20. Fillipov D.I. (2019) Financial innovations in the context of the development of the digital economy. *Journal of Creative Economy*, 13 (8), 1503–1520. DOI: <https://doi.org/10.18334/ce.13.8.40881>
21. Technologies for achieving sustainable development goals (2022) *Tadviser*. [online] Available at: <https://www.tadviser.ru/a/643305> [Accessed 30.04.2023]
22. Uvarov A.Yu., Frumin I.D. (2019) *Difficulties and prospects of digital transformation of education*. M.: Izdatelskiy dom Vysshey shkoly ekonomiki.
23. Skinner K. (2019) *Digital man. The fourth revolution in human history that will affect everyone*. S.: Mann, Ivanov i Ferber.
24. Education Trends 2022/2023 (2022) *VC.ru* [online] Available at: <https://vc.ru/education/479818-trendy-obrazovaniya-2022-2023> [Accessed 02.05.2023]
25. 5 exciting innovations in digital health (2020) *Evercare* [online] Available at: <https://evercare.ru/news/5-interesnykh-innovatsiy-v-oblasti-cifrovogo-zdravookhraneniya> [Accessed 02.05.2023]
26. World Development Report 2016: Digital Dividends (2016) *The World Bank*. [online] Available at: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016> [Accessed 30.04.2023]
27. Kheyg P. (2019) *Management Concepts and Business Models: The Complete Guide*. M.: Alpina Publisher.
28. O'Reyly T. (2019) *WTF?: A Guide to Business Models of the Future*. M.: Eksmo.
29. Digital Platforms (2018) *Tadviser*. [online] Available at: <https://www.tadviser.ru/a/395824> [Accessed 30.04.2023]
30. Moazed A., Dzhonson N. (2019) *Platform: Practical application of a revolutionary business model*. M.: Alpina Publisher.
31. Parker Dzh., Alstin M., Chaudari S. (2017) *Platform revolution. How online markets are changing the economy – and how to make them work for you*. M.: Mann, Ivanov i Ferber.
32. Global IT market trends (2023) *Tadviser*. [online] Available at: <https://www.tadviser.ru/a/171763> [Accessed 05.05.2023]
33. *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4<sup>th</sup> Edition* (2018) Organisation for Economic Co-operation and Development statistical office of the European Communities.
34. Indicators of the digital economy: 2022 (2022) *ISIEZ*. [online] Available at: <https://issek.hse.ru/news/780811313.html> [Accessed 05.05.2023]
35. Kuvshinova V.V., Darsavelidze I.V. (2019) Digital innovations in the economy: socio-legal aspects. *Bulletin of the St. Petersburg Law Academy*, 4 (45), 57–64.
36. Ottonicar S.L.C., Arraiza P.M., Armellini F. (2020) Opening Science and Innovation: Opportunities for Emerging Economies. *Foresight and STI Governance*, 14 (4), 95–111. DOI: <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2020.4.95.111>
37. *Digitalization: Practical recommendations for transferring business to digital technologies* (2019) M.: Alpina-Publisher.
38. Kulagin V, Sukharevski A., Meffert Yu. (2020) *Digital@Scale: Handbook on business digitalization*. M.: Intellektualnaya Literatura.
39. Ferr N., Dayer D., Kristinsen K. (2019) *Creating innovation. Creative methods from Netflix, Amazon and Google*. M.: Eksmo.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**СИЛКИНА Галина Юрьевна**

E-mail: [galina.silkina@gmail.com](mailto:galina.silkina@gmail.com)

**Galina Yu. SILKINA**

E-mail: [galina.silkina@gmail.com](mailto:galina.silkina@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0198-557X>

**ШАБАН Антон Павлович**

E-mail: 14371759@kafedrapik.ru

**Anton P. SHABAN**

E-mail: 14371759@kafedrapik.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0735-084X>

*Поступила: 30.05.2023; Одобрена: 09.10.2023; Принята: 09.10.2023.*

*Submitted: 30.05.2023; Approved: 09.10.2023; Accepted: 09.10.2023.*

# Экономическая безопасность интеллектуальных систем

## Economic security of intelligent systems

Научная статья

УДК 338.1

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16505>



### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ ТЕХНОПОЛИС В КОНТЕКСТЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕПРЕССИВНЫХ РЕГИОНОВ

Е.В. Шкарупета<sup>1,2</sup> , Я.А. Долганова<sup>2</sup>, М.О. Пёрышкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет,  
г. Воронеж, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Псковский государственный университет,  
г. Псков, Российская Федерация

✉ 9056591561@mail.ru

**Аннотация.** Актуальность исследования интеллектуальных цифровых технополисов в контексте экономической безопасности депрессивных регионов обусловлена необходимостью интеграции передовых технологий и инновационных методов управления для стимулирования регионального развития. Целью исследования является разработка методологических и практических рекомендаций по созданию и функционированию таких технополисов, с учетом специфических технологических и социо-экономических факторов депрессивных регионов. В исследовании применены методы литературного систематического обзора и веб-скрейпинга, что позволило провести глубокий анализ существующих моделей технополисов и их применимости в депрессивных регионах. В результате исследования проанализированы понятия интеллектуальной экономики в части разграничения подходов к intelligent и intellectual экономике. Сделан вывод, что технополис в депрессивных регионах не просто стимулирует экономическую активность, но и формирует устойчивую основу для долгосрочного развития, что в условиях интеллектуальной и цифровой экономик является ключевым фактором экономической безопасности. Выполнен комплексный анализ существующих моделей технополисов с акцентом на их применимость в депрессивных регионах. Этот аспект является новаторским, так как ранее не рассматривался в контексте специфики модели интеллектуального цифрового технополиса. Идентифицированы ключевые технологические и социо-экономические факторы, влияющие на успешное функционирование интеллектуальных цифровых технополисов. В рамках исследования впервые модифицировано классическое колесо технополиса, что позволяет учитывать факторы интеллектуализации и цифровизации. Сформулированы методологические и практические рекомендации по оптимизации политики в области создания и поддержки функционирования интеллектуальных цифровых технополисов в депрессивных регионах. Рекомендации учитывают уникальные характеристики депрессивных регионов. Результаты исследования могут служить основой для исследований и практического применения в стратегическом планировании и управлении развитием депрессивных регионов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния макроэкономических факторов на успешность реализации проектов интеллектуальных цифровых технополисов в депрессивных регионах, а также на разработку индикаторов и метрик для оценки эффективности функционирования интеллектуальных цифровых технополисов с точки зрения экономической безопасности.

**Ключевые слова:** интеллектуальная экономика, цифровая экономика, кластер, технополис, депрессивный регион, экономическая безопасность

**Благодарности:** Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект 23-28-01226 «Формирование интеллектуального кибер-физического технополиса депрессивного района на основе

системообразующего инновационно-активного кластера для повышения экономической безопасности региона»

**Для цитирования:** Шкарупета Е.В., Долганова Я.А., Пёрышкин М.О. (2023) Интеллектуальный цифровой технополис в контексте повышения экономической безопасности депрессивных регионов. *П-Economy*, 16 (5), 63–77. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16505>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16505>



## INTELLIGENT DIGITAL TECHNOPOLIS IN THE CONTEXT OF IMPROVING ECONOMIC SECURITY OF DEPRESSED REGIONS

E.V. Shkarupeta<sup>1,2</sup> , Ya.A. Dolganova<sup>2</sup>, M.O. Peryshkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation;

<sup>2</sup> Pskov State University, Pskov, Russian Federation

✉ 9056591561@mail.ru

**Abstract.** The relevance of the study of intelligent digital technopolises in the context of economic security of depressed regions is determined by the need to integrate advanced technologies and innovative management methods to stimulate regional development. The aim of the study is to develop methodological and practical recommendations for the creation and functioning of such technopolises, taking into account specific technological and socio-economic factors of depressed regions. The study applied the methods of systematic literature review and web scraping, which allowed us to conduct a deep analysis of existing models of technopolises and their applicability in depressed regions. As a result of the study, the concepts of intellectual economy were analyzed in terms of differentiating approaches to intelligent and intellectual economy. It is concluded that technopolis in depressed regions not only stimulates economic activity, but also forms a stable basis for long-term development, which is a key factor of economic security in the conditions of intellectual and digital economy. A comprehensive analysis of the existing models of technopolises with a focus on their applicability in depressed regions has been carried out. This aspect is innovative, as it has not been previously considered in the context of the specifics of the intellectual digital technopolis model. The key technological and socio-economic factors influencing the successful functioning of intelligent digital technopolises were identified. Within the framework of the research, the classical technopolis wheel was modified for the first time, which allows taking into account the factors of intellectualization and digitalization. Methodological and practical recommendations for optimizing policy in the field of creating and supporting the functioning of intelligent digital technopolises in depressed regions are formulated. The recommendations take into account the unique characteristics of depressed regions. The results of the study can serve as a basis for research and practical application in strategic planning and development management of depressed regions. Further research can be aimed at studying the impact of macroeconomic factors on the success of smart digital technopolis projects in depressed regions, as well as the development of indicators and metrics to assess the effectiveness of smart digital technopolises from the point of view of economic security.

**Keywords:** Intelligent economy, digital economy, cluster, technopolis, depressed region, economic security

**Acknowledgements:** The research was supported by the Russian Science Foundation, project 23-28-01226 “Formation of an intelligent cyber-physical technopolis in a depressed area based on a system-forming innovation-active cluster to increase the economic security of the region”

**Citation:** Shkarupeta E.V., Dolganova Ya.A., Peryshkin M.O. (2023) Intelligent digital technopolis in the context of improving economic security of depressed regions. *П-Economy*, 16 (5), 63–77. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16505>

## Введение

### *Актуальность исследования*

Развитие интеллектуальной экономики стоит в центре актуальных дискуссий о будущем регионального развития и экономической безопасности. В условиях глобализации и ускоренного технологического прогресса, регионы сталкиваются с рядом вызовов, включая нестабильность рынков, угрозу кибербезопасности и социальную поляризацию. Интеллектуальная экономика предлагает комплексные решения для этих проблем, интегрируя инновации, передовые технологии и интеллектуальный капитал в единую экосистему. В этом контексте интеллектуальная экономика становится не просто фактором роста, но и ключевым элементом устойчивости и безопасности. Она способствует созданию новых высокопроизводительных рабочих мест, что положительно сказывается на социальной стабильности. Помимо этого, развитие цифровых технологий улучшает эффективность управления и позволяет более точно анализировать риски, что является важным аспектом экономической безопасности.

Создание технополиса в депрессивных регионах может стать мощным инструментом для повышения их экономической безопасности, особенно в контексте интеллектуальной экономики. Технополис, как концентрация высокотехнологичных предприятий, научно-исследовательских организаций и образовательных учреждений, создает благоприятную среду для инноваций и развития интеллектуального капитала. Это способствует привлечению инвестиций, созданию новых качественных рабочих мест и, как следствие, увеличению налоговых поступлений.

В условиях интеллектуальной экономики, где знания и технологии являются ключевыми ресурсами, технополис может стать центром притяжения для талантов и идей. Это, в свою очередь, укрепляет интеллектуальный потенциал региона и делает его менее уязвимым к экономическим колебаниям. Цифровая экономика добавляет еще один слой резильентности, предоставляя инфраструктуру для эффективного управления и мониторинга экономических процессов. Внедрение цифровых технологий в управление технополисом позволяет не только оптимизировать текущую деятельность, но и прогнозировать возможные риски, что является критически важным для экономической безопасности.

Таким образом, технополис в депрессивных регионах не просто стимулирует экономическую активность, но и формирует устойчивую основу для долгосрочного развития, что в условиях интеллектуальной и цифровой экономик является ключевым фактором экономической безопасности.

*Объектом исследования* являются интеллектуальные цифровые технополисы как комплексные социоэкономические формации. Эти формации интегрируют элементы умной и цифровой экономик и рассматриваются через призму их влияния на экономическую безопасность депрессивных регионов.

*Предметом исследования* выступают управленческие, организационные и экономические отношения, возникающие в процессе решения комплекса теоретических, научно-методических и практических вопросов и проблем формирования и развития интеллектуального цифрового технополиса в контексте повышения экономической безопасности депрессивных регионов.

Базис области исследования определяется эволюцией развития технополисной парадигмы с 1983 по 1990 г. [1–6] – первый этап, с 1990 по 2000 г. [7, 8] – второй этап, с 2000 г. по настоящее время [9–14] – современный, третий этап; актуальной концепцией формирования интеллектуально-киберфизического технополиса [15, 16].

## Литературный обзор

### *Интеллектуальная экономика*

В видении компании Huawei до 2030 года [17] сформировано представление об интеллектуальном мире (Intelligent World) в условиях нового миропорядка, в котором сталкиваются различные глобальные вызовы, такие как структурное снижение производительности труда, климатиче-

ские изменения, цифровизация и сдвиг в ожиданиях потребителей, концепция интеллектуальной экономики представляет собой перспективный путь развития. Эта концепция предполагает использование системного интеллекта, включая естественный, искусственный и социальный интеллект, как основного фактора и результата социально-экономической деятельности [18]. Интеллектуальная экономика, в этом контексте, не просто адаптируется к изменяющимся условиям, но и активно формирует их, идентифицируя проблемные ситуации и переводя их в новые возможности для создания знаний и инноваций. Это особенно актуально в условиях, когда необходим пересмотр оценки бизнеса в связи с цифровизацией. По мнению Б.Г. Клейнера [19], цифровые технологии, будучи интегрированными в интеллектуальную экономику, позволяют не только оптимизировать существующие процессы, но и открывают новые горизонты для инновационного развития.

Следует отметить, что как в русском, так и в английском языке есть разные понятия, имеющие отношение и характеризующие интеллектуальную экономику. В данном контексте могут употребляться прилагательные образованные от существительных ум, интеллект в русском языке и intellect, intelligence и smart – в английском. Этимология данных слов рассмотрена авторами в табл. 1.

**Таблица 1. Этимология слов, характеризующих интеллектуальную экономику**  
**Table 1. Etymology of words characterizing intellectual economy**

Умная / интеллектуальная экономика	Русский язык	Английский язык
Умная экономика	Ум – это слово славянского происхождения и в древнерусском языке звучало как умь. Оно связано с древнегреческим словом nous и латинским mens, оба из которых означают разум или интеллект. В древних текстах слово ум часто использовалось для описания различных аспектов человеческого разума, включая интеллект, память и способность к логическому мышлению. Со временем значение слова стало более абстрактным и сейчас оно охватывает широкий спектр умственных способностей и качеств	Smart – имеет германские корни, происходя от старонемецкого слова smerzan, что означает "быть болезненным" или "причинять боль". В средневековом английском языке слово smart использовалось для описания острого или резкого движения или ощущения. Позже значение слова стало ассоциироваться с быстротой и проворством, и, наконец, с умом и сообразительностью
Интеллектуальная экономика	Интеллект (Intellect) – это слово заимствовано из латинского языка, где intellectus является прошедшим временем от глагола intelligere, означающего понимать или различать. Intelligere, в свою очередь, образовано от приставки inter- (между) и legere (выбирать, собирать). Слово интеллект и в русском, и в английском языке стало использоваться для описания умственных способностей, аналитического мышления и способности к пониманию сложных идей и концепций	Intelligence – также происходит от латинского intelligere. В средневековье это слово использовалось для описания умственных способностей, но позже его значение расширилось, включая в себя также собирание и анализ информации, особенно в военном и шпионском контексте  Intelligent – адъективная форма слова intelligence, и его этимология схожа. Оно описывает качество обладания умственными способностями или информацией

Источник: составлено авторами

Концепции intelligent, intellectual и smart экономик представляют собой различные, но взаимосвязанные подходы к пониманию роли интеллектуального капитала и технологий в современной экономике:

1. Intelligent экономика [20–22] акцентирует внимание на роли данных, информации и аналитических способностей в экономической деятельности. Здесь ключевым является способность к быстрому и эффективному анализу больших объемов данных для принятия обоснованных решений. Интеллектуальная экономика в данной коннотации фокусируется на использовании искусственного интеллекта, машинного обучения и других передовых технологий для оптимизации экономических процессов, улучшения принятия решений и повышения эффективности.

2. Intellectual экономика [23–25] сосредоточена на создании, распространении и использовании знаний, идей и интеллектуального капитала. Эта концепция подчеркивает значимость интеллектуальной собственности, исследований и разработок, образования и других форм интеллектуальной активности. Здесь ключевую роль играют образование, исследования и разработки, инновации и интеллектуальная собственность. Экономика этого типа ориентирована на создание высококачественных продуктов и услуг с высокой добавленной стоимостью. Такой коннотации интеллектуальной экономики придерживаются Г.Б. Клейнер [19, 26], С.Ю. Глазьев [27, 28] и другие ученые, по мнению которых интеллектуальная экономика, с одной стороны, может рассматриваться как экономика постзнаний, следующая за стадией экономики знаний, а с другой – есть высшая фаза развития цифровой экономики. Данный подход характеризует ключевые этапы развития интеллектуальной экономики (экономика знаний → экономика постзнаний → цифровая экономика → интеллектуальная экономика), но не отражает в полной мере всю плетору процессов интеллектуализации экономики [29].

3. Smart экономика [30, 31] часто ассоциируется с концепцией умных городов и включает в себя использование информационных и коммуникационных технологий для повышения качества жизни, устойчивого развития и экономической эффективности.

Все эти концепции переплетаются и дополняют друг друга. Например, intelligent экономика может служить технологической базой для intellectual экономики, предоставляя инструменты для исследований и инноваций. В то же время, intelligent экономика может обеспечить аналитическую поддержку для более эффективного функционирования smart экономики и предоставить инструменты и методы для эффективного функционирования intellectual экономики, которая, в свою очередь, создает новые формы интеллектуального капитала и знаний, необходимых для дальнейшего развития intelligent экономики. Совместное использование этих подходов может создать синергетический эффект, способствуя устойчивому и инновационному экономическому развитию. В intelligent экономике ключевую роль играют технологии и аналитика, в то время как в intellectual экономике – человеческий капитал, креативность и инновационная активность.

#### *Экономическая безопасность депрессивных регионов в условиях интеллектуальной экономики*

Экономическая безопасность депрессивных регионов в условиях интеллектуальной экономики представляет собой малоизученный, сложный и многогранный вопрос, требующий комплексного подхода. В эпоху интеллектуальной экономики, где цифровые технологии, знания и инновации становятся ключевыми факторами развития, депрессивные регионы сталкиваются с рядом уникальных вызовов и возможностей.

С одной стороны, интеллектуальная экономика предоставляет инструменты для перехода от традиционных форм производства и управления к более эффективным и устойчивым моделям. Это может включать в себя развитие интеллектуального капитала через образование и научные исследования, а также применение новых сквозных технологий для повышения производительности и конкурентоспособности.

С другой стороны, депрессивные регионы часто характеризуются недостатком инвестиций, высоким уровнем безработицы и социальной напряженности [32–34], что создает дополнительные препятствия на пути к интеграции в интеллектуальную экономику. В этом контексте, стратегии экономической безопасности должны быть направлены на создание условий для активизации инновационной деятельности, привлечения инвестиций и развития человеческого капитала.

Таким образом, экономическая безопасность депрессивных регионов в условиях интеллектуальной экономики требует синергии между государственными органами, бизнесом и научно-образовательным сектором. Это предполагает разработку и реализацию комплексных программ, направленных на стимулирование экономической активности, развитие инфраструктуры и повышение качества жизни населения.

#### *Концепция формирования интеллектуального цифрового технополиса*

Понятие технополиса является современным неологизмом, образованным из двух древнегреческих корней: *techne* (τέχνη), что означает искусство или ремесло, и *polis* (πόλις), что переводится как город или государство. В классическом контексте *techne* относилось к навыкам или методам, используемым для создания чего-либо или решения проблем, в то время как *polis* описывало организованное сообщество или государственное образование.

В современном контексте технополис описывает город или регион, который активно интегрирует технологии и инновации в свою экономическую и социальную инфраструктуру с целью стимулирования устойчивого развития [35, 36]. Этимологически слово подчеркивает взаимосвязь между технологическим мастерством и организованным обществом, предлагая модель, в которой технологии и образование являются ключевыми факторами социально-экономического прогресса.

На основе анализа современной литературы можно утверждать, что классическая технополисная парадигма, зародившаяся еще в 1980-е гг., не устарела, но претерпевает значительные трансформации в ответ на новые вызовы и возможности. С развитием цифровых технологий, искусственного интеллекта и больших данных, технополисы становятся все более сложными и многофункциональными структурами. Они не только остаются центрами научно-технического прогресса, но и превращаются в экосистемы, способные интегрировать различные виды интеллектуальной активности — от научных исследований до инновационного предпринимательства и образования.

Сегодня акцент смещается в сторону создания устойчивых и адаптивных систем, которые могут эффективно реагировать на социально-экономические, экологические и технологические изменения. В этом контексте, концепции, такие как умный технополис, интеллектуальный технополис или цифровой технополис, становятся все более актуальными. Они предполагают более глубокую интеграцию между наукой, технологиями, управлением и социумом, что обеспечивает более высокую резильентность и адаптивность системы в целом.

По результатам литературного обзора идентифицирована *научная проблема*, связанная с отсутствием комплексного подхода к реализации потенциала интеллектуальных цифровых технополисов в контексте экономической безопасности депрессивных регионов. Существующие исследования часто фокусируются либо на технологических аспектах создания технополисов, либо на экономических выгодах, которые они могут принести на макро- или микроуровне. Однако интеграция этих двух направлений для формирования устойчивых моделей развития, способных повысить экономическую безопасность в депрессивных регионах, остается недостаточно исследованной. Эта проблема актуализируется в условиях перехода к интеллектуальной экономике, где ключевым ресурсом становятся знания и инновации. В этих условиях технополисы могут служить эффективными инструментами для концентрации интеллектуального капитала и технологических решений. Однако без системного подхода, учитывающего специфику депрессивных регионов — такую как отток кадров, недостаток инвестиций, социальные проблемы и т.д. — риск провала в реализации таких амбициозных проектов возрастает.

#### **Цель исследования**

Целью данного исследования является разработка методологических и практических рекомендаций по созданию и функционированию интеллектуальных цифровых технополисов, которые бы учитывали как технологические, так и социо-экономические факторы для повышения экономической безопасности депрессивных регионов.

Задачи исследования включают:

- анализ существующих моделей технополисов и их применимости в контексте депрессивных регионов;
- идентификация ключевых технологических и социо-экономических факторов, влияющих на успешное функционирование интеллектуальных цифровых технополисов;
- формулировка рекомендаций по оптимизации политики в области создания и поддержки функционирования интеллектуальных цифровых технополисов в депрессивных регионах.

### Методы и материалы

В данном исследовании применение разнообразных методов позволяет обеспечить максимальную объективность и научную точность. Литературный систематический обзор служит для анализа существующих теоретических подходов, моделей и эмпирических данных, связанных с концепцией интеллектуальных цифровых технополисов и их роли в повышении экономической безопасности депрессивных регионов. Этот метод позволяет выявить пробелы в текущем состоянии исследований, а также определить наиболее перспективные направления для дальнейшего изучения. Веб-скрейпинг, в свою очередь, применяется для сбора первичных данных из различных источников в интернете, таких как статистические базы данных, научные публикации, отчеты исследовательских организаций и государственных учреждений. Этот метод позволяет быстро и эффективно агрегировать большие объемы информации для последующего анализа. Совокупность этих методов обеспечивает комплексный подход к исследованию, позволяя не только оценить текущее состояние проблемы, но и предложить обоснованные рекомендации по ее решению.

### Результаты и обсуждение

Концепция формирования интеллектуального цифрового технополиса представляет собой интегративную модель развития, в которой совмещаются принципы интеллектуальной экономики с передовыми цифровыми технологиями. В этой модели, технополис не просто является пространством высокотехнологичного производства и научных исследований, но и интеллектуальным хабом, способным генерировать новые знания, инновации и социально-экономические практики. Основой для функционирования такого технополиса является системный интеллект, который интегрирует естественный, искусственный и социальный интеллекты. Системный интеллект позволяет технополису идентифицировать и решать сложные задачи, адаптироваться к изменяющимся условиям и создавать новые возможности для устойчивого развития. Цифровые технологии в этом контексте выступают не только как инструменты оптимизации существующих процессов, но и как катализаторы для создания новых форм социально-экономической организации. Это может включать в себя развитие интернета вещей для умного управления инфраструктурой, применение искусственного интеллекта для анализа больших данных и поддержки принятия решений, а также создание виртуальных и дополненных реальностей для образования и научных исследований. Важным аспектом является также экономическая резильентность и устойчивость, которые обеспечиваются через диверсификацию экономической структуры, развитие местного предпринимательства [37] и привлечение инвестиций в инновационные проекты. Это создает благоприятные условия для экономического роста, создания высококвалифицированных рабочих мест и повышения качества жизни населения.

Развитие технополисов является предметом обширных исследований и практической реализации, причем в различных социально-экономических и технологических условиях возникают различные модели. Вот некоторые из распространенных моделей:

1. Университетско-центричная модель: эта модель базируется на ведущем университете или исследовательском институте. Идея заключается в использовании результатов академических исследований и их преобразовании в коммерческие предприятия.

2. Корпоративная модель: в этом случае ведущую роль в создании технополиса играет крупная корпорация или консорциум компаний. Корпорация обеспечивает не только финансирование, но и первоначальные технологические и кадровые ресурсы, необходимые для развития других небольших предприятий.

3. Модель, инициированная правительством: в этой модели правительство берет на себя ведущую роль в планировании, финансировании и развитии технополиса. Ярким примером является сингапурский One-North, представляющий собой планируемое правительством сообщество, ориентированное на исследования и разработки в области технологий, медиа и наук о жизни.

4. Модель государственно-частного партнерства: это гибридная модель, в которой государство и частный сектор совместно разрабатывают и эксплуатируют технополис. В качестве примера можно привести Кембриджский научный парк в Великобритании.

5. Модель особой экономической зоны: эта модель предполагает предоставление налоговых льгот, упрощение таможенных и экспортно-импортных процедур, а также другие финансовые стимулы для привлечения компаний. В качестве примера можно привести китайский Шэньчжэнь.

6. Модель виртуального технополиса: в отличие от традиционных моделей, в которых основное внимание уделяется физической инфраструктуре, виртуальная модель опирается на цифровые платформы для связи исследователей, предпринимателей и инвесторов, преодолевая географические ограничения.

7. Устойчивый или "зеленый" технополис: эта модель делает акцент на экологической устойчивости, внедряя "зеленые" технологии и устойчивые практики уже на этапе планирования.

8. Кластерная модель [38, 40, 41]: эта модель предполагает совместное размещение компаний из одной или смежных отраслей с целью получения выгоды от использования общих ресурсов, связей с поставщиками и квалифицированной рабочей силы.

Модель интеллектуального цифрового технополиса представляет собой синтез различных элементов вышеупомянутых моделей, дополненный акцентом на интеллектуализацию и цифровизацию, и может рассматриваться как эволюционный этап в развитии концепции технополиса, который интегрирует в себя передовые технологии и методы управления для решения сложных социо-экономических задач. Интеллектуальный цифровой технополис стремится к максимизации социально-экономического воздействия, используя системный интеллект как ключевой фактор. Это включает в себя не только технологические инновации, но и социальные, организационные и управленческие инновации, которые способствуют устойчивому развитию и экономической безопасности. Эта модель может быть особенно применима для депрессивных регионов, поскольку она предлагает гибкий и адаптивный подход, способный учитывать особенности и ограничения таких регионов. Интеллектуализация и цифровизация могут стать катализаторами для привлечения инвестиций, создания высококвалифицированных рабочих мест и стимулирования экономической активности.

Классическая концептуальная схема колеса технополиса, включающая такие элементы, как центры исследований и разработок, образовательные учреждения, промышленные кластеры и вспомогательную инфраструктуру, в контексте интеллектуального цифрового технополиса претерпит значительные изменения (рис. 1).

Табл. 2 иллюстрирует, как каждая проекция колеса технополиса может быть трансформирована в контексте интеллектуального цифрового технополиса, с учетом внедрения современных технологий и методологий.

В интеллектуальном цифровом технополисе компоненты колеса будут глубоко интегрированы с помощью цифровых интерфейсов и интеллектуальных систем. Например, центры исследований и разработок будут представлять собой не просто физические лаборатории, а виртуализированные среды, в которых в режиме реального времени будут проводиться моделирование

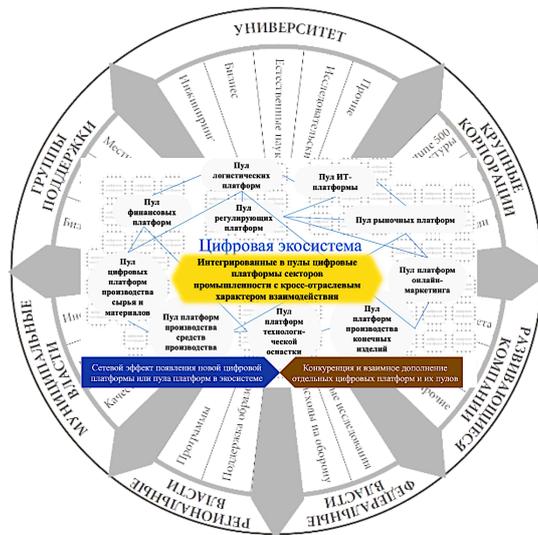


Рис. 1. Концептуальная схема интеллектуального цифрового технополиса

Fig. 1. Conceptual scheme of an intelligent digital technopolis

Источник: дополнено с использованием материалов [9, 39]

и анализ данных. Эти центры будут связаны с промышленными кластерами с помощью IoT-устройств и интеллектуальных производственных систем, что обеспечит плавный переход от исследований к производству.

**Таблица 2. Изменения в проекциях колеса технополиса в рамках модели интеллектуального цифрового технополиса**  
**Table 2. Changes in technopolis wheel projections within the framework of the intelligent digital technopolis model**

Классическая модель колеса технополиса	Колесо интеллектуального цифрового технополиса
Университеты	Университеты с интегрированными цифровыми платформами для совместной научно-исследовательской работы
Корпорации	Корпорации с расширенными возможностями для аналитики больших данных и автоматизированного принятия решений
Малые и средние предприятия	МСП с доступом к облачным вычислениям и ИИ для оптимизации бизнес-процессов
Власть	Автоматизированные государственные структуры с использованием блокчейн и ИИ для управления и регулирования
Исследовательские центры	Виртуализированные исследовательские центры с возможностью удаленного доступа и совместной работы
Производственные кластеры	Производственные кластеры с полной интеграцией Интернета вещей и умного производства
Финансовые институты	Финансовые институты с использованием умных контрактов и автоматизированных инвестиционных платформ
Транспорт и инфраструктура	Интеллектуальные транспортные системы и адаптивные энергетические сети
Социальные услуги	Социальные услуги с персонализацией через аналитику данных и машинное обучение
Образовательные учреждения	Образовательные платформы с адаптивным и интерактивным контентом, поддерживаемым ИИ

Источник: составлено авторами

Образовательные учреждения будут интегрированы в эту экосистему с помощью цифровых платформ, способствующих не только электронному обучению, но и совместным исследованиям и разработкам. Учебные программы будут динамически приводиться в соответствие с меняющимися потребностями промышленных кластеров и центров НИОКР, чему будут способствовать аналитические инструменты, основанные на искусственном интеллекте и позволяющие прогнозировать потребности в навыках и знаниях.

Инфраструктурный компонент также будет развиваться и включать в себя интеллектуальные коммунальные услуги и сервисы, от интеллектуальных транспортных систем до энергетических сетей, которые в режиме реального времени адаптируются к потребностям технополиса.

Механизмы управления и регулирования будут в значительной степени автоматизированы с использованием блокчейна для обеспечения прозрачности транзакций и искусственного интеллекта для поддержки принятия решений в режиме реального времени.

Финансовые системы будут глубоко интегрированы в эту интеллектуальную структуру, а смарт-контракты будут способствовать прозрачному и эффективному распределению инвестиций и ресурсов.

Таким образом, классическое колесо технополиса превратится в более динамичную, адаптивную и интегрированную систему в контексте интеллектуального цифрового технополиса, где каждый компонент не только связан, но и интеллектуально реагирует на потребности остальных.

Для успешного функционирования интеллектуальных цифровых технополисов ключевую роль играют как технологические, так и социо-экономические факторы:

– С технологической стороны, наличие развитой инфраструктуры для обработки больших данных, применение искусственного интеллекта и машинного обучения, а также интеграция сетей Интернета вещей создают основу для инновационного развития. Эти технологии позволяют эффективно анализировать сложные данные, прогнозировать тренды и автоматизировать рутинные процессы.

– Социо-экономические факторы также имеют значительное влияние. К ним относится качество человеческого капитала, включая уровень образования и квалификации рабочей силы, которые напрямую влияют на инновационный потенциал технополиса. Кроме того, политическая стабильность и прозрачность законодательства создают благоприятный климат для привлечения инвестиций. Экономические стимулы в виде налоговых льгот и субсидий могут дополнительно мотивировать компании к развитию и внедрению новых технологий.

Для оптимизации политики в области создания и поддержки функционирования интеллектуальных цифровых технополисов в депрессивных регионах важно учитывать уникальные характеристики такого типа регионов (отсутствие квалифицированных кадров, недостаточная инфраструктура и ограниченные финансовые ресурсы).

В первую очередь, следует фокусироваться на разработке гибких финансовых механизмов, которые бы обеспечивали доступ к стартовому капиталу и инвестициям для местных стартапов и исследовательских проектов. Это может включать в себя создание специализированных фондов, гарантийные схемы и налоговые льготы для привлечения внешних инвесторов.

Следует также активизировать межсекторальное взаимодействие между университетами, исследовательскими центрами и промышленностью для стимулирования инноваций и трансфера технологий. В этом контексте, важно создать условия для привлечения и удержания квалифицированных кадров через системы переподготовки, стажировок и менторства.

Не менее важным является вопрос создания и модернизации инфраструктуры, включая цифровую. Это не только повысит привлекательность региона для бизнеса, но и обеспечит его жителей доступом к современным образовательным и медицинским услугам, что в свою очередь повысит уровень экономической безопасности.

В заключение, для успешного функционирования интеллектуальных цифровых технополисов в депрессивных регионах необходима адаптивная и многоуровневая стратегия, которая бы

учитывала местные особенности и потребности, и в то же время соответствовала бы глобальным трендам развития интеллектуальной и цифровой экономики.

### **Заключение**

1. Проведен комплексный анализ существующих моделей технополисов, выявлены их ограничения и возможности применения в депрессивных регионах. Этот аспект является новаторским, поскольку ранее не рассматривался в контексте специфики модели интеллектуального цифрового технополиса.

2. Идентифицированы ключевые технологические и социо-экономические факторы, влияющие на успешное функционирование интеллектуальных цифровых технополисов. Впервые модифицировано классическое колесо технополиса с позиции интеллектуализации и цифровизации технополей.

3. Сформулированы методологические и практические рекомендации по оптимизации политики в области создания и поддержки функционирования интеллектуальных цифровых технополисов в депрессивных регионах. Рекомендации учитывают уникальные характеристики депрессивных регионов и представляют собой новый вклад в научную литературу по данной теме.

Исследование успешно достигло поставленной цели и решило задачи, предложив комплексный подход к созданию и функционированию интеллектуальных цифровых технополисов в депрессивных регионах. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований и практического применения в стратегическом планировании и управлении развитием депрессивных регионов.

### **Направления дальнейших исследований**

Для дальнейшего углубления исследований в данной области предлагается рассмотреть следующие направления. Изучение влияния макроэкономических факторов на успешность реализации проектов интеллектуальных цифровых технополисов в депрессивных регионах позволит создать более устойчивую и адаптивную модель технополиса. Перспективной также является разработка индикаторов и метрик для оценки эффективности функционирования интеллектуальных цифровых технополисов с точки зрения экономической безопасности. Эти направления могут обогатить текущее понимание динамики и механизмов функционирования интеллектуальных цифровых технополисов и предложить новые инструменты для повышения экономической безопасности депрессивных регионов.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Sangyō Kōzō Shingikai (1981). *The Vision of MITI Policies in 1980s: Trade and Industrial Policy for the 1980s: Recommendation of the Industrial Structure Council*. Industrial Bank of Japan.
2. Ariga Y. (1983). Law for Accelerating Development Based upon High-Technology Industrial Complexes (Technopolis Law), *Tihoujiti*, 428, 18–29.
3. Gibb J.M. (ed.) (1985). *Science Parks and Innovation Centres: Their Economic and Social Impact: Proceedings of the Conference Held in Berlin 13-15 February 1985*. Elsevier Science Limited, 10051.
4. Tatsuno S. (1986). *The technopolis strategy: Japan, high technology, and the control of the twenty-first century*. Prentice Hall Press, New York.
5. Glasmeier A.K. (1988). The Japanese Technopolis programme: high-tech development strategy or industrial policy in disguise? *International Journal of Urban and Regional Research*, 12 (2), 268–284.
6. Smilor R.W., Kozmetsky G., Gibson D.V. (1988). *Creating the technopolis: linking technology, commercialization, and economic development*. Ballinger Publishing Company.
7. Park S.C., Park M.K., Kang M.G. (2003). Super-resolution image reconstruction: a technical overview. *IEEE signal processing magazine*, 20 (3), 21–36.

8. Park S.C. (2004). The Japanese technopolis strategy. In: *Innovation Networks and Learning Regions?*, 133–155. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203643556-8>
9. Джон Б., Дэвид Г. (2013). Исследовательские университеты в структуре региональной инновационной системы: опыт Остина, штат Техас. *Форсайт*, 7 (2), 042–057.
10. Dabinett G. (2014). A new strategic approach to science cities: towards the achievement of sustainable and balanced spatial development. In: *Technopolis: Best Practices for Science and Technology Cities*, 3–21.
11. Oh D.S., Phillips F. (2014). *Technopolis: Best Practices for Science and Technology Cities*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5508-9>
12. Castells M. (2014). *Technopoles of the world: The making of 21<sup>st</sup> century industrial complexes*. Routledge.
13. Sutriadi R. (2016). A Communicative City as a Preliminary Step towards a Technopolis Agenda. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 227, 623–629.
14. Курбатова С.М., Айснер Л.Ю. (2021). Эколого-социальные аспекты современных технополисов. *Экологические чтения-2021. XII Национальная научно-практическая конференция с международным участием. Омск, 04–05 июня 2021 года*, 395–399.
15. Shkarupeta E., Babkin A., Rodionova V., Shchegoleva T., Smolyaninova I. (2023). Scientific Concept of Intelligent Cyber-Physical Technopolis. *E3S Web of Conferences. EBWFF 2023 – International Scientific Conference Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna (Part 1)*, 08009.
16. Шкарупета Е.В., Родионова В.Н., Щёголева Т.В. (2023). Систематизация теоретических концепций формирования интеллектуального кибер-физического технополиса, инновационно-активного кластера и обеспечения экономической безопасности депрессивного района. В книге: *Интеллектуальная платформенная экономика: тенденции развития* (под редакцией А.В. Бабкина), Санкт-Петербург, 319–337.
17. Huawei (2023). *Intelligent World 2030. Building a Fully Connected, Intelligent World*. [online] Available at: <https://www.huawei.com/en/giv> [Accessed: 10 March 2023].
18. Apostol D., Bălăceanu C., Constantinescu E.M. (2015). Smart Economy Concept—Facts and Perspectives. *International conference “European perspective of labor market-innovation, expertness, performance”*.
19. Клейнер Г.Б. (2020). Интеллектуальная экономика нового века: экономика постзнаний. *Экономическое возрождение России*, 1 (63), 35–42.
20. Singh G. (2021). A Move Towards Intelligent Economy: Indian Evidence. *Management and Labour Studies*, 46 (2), 192–203.
21. Liu Z. (2022). Intelligent Economy and Institutional Elements. In: *The Power of Ideas: A History of Technological Thoughts on Digital Economics*. Springer Nature Singapore, 37–53.
22. Cheng E., Gao S. (2022). Intelligence Economy as a Form of Noonomy and Its Economic and Social Impact. In: *Anthology of Noonomy: Fourth Technological Revolution and Its Economic, Social and Humanitarian Consequences*. Brill, 94–106.
23. Leonard T.C. (1997). *The reason of rules in the intellectual economy: the economics of science and the science of economics*. The George Washington University.
24. Crawford D. (2002). The Intellectual Economy of an Anthropology of Change. *Anthropology in Action*, 9 (1).
25. Peters R. (2005). Technology licensing: A win-win solution in the intellectual economy. *Journal of Intellectual Property Rights*, 10 (5), 421–425.
26. Клейнер Г.Б. (2020). Интеллектуальная экономика цифрового века. *Экономика и математические методы*, 56 (1), 18–33.
27. Глазьев С.Ю., Наумов Е.А., Понукалин А.А. (2017). Интеллектуальная экономика в теории и практике управления. В книге: *Акмеологические векторы профессионализации личности в обществе вызовов и угроз*, 98–108.
28. Глазьев С.Ю. и др. (2009). *Интеллектуальная экономика-технологические вызовы XXI века*. Эксклюзив, Алматы.
29. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. (2023). Интеллектуальная экономика экосистем: понятие, эволюция, формирование. *Интеллектуальная инженерная экономика и индустрия 5.0 (ИНПРОМ)*, 22–26.
30. Dagilienė L. et al. (2020). Exploring smart economic development and competitiveness in Central and Eastern European countries. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 30 (5), 485–505.

31. Andronie M. et al. (2021). Sustainable cyber-physical production systems in big data-driven smart urban economy: a systematic literature review. *Sustainability*, 13(2), 751.
32. Курбанова У.А.-И., Магомедова С.З., Шахбанова С.А., Гебеков М.Г. (2022) Депрессивные регионы, способы и методы регулирования экономической безопасности. *Журнал прикладных исследований*, 2 (6), 118–125.
33. Хартылова Д.Б., Цатхланова Т.Т., Намысов С.В. (2023). Депрессивный регион: типологические особенности и подходы к регулированию. *Экономическая политика и финансовые ресурсы*, 2 (1), 66–78.
34. Адухова А.Х., Дибирова М.М., Магомедов М.Ш. (2022) Депрессивные регионы: типология и основные признаки. *EurasiaScience*, 237–238.
35. Sutriadi R., Aziz F.N., Ramadhan A. (2022). Communicative City Features in Technopole Development: A Case Study in Bandung, Indonesia. *Journal of Regional and City Planning*, 33 (1), 84–110.
36. Sutriadi R. (2018) Defining smart city, smart region, smart village, and technopolis as an innovative concept in Indonesia's urban and regional development themes to reach sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 202, 012047.
37. Бабалян Э.Б., Хатукай С.А., Панеш К.М. (2022). Кластерный подход в развитии малого предпринимательства депрессивного региона. *Московский экономический журнал*, 6, 465–480.
38. Бабкин А.В., Ташенова Л.В., Елисеев Е.В. (2020). Цифровой потенциал системообразующего инновационно-активного промышленного кластера: понятие, сущность, оценка. *Экономика и управление*, 26 (12), 1324–1334.
39. Smilor R.W., Gibson D.V., Kozmetsky G. (1989). Creating the technopolis: High-technology development in Austin, Texas. *Journal of Business Venturing*, 4 (1), 49–67.
40. Бабкин А.В., Новилов А.О. (2016) Кластер как субъект экономики: сущность, современное состояние, развитие. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*. 1 (235), 9–29.
41. Kleynner G., Babkin A. (2015) Forming a telecommunication cluster based on a virtual enterprise. *Lecture Notes in Computer Science*, 9247, 567–572.

## REFERENCES

1. Sangyō Kōzō Shingikai (1981). *The Vision of MITI Policies in 1980s: Trade and Industrial Policy for the 1980s: Recommendation of the Industrial Structure Council*. Industrial Bank of Japan.
2. Ariga Y. (1983). Law for Accelerating Development Based upon High-Technology Industrial Complexes (Technopolis Law), *Tihoujiti*, 428, 18–29.
3. Gibb J. M. (ed.) (1985). *Science Parks and Innovation Centres: Their Economic and Social Impact: Proceedings of the Conference Held in Berlin 13-15 February 1985*. Elsevier Science Limited, 10051.
4. Tatsuno S. (1986). *The technopolis strategy: Japan, high technology, and the control of the twenty-first century*. Prentice Hall Press, New York.
5. Glasmeier A.K. (1988). The Japanese Technopolis programme: high-tech development strategy or industrial policy in disguise? *International Journal of Urban and Regional Research*, 12 (2), 268–284.
6. Smilor R.W., Kozmetsky G., Gibson D.V. (1988). *Creating the technopolis: linking technology, commercialization, and economic development*. Ballinger Publishing Company.
7. Park S.C., Park M.K., Kang M.G. (2003). Super-resolution image reconstruction: a technical overview. *IEEE signal processing magazine*, 20 (3), 21–36.
8. Park S.C. (2004). The Japanese technopolis strategy. In: *Innovation Networks and Learning Regions?*, 133–155. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203643556-8>
9. Dzhon B., Devid G. (2013). Issledovatel'skie universitety v strukture regional'noi innovatsionnoi sistemy: opyt Ostina, shtat Tekhas. *Forsait*, 7 (2), 042–057.
10. Dabinett G. (2014). A new strategic approach to science cities: towards the achievement of sustainable and balanced spatial development. In: *Technopolis: Best Practices for Science and Technology Cities*, 3–21.
11. Oh D.S., Phillips F. (2014). *Technopolis: Best Practices for Science and Technology Cities*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5508-9>

12. Castells M. (2014). *Technopoles of the world: The making of 21<sup>st</sup> century industrial complexes*. Routledge.
13. Sutriadi R. (2016). A Communicative City as a Preliminary Step towards a Technopolis Agenda. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 227, 623–629.
14. Kurbatova S.M., Aisner L.Yu. (2021). Ekologo-sotsial'nye aspekty sovremennykh tekhnopolisov. *Ekologicheskie chteniya-2021.KhII Natsional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem. Omsk, 04–05 iyunya 2021 goda*, 395–399.
15. Shkarupeta E., Babkin A., Rodionova V., Shchegoleva T., Smolyaninova I. (2023). Scientific Concept of Intelligent Cyber-Physical Technopolis. *E3S Web of Conferences. EBWFF 2023 – International Scientific Conference Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna (Part 1)*, 08009.
16. Shkarupeta E.V., Rodionova V.N., Shchegoleva T.V. (2023). Sistematizatsiya teoreticheskikh kontseptsii formirovaniya intellektual'nogo kiber-fizicheskogo tekhnopolisa, innovatsionno-aktivnogo klastera i obespecheniya ekonomicheskoi bezopasnosti depressivnogo raiona. V knige: *Intellektual'naya platformennaya ekonomika: tendentsii razvitiya* (pod redaktsiei A. V. Babkina), Sankt-Peterburg, 319–337.
17. Huawei (2023). *Intelligent World 2030. Building a Fully Connected, Intelligent World*. [online] Available at: <https://www.huawei.com/en/giv> [Accessed: 10 March 2023].
18. Apostol D., Bălăceanu C., Constantinescu E. M. (2015). Smart Economy Concept—Facts and Perspectives. *International conference “European perspective of labor market-innovation, expertness, performance”*.
19. Kleiner G.B. (2020). Intellektual'naya ekonomika novogo veka: ekonomika postznaniia. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii*, 1 (63), 35–42.
20. Singh G. (2021). A Move Towards Intelligent Economy: Indian Evidence. *Management and Labour Studies*, 46 (2), 192–203.
21. Liu Z. (2022). Intelligent Economy and Institutional Elements. In: *The Power of Ideas: A History of Technological Thoughts on Digital Economics*. Springer Nature Singapore, 37–53.
22. Cheng E., Gao S. (2022). Intelligence Economy as a Form of Noonomy and Its Economic and Social Impact. In: *Anthology of Noonomy: Fourth Technological Revolution and Its Economic, Social and Humanitarian Consequences*. Brill, 94–106.
23. Leonard T.C. (1997). *The reason of rules in the intellectual economy: the economics of science and the science of economics*. The George Washington University.
24. Crawford D. (2002). The Intellectual Economy of an Anthropology of Change. *Anthropology in Action*, 9 (1).
25. Peters R. (2005). Technology licensing: A win-win solution in the intellectual economy. *Journal of Intellectual Property Rights*, 10 (5), 421–425.
26. Kleiner, G. B. (2020). Intellektual'naya ekonomika tsifrovogo veka. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 56 (1), 18–33.
27. Glaz'ev S.Yu., Naumov E.A., Ponukalin A.A. (2017). Intellektual'naya ekonomika v teorii i praktike upravleniya. V knige: *Akmeologicheskie vektory professionalizatsii lichnosti v obshchestve vyzovov i ugroz*, 98–108.
28. Glaz'ev S.Yu. i dr. (2009). *Intellektual'naya ekonomika-tekhnologicheskie vyzovy XXI veka*. Eksklyuziv, Almaty.
29. Babkin A.V., Shkarupeta E.V. (2023). Intellektual'naya ekonomika ekosistem: ponyatie, evolyutsiya, formirovanie. *Intellektual'naya inzhenernaya ekonomika i industriya 5.0 (INPROM)*, 22–26.
30. Dagilienė L. et al. (2020). Exploring smart economic development and competitiveness in Central and Eastern European countries. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 30 (5), 485–505.
31. Andronie M. et al. (2021). Sustainable cyber-physical production systems in big data-driven smart urban economy: a systematic literature review. *Sustainability*, 13 (2), 751.
32. Kurbanova U.A.-I., Magomedova S.Z., Shakhbanova S.A., Gebekov M.G. (2022) Depressivnye regiony, sposoby i metody regulirovaniya ekonomicheskoi bezopasnosti. *Zhurnal prikladnykh issledovaniy*, 2 (6), 118–125.
33. Khartylova D.B., Tsatkhanova T.T., Namysov S.V. (2023). Depressivnyi region: tipologicheskie osobennosti i podkhody k regulirovaniyu. *Ekonomicheskaya politika i finansovye resursy*, 2 (1), 66–78.
34. Adukhova A.Kh., Dibirova M.M., Magomedov M.Sh. (2022) Depressivnye regiony: tipologiya i osnovnye priznaki. *EurasiaScience*, 237–238.

35. Sutriadi R., Aziz F.N., Ramadhan A. (2022). Communicative City Features in Technopole Development: A Case Study in Bandung, Indonesia. *Journal of Regional and City Planning*, 33 (1), 84–110.
36. Sutriadi R. (2018) Defining smart city, smart region, smart village, and technopolis as an innovative concept in Indonesia's urban and regional development themes to reach sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 202, 012047.
37. Babalyan E.B., Khatukai S.A., Panesh K.M. (2022). Klasternyi podkhod v razvitii malogo predprinimatel'stva depressivnogo regiona. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal*, 6, 465–480.
38. Babkin, A.V., Tashenova, L.V., Eliseev, E.V. (2020). Tsifrovoye potentsial sistemoobrazuyushchego innovatsionno-aktivnogo promyshlennogo klastera: ponyatie, sushchnost', otsenka. *Ekonomika i upravlenie*, 26 (12), 1324–1334.
39. Smilor R.W., Gibson D.V., Kozmetsky G. (1989). Creating the technopolis: High-technology development in Austin, Texas. *Journal of Business Venturing*, 4 (1), 49–67.
40. Babkin A.V., Novikov A.O. (2016) Klaster kak sub"ekt ekonomiki: sushchnost', sovremennoe sostoyanie, razvitie. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki*. 1 (235), 9–29.
41. Kleyner G., Babkin A. (2015) Forming a telecommunication cluster based on a virtual enterprise. *Lecture Notes in Computer Science*, 9247, 567–572.

#### 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>

**ДОЛГАНОВА Яна Алексеевна**

E-mail: dolganova.y.a@mail.ru

**Yana A. DOLGANOVA**

E-mail: dolganova.y.a@mail.ru

**ПЁРЫШКИН Михаил Олегович**

E-mail: maik.peryshkin@gmail.com

**Mikhail O. PERYSHKIN**

E-mail: maik.peryshkin@gmail.com

*Поступила: 19.09.2023; Одобрена: 23.10.2023; Принята: 23.10.2023.*

*Submitted: 19.09.2023; Approved: 23.10.2023; Accepted: 23.10.2023.*

# Инструментарий интеллектуальной цифровой экономики и Индустрии 4.0 / 5.0

## Tools for intelligent digital economy and Industry 4.0 / 5.0

Научная статья

УДК 330.47

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16506>



### МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ФИНАНСОВОГО РЫНКА В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННОГО ПОДХОДА

П.В. Полянина, Д.Г. Родионов, Е.А. Конников ✉

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

✉ [konnikov.evgeniy@gmail.com](mailto:konnikov.evgeniy@gmail.com)

**Аннотация.** В эпоху глобализации наблюдается высокая степень взаимосвязи между экономикой страны и состоянием ее финансового сектора. Эффективное функционирование и динамическое развитие финансового сектора становится насущной потребностью для обеспечения стабильного экономического роста. Однако, нередко многие развивающиеся страны на пути к этому развитию сталкиваются с рядом ограничений. Эти ограничения могут серьезно влиять на их финансовый потенциал, тормозя развитие финансовых систем. В свете этих факторов, важность их преодоления, а также поиска и разработки новейших инновационных методов для анализа финансовых явлений и процессов выходят на первый план и становятся актуальной задачей современности. Следуя этой линии, в данной работе представлена авторская модель оценки состояния финансового рынка. Сравнительным базисом данной оценки выступил интегральный показатель состояния, формируемый на основе частных оценок финансовой глубины, финансовой доступности, финансовой стабильности и финансовой эффективности. основополагающими для неё стала методология нечетко-множественного моделирования, цель которой, применительно к исследуемой проблематике, заключается в глубоком исследовании влияния финансовых структур на экономический рост и классификации финансовых показателей. Применяя данную модель на практике, авторами были собраны и проанализированы обширные массивы данных, касающихся интегральных показателей финансовой глубины, доступности, стабильности и эффективности для двух стран – России и США, и проведен сравнительный анализ изменения состояния их финансовых рынков в выбранный период. Полученные результаты и наблюдения позволяют сделать вывод о том, что, в отличие от США, где наблюдается нестабильность и негативная динамика, финансовый рынок России остается относительно стабильным в период рассмотрения. Таким образом, на основе применения данной модели возможно разрабатывать более эффективную финансовую и банковскую политику. Модель предоставляет существенные возможности для глубокого и комплексного анализа финансовых явлений и процессов, что способствует более точной оценке состояния финансового рынка и разумному прогнозированию его будущего развития.

**Ключевые слова:** нечетко-множественный подход, нечеткое множество, интегральный показатель, финансовая глубина, финансовая устойчивость, финансовые возможности, финансовая эффективность, состояние финансового рынка

**Для цитирования:** Полянина П.В., Родионов Д.Г., Конников Е.А. (2023) Моделирование состояний финансового рынка в условиях интеллектуальной экономики на основе нечетко-множественного подхода. П-Economy, 16 (5), 78–90. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16506>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16506>

## MODELING FINANCIAL MARKET CONDITIONS IN AN INTELLIGENT ECONOMY BASED ON A FUZZY SET APPROACH

**P.V. Polyanina, D.G. Rodionov, E.A. Konnikov** ✉

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

✉ [konnikov.evgeniy@gmail.com](mailto:konnikov.evgeniy@gmail.com)

**Abstract.** In the era of globalization, there is a high degree of interconnection between a country's economy and the state of its financial sector. Effective functioning and dynamic development of the financial sector become an urgent need for ensuring stable economic growth. However, quite often, many developing countries on their path to this development face a series of constraints. These restrictions can seriously affect their financial potential, hindering the development of financial systems. Given these factors, the importance of overcoming them and searching and developing the latest innovative methods for analyzing financial phenomena and processes comes to the fore and become a pressing task of the present. Following this trend, this paper presents the author's model of estimating the state of the financial market. The comparative basis for this assessment was the integral indicator of the state, formed based on partial estimates of financial depth, access to finance, financial stability, and financial efficiency. The foundation for it was the methodology of fuzzy-set modeling, the purpose of which, regarding the issues under investigation, is in-depth study of the influence of financial structures on economic growth and the classification of financial indicators. Applying this model in practice, the authors have collected and analyzed extensive arrays of data concerning integral indicators of access to finance, financial depth, stability, and efficiency for two countries, Russia and the USA, and conducted a comparative analysis of the financial markets' changes during the selected period. The obtained results and observations allow to conclude that, unlike the USA, where instability and negative dynamics are observed, the financial market of Russia remains relatively stable during the period under review. Thus, on the basis of applying this model, it is possible to develop a more effective financial and banking policy. The model provides significant opportunities for deep and comprehensive analysis of financial phenomena and processes, which contributes to a more accurate assessment of the state of the financial market and rational forecasting of its future development.

**Keywords:** fuzzy multiple approach, fuzzy set, integral indicator, financial depth, financial stability, financial ability, financial efficiency, state of the financial market

**Citation:** Polyanina P.V., Rodionov D.G., Konnikov E.A. (2023) Modeling financial market conditions in an intelligent economy based on a fuzzy set approach. *IT-Economy*, 16 (5), 78–90. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16506>

### Введение

Достаточно развитый финансовый сектор оказывает положительное воздействие на экономический рост. Однако, большинство развивающихся стран еще не достигло максимального уровня финансового развития, поэтому с помощью расширения финансового сектора развивающиеся рынки могут достичь более высоких темпов экономического роста, а также снизить макроэкономическую волатильность. Развитие финансового сектора положительно влияет на инвестиционную активность в стране, а следовательно, способствует экономическому росту [1].

В условиях глобализации и быстрого роста современных технологий значительное влияние на финансовые рынки оказывает цифровая трансформация. Цифровизация финансовых операций позволяет расширить доступ к финансовым рынкам и ее финансовым благам и инструментам для экономических субъектов, но в то же время это снижает доступ к финансированию. Цифровизация экономики оказывает долгосрочное благотворное влияние на финансовые рынки и финансовые институты, соответственно [2].

Стоит отметить, что уровень развития финансовых рынков и институтов также имеет значительное влияние на распространение и внедрение information communication technology (ICT). Результаты исследования С.А. Yartey показали, что страны со слабо развитыми финансовыми рынками могут еще больше погрузиться в информационную и некоммуникабельную сторону глобального цифрового разрыва. Вследствие чего необходимо рассмотреть варианты по повышению уровня финансового развития институтов и улучшить структуру распространения ICT [3]. Следовательно, финансовый рынок является устойчивым и стабильным, когда он способен противостоять влиянию наиболее весомого события – кризиса.

Элементы устойчивой финансовой системы, взаимодействуя между собой, способны принимать на себя неблагоприятные внешние факторы и противостоять их влиянию, оставаясь при этом стабильными и не вынуждая субъектов экономической деятельности менять свои цели в отношении сбережений и инвестиций [4].

Роджер Фергюсон рассматривал финансовую стабильность через финансовую нестабильность и считал, что ее следует охарактеризовать следующими событиями [5]:

- Резкое отклонение цен важных финансовых активов от их справедливых значений.
- Снижение эффективности рыночного функционирования.
- Снижение доступности кредита.

Целью исследования является разработка и апробация комплексного инструментария моделирования состояний финансового рынка в условиях интеллектуальной экономики на основе нечетко-множественного подхода.

Для выполнения цели поставлены следующие задачи:

1. Разработать систему показателей оценки состояния финансового рынка в условиях интеллектуальной экономики.
2. Сформировать инструментарий комплексного моделирования состояний финансового рынка в основе нечетко-множественного подхода.
3. Апробация разработанного инструментария применительно к сопоставимым объектам (в рамках исследования данными объектами выступают финансовые рынки России и США).
4. Формулирование системных выводов на основе анализа результатов апробации.

В качестве объекта рассматривается финансовый рынок государства в условиях интеллектуальной экономики. Предметом же являются инструментальные подходы к моделированию состояний финансового рынка.

### **Литературный обзор**

В научной среде в последнее время набирает популярность направление «нечеткая логика» (fuzzy logic), по которому проводятся исследования в области анализа, прогнозирования и моделирования экономических явлений и процессов. Стоит отметить, что данное направление мало изучено в России и менее популярно, чем у зарубежных исследователей несмотря на то, что формирование теоретических постулатов началось еще в 1965 году, а само рождение направления в рамках нечеткой логики началось в 1995 году [6].

В 1965 году Lotfi A. Zadeh, профессор информатики Калифорнийского Университета в Berkeley, ввел в науку понятие fuzzy set, давшее название одноименной теории (fuzzy logic). В своей работе автор в качестве «лингвистических переменных» использует либо числовые переменные, либо как их дополнение. Простые отношения между переменными выражаются через нечеткие высказывания, а сложные – через нечеткие алгоритмы [7].

Согласно определению Ждахина И.Л., модель является нечетко-множественной, если существует информационно-логическая модель системы, основанная на теории нечетких множеств и нечеткой логики [8].

В основе теории нечетких множеств заложены понятия и процессы, параметры и цели не имеют точных границ. В качестве прикладного применения теории лежит метод экспертных оценок, который в некоторых случаях формируется вследствие вероятностных методов [9].

### Методы и материалы

Терм-множество каждой лингвистической переменной состоит из 5 подмножеств. В табл. 1, представлены терм-множества для лингвистических переменных. Первое терм-множество относится к лингвистической переменной, характеризующей значение интегрального показателя, в то время как второе терм-множество относится к лингвистической переменной, характеризующей частные показатели.

**Таблица 1. Терм-множества для лингвистических переменных**  
**Table 1. Term sets for linguistic concepts**

Лингвистическая переменная $\Pi$ $i$ -интегральный показатель, отражающий состояние фин. рынка	Терм-множество
$\gamma$ – уровень допустимости значения финансовых показателей, отражающих состояние фин. рынка	
$\Pi 1$	Незначительный уровень или полное отсутствие влияния финансовых показателей на состояние финансового рынка (Крайне допустимый)
$\Pi 2$	
$\Pi 3$	
$\Pi 4$	
$\Pi 5$	
Лингвистическая переменная $\text{ЧП}_i$ – уровень значения показателя $\Pi_i$	Терм-множество
$\gamma$ – значение частного показателя	
$\text{ЧП } 1$	Очень низкий уровень частного показателя $X_i$
$\text{ЧП } 2$	Низкий уровень частного показателя $X_i$
$\text{ЧП } 3$	Средний уровень частного показателя $X_i$
$\text{ЧП } 4$	Высокий уровень частного показателя $X$
$\text{ЧП } 5$	Очень высокий уровень частного показателя $X_i$

Каждому из частных показателей был присвоен свой уровень значимости  $r_i$ . В соответствии с иерархией системы, было установлено, что комплексные показатели  $i$ -уровня имеют одинаковую значимость, так как каждый из них характеризует различные элементы оценки состояния финансового рынка. Распределение удельных весов частных показателей было осуществлено в соответствии с законом Фишберна [10]. Ниже представлена формула расчета значимости каждого показателя из ранжированного ряда:

$$r_i = \frac{2 * (N - i + 1)}{(N + 1) * N}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество показателей в ранжированном ряду;  $i$  – порядковый номер показателя в ранжированном ряду.

Следующим этапом построения нечетко-множественной модели является формирование классификатора. Будет использован стандартный пятиуровневый 01 классификатор, разработанный Недосекиным А. О. В классификаторе в качестве носителя лингвистической переменной

выступает отрезок вещественной оси  $[0; 1]$  (01 носитель). Данный отрезок универсален, так как любой отрезок вещественной оси может быть сведен к отрезку  $[0; 1]$ . Для описания вида подмножеств терм-множества введена система из пяти функций принадлежности, характеризующих степень принадлежности отрезка значений 01-носителя заданному подмножеству [11].

Необходимо сформировать систему классификаторов значений показателей ЧПі, определяемый как критерий разделения целого множества их значений на нечеткие подмножества. Сначала следует произвести выгрузку с сайта The World Bank базы данных по глобальному финансовому развитию, которая представляет собой обширный набор данных о характеристиках финансовых систем для 214 стран. Она содержит ежегодные данные, начиная с 1960 года по 2020 год [12].

### Результаты

Получив необходимый пул данных, сначала сформируем интервалы на основе всех 214 стран за весь имеющийся временной промежуток по каждому из рассматриваемых частных показателей. На основании полученных результатов мы рассчитаем 4 интегральных показателя, а именно интегральный показатель финансовой глубины, доступности, стабильности и эффективности за временной промежуток с 2016–2020 гг. для России и США соответственно, после чего интерпретируем полученные результаты, сравним их и проследим возможную динамику.

На начальном этапе следует провести исследование частотного распределения показателей в фактических интервалах. Для создания классификатора определяются значения показателя, которое по предположениям является «средним». Под средним предполагается такое значение показателя, которое максимально будет приближено к интервалу с наивысшей частотой. После чего определяются интервальные значения показателя для, основываясь на частотах распределения показателя [13].

Классификация по каждому показателю и подмножеству терм-множества описывается четырьмя Т-числами:

$$(a_1, a_2, a_3, a_4)$$

где  $a_1, a_4$  – абсциссы нижнего основания трапециевидной функции принадлежности;  $a_2, a_3$  – абсциссы верхнего основания трапециевидной функции принадлежности.

Для создания системы нечетко-множественных классификаторов показателей использовались данные 214 стран за период с 1960 по 2020 гг. Мы сможем классифицировать будущие результаты относительно интегральных показателей, определить границы для каждого частного показателя, благодаря которым можно классифицировать данный показатель как «очень высокий», «высокий», «средний», «низкий» и «очень низкий».

Следующим этапом будет расчет интегральных показателей на примере России и США за временной промежуток с 2016 по 2020 гг. Для этого сначала нам необходимо провести распознавание значений частных показателей по критерию  $\lambda_{ij} \in [0; 1]$ . Значение критерия для построенной модели оценки заключается в том, что он приводит в сопоставимый вид значения исследуемых показателей, соотнося их с конкретными значениями 01-носителя.

$$\lambda_{ij} = 1 - \frac{X_i - a_3^*}{a_4^* - a_3^*}, \quad (2)$$

где  $a_3^*$  и  $a_4^*$  – Т-числа  $i$ -го подмножества терм-множества.

Завершающим шагом является расчет интегральных показателей оценки состояния финансового рынка России и США. Для этого нам необходимо произвести расчеты по следующей формуле:

$$I_i = \sum_1^{n=18} p_j \times r_i \times \lambda_{ij}, \quad (3)$$

где  $r_i$  – значимость  $i$ -ого финансового показателя;  $p_j$  – узловые точки 01-носителя.

Результаты произведенных расчетов представлены в табл. 2. Для наглядности и более глубокого понимания. Ниже таблицы будут представлены сравнительные диаграммы (рис. 1–4) полученных интегральных значений относительно двух стран. Интерпретируем полученные результаты и попробуем определить причину динамики показателей.

**Таблица 2. Сводная таблица результатов расчетов интегральных показателей**  
**Table 2. Summary table of the calculation results for integral indicators**

	2016		2017		2018		2019		2020	
	Russia	USA								
Fin.depth	0.125	0.281	0.129	0.288	0.127	0.251	0.131	0.315	0.133	0.269
Fin.ability	0.084	0.080	0.083	0.351	0.082	0.078	0.082	0.077	0.082	0.076
Fin.stability	0.188	0.303	0.200	0.308	0.220	0.311	0.182	0.311	0.209	0.314
Fin.efficiency	0.128	0.453	0.124	0.427	0.146	0.448	0.146	0.356	0.155	0.271

### Обсуждение

Прежде чем мы перейдем к сравнительной аналитике, стоит уточнить, что доля финансового сектора в структуре ВВП по отраслям на 2019 год у России был почти в два раза меньше, чем у США, а именно 3,8% и 7,8% соответственно. Можно предположить, что одной из основных причин разницы в значении показателей является размер самого финансового рынка двух стран [14].

Итак, финансовая глубина отражает насыщенность деньгами, финансовыми инструментами и финансовыми институтами в сравнении с производственными объемами [15]. Данный показатель позволит нам оценить уровень развития финансового сектора в целом. На рис. 1 можно увидеть, что интегральный показатель России имеет стационарное состояние. Значения колеблются в пределах одного значения и какого-либо значительного движения не наблюдается в отличие от данных США. Можно заметить ярко выраженные колебания показателя, например, резкое падение в 2018 году (0.251) и резкий скачок, являющийся пиковым значением тренда (0.315).

Согласно нашей системе распределения интегральный показатель финансовой глубины в России можно отнести к уровню «очень низкий», что указывает нам на слабо развитый финансовый рынок в сравнении с другими странами. Что касается значения интегрального финансового показателя США, то его можно отнести к «среднему» уровню, что свидетельствует нам о более насыщенном и развитом финансовом рынке.

Финансовая доступность – отражает обеспеченный доступ к базовому набору финансовых услуг населению страны и малому и среднему бизнесу [16]. Согласно графику на рис. 2 можно заметить, что и в этом случае нет ярко выраженной динамики у показателя финансовой доступности России. В целом такая же ситуация и у США за исключением одного момента, а именно резкого роста в 2017 году (0.351). Интегральный показатель России можно отнести к «очень низкому» уровню, как и в целом интегральный показатель США. Лишь в 2017 году он был бы отнесен к «среднему» уровню. Однако здесь стоит отметить, что значения интегрального показателя России преимущественно выше, чем значение показателя США, вследствие чего можно сказать о чуть более развитой финансовой доступности.

Столь низкие значения показателя в России можно связать с отсутствием необходимого доступа у населения страны по причине нехватки или отсутствия филиалов финансовых организаций в труднодоступных и малонаселенных пунктах. Помимо удаленности населенных пунктов

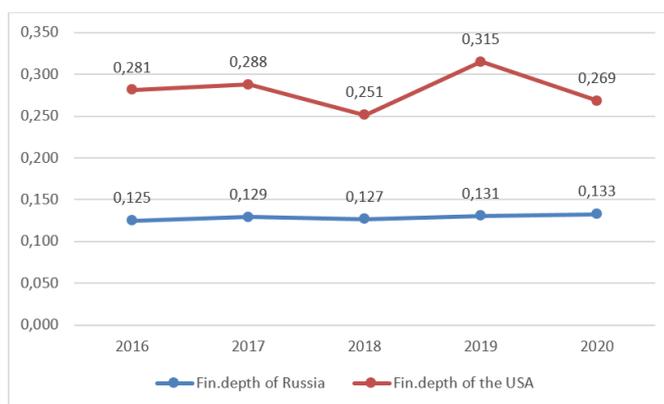


Рис. 1. Сравнительная диаграмма интегральных показателей фин. глубины России и США 2016–2020 гг.

Fig. 1. Comparative diagram of integral financial depth indicators in Russia and the USA in 2016–2020

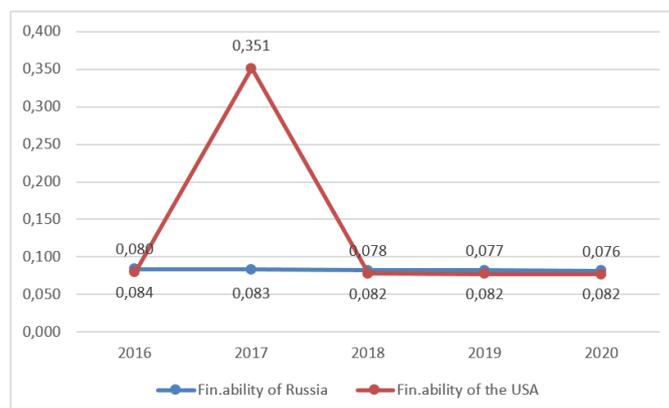


Рис. 2. Сравнительная диаграмма интегральных показателей фин. доступности России и США 2016–2020 гг.

Fig. 2. Comparative diagram of integral indicators for access to finance in Russia and the USA in 2016–2020

существует проблема ввиду отдельных групп населения, например, пожилые люди или люди с инвалидностью [17].

Для решения имеющихся проблем с доступностью были запущены специальные проекты по развитию дистанционных финансовых услуг, всё больше привлекают ИТ-специалистов для развития и обеспечения мобильных приложениями и улучшения уже имеющихся онлайн сайтов для обеспечения удобства пользования. Неотъемлемой частью финансовой доступности является финансовая грамотность. Банк России проводит просветительскую деятельность населения о возможных финансовых махинациях, о преимуществах и рисках отдельных финансовых продуктов и услуг. В начале 2023 года Банк России создал канал в одной популярной социальной сети Telegram с целью вести диалог с гражданами и держать их в курсе новостей соответственно.

Одной из возможных причин столь резкого скачка значения интегрального показателя США является увеличение дефицита госбюджета страны в 2017 году на 13,6%<sup>1</sup>. Потребительские доходы в январе 2017 года увеличились на \$63 млрд, или на 0,4% по сравнению с декабрем 2016 года, расходы выросли на \$22,2 млрд, или на 0,2%, сообщает бюро экономического анализа министерства торговли США [18].

<sup>1</sup> Дефицит бюджета США в 2017 фингоду вырос на 13,6%. Investing URL: <https://ru.investing.com/news/economic-indicators/article-516051>

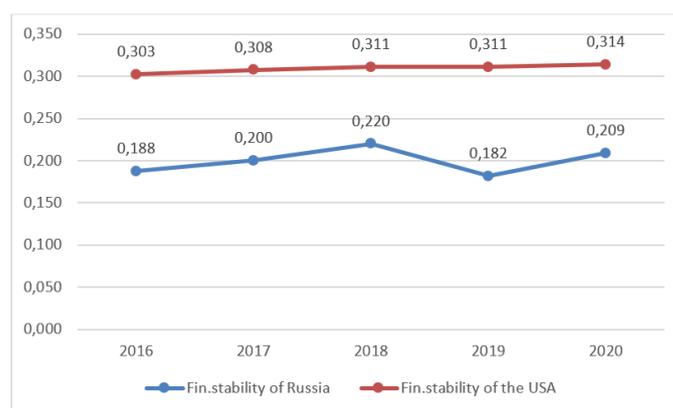


Рис. 3. Сравнительная диаграмма интегральных показателей фин. стабильности России и США 2016–2020 гг.

Fig. 3. Comparative diagram of integral financial stability indicators in Russia and the USA in 2016–2020

Резкий рост значения показателя можно связать с политикой кредитования США, т.к. один из частных показателей, который участвовал в расчете интегрального показателя, отражает borrowed from a formal financial institution. В мае 2017 года в США объемы потребительского кредитования, возобновляемых и невозобновляемых кредитов<sup>2</sup> на 5,8% (\$18,4 млрд), на 8,7% (\$1,019 трлн) и на 4,7% (\$2,82 трлн) соответственно.

Финансовая стабильность отражает устойчивость финансовой системы к шокам и бесперебойное и эффективное ее функционирование [19].

На рис. 3 можно увидеть, что интегральный показатель финансовой стабильности России имел положительный тренд до 2018 года, после чего в 2019 году показатель упал (0.182) и в 2020 году снова вырос (0.209). В целом данный показатель можно отнести к «низкому» уровню. С другой стороны, интегральный показатель США имеет положительную динамику роста. Ежегодно значение показателя немного увеличивается, вследствие чего можно отнести его к уверенному «среднему» уровню. Значение показателя финансовой стабильности США и его нединамичный темп роста демонстрирует нам абсолютную финансовую устойчивость системы США к шокам и ее бесперебойную работу [20].

На рис. 4 интегральный показатель финансовой эффективности России в целом имеет положительный ежегодно растущий тренд, немного проседая в 2017 году. На основании полученных значений интегральный показатель можно отнести к среднему уровню между «очень низким» и «низким».

С другой стороны, интегральный показатель финансовой стабильности имеет отрицательный тренд, после попытки роста в 2018 году показатель резко упал в 2019 году и продолжил падать в 2020 году. Одной из возможных причин резкого падения показателя может быть крупнейшее падение экономики США.

С тех пор дефицит бюджета подскочил отчасти из-за проведенной республиканцами реформы налоговой системы, которая в краткосрочной перспективе снизила доходы, а также увеличения военных расходов. К концу 2019 финансового года выплаты корпоративного налога выросли на 5%. Таможенные пошлины, которые были повышены в результате введения администрацией Трампа тарифов на Китай и другие страны, выросли на 70% в годовом исчислении и достигли рекордного уровня [21].

В 2020 году экономика США сократилась еще на 3,5%, что привело к первому осязаемому падению после произошедшего в 2008 финансового кризиса и Второй мировой войны. В связи

<sup>2</sup> Потребительское кредитование в США выросло в мае почти на 6%. Росбалт URL: <https://www.rosbalt.ru/business/2017/07/11/1629633.html> [Accessed:19.05.2023].

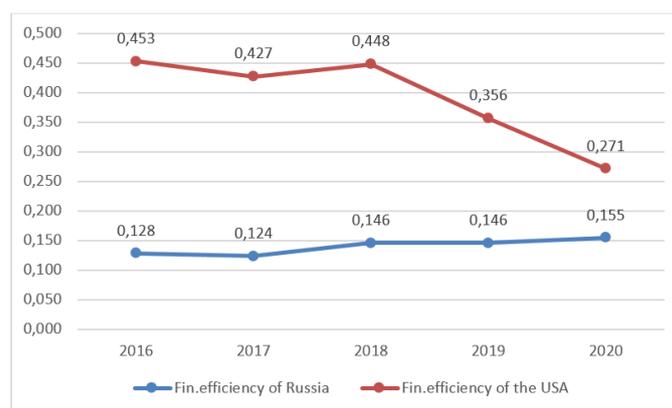


Рис. 4. Сравнительная диаграмма интегральных показателей фин. эффективности России и США 2016–2020 гг.  
 Fig. 4. Comparative diagram of integral financial efficiency indicators in Russia and the USA in 2016–2020

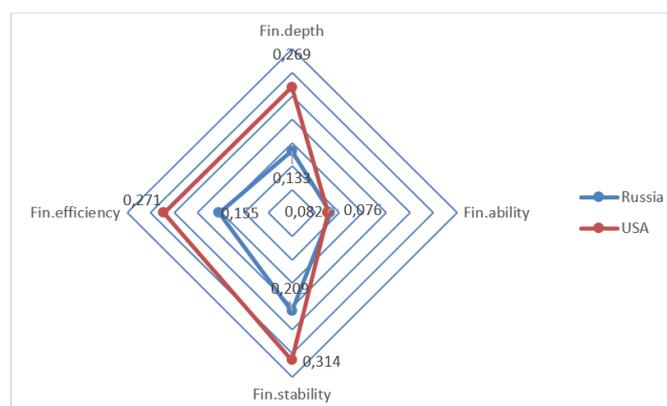


Рис. 5. Сравнительная радиолокационная карта России и США, 2020 г.  
 Fig. 5. Comparative radar map of Russia and the USA, 2020

со снижением расходов населения, экспорта, частных инвестиций в основной капитал и других факторов значительно сократилось значение ВВП<sup>3</sup>.

Сигналом для грядущих проблем в банковском секторе послужила нехватка свободных денег в банках для выполнения своих обязательств. Для изменения сложившейся ситуации Федеральный резерв начал в быстром порядке печатать доллары. Ранее регулятор прибегал к такой мере в 2008 году — во время мирового финансового кризиса [22].

Таким образом, в сравнении с другими странами интегральные показатели по России относятся к среднему уровню между «очень низкий» и «низкий». Однако несмотря на это за рассматриваемый промежуток времени значения показателей не имели динамичных изменений и оставались преимущественно стабильными. Это может свидетельствовать нам об успешной финансовой и банковской политике государства, а также о том, что финансовый рынок в целом находится в устойчивом состоянии.

Несмотря на то, что значения интегральных показателей США преимущественно можно отнести к «среднему» уровню и что доля финансового сектора в структуре ВВП по отраслям США превышает долю финансового сектора России в несколько раз, состояние финансового рынка

<sup>3</sup> Экономика США показала крупнейшее падение со времен Второй мировой войны. Forbes. URL: <https://www.forbes.ru/newsroom/finansy-i-investicii/419763-ekonomika-ssha-pokazala-krupneyshee-padenie-so-vremen-vtoroy>

США находится в нестабильном положении и преимущественно с конца 2018 года имеет негативный характер. Столь плохие результаты могут быть обоснованы не эффективной политикой правительства США по развитию и укреплению экономики страны.

### **Заключение**

В эпоху глобализации наблюдается высокая степень взаимосвязи между экономикой страны и состоянием ее финансового сектора. Эффективное функционирование и динамическое развитие финансового сектора становится насущной потребностью для обеспечения стабильного экономического роста. Однако, нередко многие развивающиеся страны на пути к этому развитию сталкиваются с рядом ограничений. Эти ограничения могут серьезно влиять на их финансовый потенциал, тормозя развитие финансовых систем. Таким образом, целесообразно разработать систему показателей оценки состояния финансового рынка в условиях интеллектуальной экономики. Во время исследования были получены следующие результаты:

1. В процессе исследования была разработана система показателей оценки состояния финансового рынка в условиях интеллектуальной экономики. В качестве характеризующих состояние финансового рынка выступали четыре финансовых показателя.

2. Сформирован инструментарий комплексного моделирования состояний финансового рынка в основе нечетко-множественного подхода. При помощи значимого массива данных удалось сформировать систему нечетко-множественных классификаторов интегральных показателей, используя данные 214 стран за обширный промежуток времени, а именно с 1960–2020 гг. Это позволило сформировать границы показателей и в дальнейшем определить их принадлежность.

3. Апробация разработанного инструментария применительно к сопоставимым объектам (в рамках исследования данными объектами выступают финансовые рынки России и США) показала, что на фоне США состояние российского финансового рынка оставалось преимущественно стабильным, данные имеют низкую дисперсию, а также относительно низкие значения показателей. Это может свидетельствовать нам об успешной финансовой и банковской политике государства, а также о том, что финансовый рынок в целом находится в устойчивом состоянии.

Таким образом, теоретическую значимость представляет собой сформированная нечетко-множественная модель, позволяющая сформировать интегральный показатель, объединяющий в себя значения частных показателей, отличающихся между собой величиной и мерами обозначений. Полученные результаты можно использовать при проведении исследований, касающихся особенностей применения нечетко-множественного моделирования для определения состояния финансового рынка.

Практическая значимость работы отражается в возможности модели адаптироваться к специфике финансовых рынков как развивающихся, так и развитых стран с целью оценки состояния рынка и последующей разработки действий по улучшению полученных результатов.

### **Направления дальнейших исследований**

В будущих исследованиях представляется актуальной категориальная детализация направлений моделирования финансового рынка на основе фундаментального анализа результатом применения разработанного инструментария.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Афанасьев М.П., Чуонг Ф.Т.Д., Шаш Н.Н. (2022) Перспективное регулирование государством финансового сектора (на примере экономики России). *Вопросы государственного и муниципального управления*, 3, 87–113. DOI: <https://doi.org/10.17323/1999-5431-2022-0-3-87-113>

2. Ha L.T. et al. (2022) Effects of digitalization on financialization: Empirical evidence from European countries. *Technology in Society*, 68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101851>
3. Yartey C.A. (2008) Financial development, the structure of capital markets, and the global digital divide. *Information economics and Policy*, 20 (2), 208–227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2008.02.002>
4. Лакшина О.А., Чекмарева Е.Н. (2005) Анализ финансовой стабильности: практика и методология. *Деньги и кредит*, 10, 24–29.
5. Кормилицына И.Г. (2011) Финансовая стабильность: сущность, факторы, индикаторы. *Финансы и кредит*, 35 (467), 44–54.
6. Ведерников В.В. (2006) Нечетко-множественное моделирование в анализе и прогнозировании экономических явлений и процессов: исторический аспект. *Проблемы современной экономики*, 1-2, 446–449.
7. Zadeh L.A. (1965) Fuzzy sets. *Information and control*, 8 (3), 338–353.
8. Ждахин И.Л. Нечетко-множественное моделирование. Принятие решений в условиях неопределенности. *Новые информационные технологии в образовании: материалы международной научно-практической конференции, 26–28 февраля 2008 г., Екатеринбург*, 13–14.
9. Игольникова О.С., Копылов А.В. (2010) Нечетко-множественная модель экспресс-оценки финансовой составляющей инновационного потенциала предприятия. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*, 4, 15–22.
10. Спиридонов С.Б., Булатова И.Г., Постников В.М. (2017) Анализ подходов к выбору весовых коэффициентов критериев методом парного сравнения критериев. *Науковедение*, 9 (6), 13.
11. Копылов А.В., Санжапов Б.Х. (2013) Модель принятия решения задачи определения параметров стратегического потенциала предприятия в условиях неопределенности. *Интернет-Вестник ВолгГАСУ*, 10, 1 (1).
12. Лебедева М.Е. (2019) Нечеткая логика в экономике-формирование нового направления. *Идеи и идеалы*, 11 (1-1), 197–212.
13. World Bank (2020) *Global Financial Development Report 2019/2020: Bank Regulation and Supervision a Decade after the Global Financial Crisis*. Available at: <http://hdl.handle.net/10986/32595> [Accessed: 18.04.2023].
14. Куштар М. (2022) Государственный контроль финансовых рынков в условиях цифровизации. *Инновации и инвестиции*, 5, 85–89.
15. Зотова А.И., Головенко Е.Е. (2015) Понятие «финансовой глубины» экономики и ее индикаторы. *Экономика и предпринимательство*, 5 (2), 411–414.
16. ЦБ РФ (2018) *Взаимосвязи финансовой доступности, финансовой стабильности и экономического роста: обзор публикаций*. Available at: [https://www.cbr.ru/Content/Document/File/44100/publ\\_15022018.pdf](https://www.cbr.ru/Content/Document/File/44100/publ_15022018.pdf) [Accessed: 19.05.2023].
17. ЦБ РФ (2023) *Финансовая доступность*. Available at: [https://cbr.ru/develop/development\\_affor/#:~:text=Financial%20affordability%20%E2%80%94%20this%20is%20full-fledged](https://cbr.ru/develop/development_affor/#:~:text=Financial%20affordability%20%E2%80%94%20this%20is%20full-fledged) [Accessed: 19.05.2023].
18. *Макроэкономика США. Статистический сборник* (2017) Available at: <https://marketing.rbc.ru/research/38749/> [Accessed: 19.05.2023].
19. Чекмарева Е.Н. (2007) Эффективность Российского финансового рынка. *Вестник Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова*, 3, 20–28.
20. Игонина Л.Л. (2016) Оценка финансового развития в российской экономике. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 1-2, 222–226.
21. Lindsay Dunsmuir (2019) *U.S. government's annual budget deficit largest since 2012*. Available at: <https://www.reuters.com/article/us-usa-economy-budget/u-s-governments-annual-budget-deficit-largest-since-2012-idUSKBN1X426T> [Accessed: 19.05.2023].
22. Цегоев В., Иванов В. (2019) *Вызовы и решения: что происходило с мировой экономикой в 2019 году* Available at: <https://russian.rt.com/business/article/699538-ekonomika-mir-itogi-2019> [Accessed: 19.05.2023].

## REFERENCES

1. Afanas'ev M.P., Chuong F.T.D., Shash N.N. (2022) Perspektivnoe regulirovanie gosudarstvom finansovogo sektora (na primere ekonomiki Rossii). *Voprosy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya*, 3, 87–113. DOI: <https://doi.org/10.17323/1999-5431-2022-0-3-87-113>
2. Ha L.T. et al. (2022) Effects of digitalization on financialization: Empirical evidence from European countries. *Technology in Society*, 68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101851>
3. Yartey C.A. (2008) Financial development, the structure of capital markets, and the global digital divide. *Information economics and Policy*, 20 (2), 208–227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2008.02.002>
4. Lakshina O.A., Chekmareva E.N. (2005) Analiz finansovoi stabil'nosti: praktika i metodologiya. *Den'gi i kredit*, 10, 24–29.
5. Kormilitsyna I.G. (2011) Finansovaya stabil'nost': sushchnost', faktory, indykatory. *Finansy i kredit*, 35 (467), 44–54.
6. Vedernikov V.V. (2006) Nechetko-mnozhestvennoe modelirovanie v analize i prognozirovanii ekonomicheskikh yavlenii i protsessov: istoricheskii aspekt. *Problemy sovremennoi ekonomiki*, 1-2, 446–449.
7. Zadeh L. A. (1965) Fuzzy sets. *Information and control*, 8 (3), 338–353.
8. Zhdakhin I.L. Nechetko-mnozhestvennoe modelirovanie. Prinyatie reshenii v usloviyakh neopredelennosti. *Novye informatsionnye tekhnologii v obrazovanii: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 26-28 fevralya 2008 g., Ekaterinburg*, 13–14.
9. Igol'nikova O.S., Kopylov A.V. (2010) Nechetko-mnozhestvennaya model' ekspress-otsenki finansovoi sostavlyayushchei innovatsionnogo potentsiala predpriyatiya. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 4, 15–22.
10. Spiridonov S.B., Bulatova I.G., Postnikov V.M. (2017) Analiz podkhodov k vyboru vesovykh koeffitsientov kriteriev metodom parnogo sravneniya kriteriev. *Naukovedenie*, 9 (6), 13.
11. Kopylov A.V., Sanzhapov B.Kh. (2013) Model' prinyatiya resheniya zadachi opredeleniya parametrov strategicheskogo potentsiala predpriyatiya v usloviyakh neopredelennosti. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 10, 1 (1).
12. Lebedeva M.E. (2019) Nechetkaya logika v ekonomike-formirovanie novogo napravleniya. *Idey i idealy*, 11 (1-1), 197–212.
13. World Bank (2020) *Global Financial Development Report 2019/2020: Bank Regulation and Supervision a Decade after the Global Financial Crisis*. Available at: <http://hdl.handle.net/10986/32595> [Accessed: 18.04.2023].
14. Kushtar M. (2022) Gosudarstvennyi kontrol' finansovykh rynkov v usloviyakh tsifrovizatsii. *Innovatsii i investitsii*, 5, 85–89.
15. Zotova A.I., Golovenko E.E. (2015) Ponyatie «finansovoi glubiny» ekonomiki i ee indykatory. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 5 (2), 411–414.
16. TsB RF (2018) *Vzaimosvyazi finansovoi dostupnosti, finansovoi stabil'nosti i ekonomicheskogo rosta: obzor publikatsii*. Available at: [https://www.cbr.ru/Content/Document/File/44100/publ\\_15022018.pdf](https://www.cbr.ru/Content/Document/File/44100/publ_15022018.pdf) [Accessed: 19.05.2023].
17. TsB RF (2023) *Finansovaya dostupnost'*. Available at: [https://cbr.ru/develop/development\\_affor/#:~:text=Financial%20affordability%20%E2%80%94%20this%20is%20full-fledged](https://cbr.ru/develop/development_affor/#:~:text=Financial%20affordability%20%E2%80%94%20this%20is%20full-fledged) [Accessed: 19.05.2023].
18. *Makroekonomika SShA. Statisticheskii sbornik* (2017) Available at: <https://marketing.rbc.ru/research/38749/> [Accessed: 19.05.2023].
19. Chekmareva E.N. (2007) Effektivnost' Rossiiskogo finansovogo rynka. *Vestnik Rossiiskoi ekonomicheskoi akademii im. G.V. Plekhanova*, 3, 20–28.
20. Igonina L.L. (2016) Otsenka finansovogo razvitiya v rossiiskoi ekonomike. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 1-2, 222–226.
21. Lindsay Dunsmuir (2019) *U.S. government's annual budget deficit largest since 2012*. Available at: <https://www.reuters.com/article/us-usa-economy-budget/u-s-governments-annual-budget-deficit-largest-since-2012-idUSKBN1X426T> [Accessed: 19.05.2023].
22. Tsegoev V., Ivanov V. (2019) *Vyzovy i resheniya: chto proiskhodilo s mirovoi ekonomikoi v 2019 godu* Available at: <https://russian.rt.com/business/article/699538-ekonomika-mir-itogi-2019> [Accessed: 19.05.2023].

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS**

**ПОЛЯНИНА Полина Вадимовна**

E-mail: po.polyanina@gmail.com

**Polina V. POLYANINA**

E-mail: po.polyanina@gmail.com

**РОДИОНОВ Дмитрий Григорьевич**

E-mail: rodion\_dm@mail.ru

**Dmitriy G. RODIONOV**

E-mail: rodion\_dm@mail.ru

**КОННИКОВ Евгений Александрович**

E-mail: konnikov.evgeniy@gmail.com

**Evgenii A. KONNIKOV**

E-mail: konnikov.evgeniy@gmail.com

*Поступила: 02.09.2023; Одобрена: 09.10.2023; Принята: 09.10.2023.*

*Submitted: 02.09.2023; Approved: 09.10.2023; Accepted: 09.10.2023.*

Научная статья

УДК 330.341

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16507>



## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНВЕРГЕНТНОСТИ ЦИФРОВОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ И ИНДУСТРИАЛЬНОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0 И 5.0

А.В. Бабкин<sup>1</sup> , Е.В. Шкарупета<sup>1,2</sup> , Л.В. Ташенова<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Воронежский государственный технический университет,  
г. Воронеж, Российская Федерация;

<sup>3</sup> Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова,  
г. Караганда, Республика Казахстан

 [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**Аннотация.** Актуальность исследования конвергенции цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации обусловлена существенным влиянием цифровых технологий на современные экономические системы, где они выступают катализатором инноваций, модернизации промышленной структуры и устойчивого развития в рамках концепций Индустрии 4.0 и 5.0. Целью исследования является разработка авторской методики оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в условиях Индустрий 4.0 и 5.0. Это позволит заполнить существующий пробел в научной литературе и предоставит инструментарий для анализа и сравнения эффективности применения цифровых технологий в различных экономических системах. Особое внимание уделено адаптации этой методики для условий Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0, что обогатило теоретическую базу и практические рекомендации в данной области. В исследовании применены методы дескриптивного, критерияльного, количественного, сравнительного и трендового анализа; методы систематизации, агрегирования и нормализации. Источником исходных данных в динамике с 2010 по 2022 гг. явился Росстат в части показателей информационного общества по состоянию на сентябрь 2023 г. Результаты исследования заключаются в разработке и успешной апробации авторской методики оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в общем по Российской Федерации, а также в сравнительном анализе динамики этого процесса между Россией и Китаем. Методика включает в свой состав 6 основных этапов. Новизна работы заключается в создании уникального инструментария для анализа конвергентности в условиях Индустрий 4.0 и 5.0, включающего систему показателей оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации из 2 первичных, 7 вторичных и 19 третичных показателей, что заполняет существующий пробел в академической литературе. Практическая ценность исследования выражается в сформулированных на основе эмпирических данных рекомендаций для стимулирования устойчивого развития цифровой экономики в России. Дальнейшие исследования могут быть направлены на детализацию методики оценки конвергентности для различных отраслей и географических регионов, интеграцию с другими индикаторами устойчивого развития и резильентности, а также на анализ эффективности различных этапов и механизмов внедрения цифровых технологий.

**Ключевые слова:** Цифровая экономика, Индустрия 4.0, конвергентность, цифровые предприятия, индустриализация, цифровизация

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-28-01316 «Стратегическое управление эффективным устойчивым ESG-развитием многоуровневой киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа в циркулярной экономике на основе концепции Индустрия 5.0: методология, инструментарий, практика», <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

Для цитирования: Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Ташенова Л.В. (2023) Методика оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в условиях Индустрии 4.0 и 5.0. *Т-Еconomy*, 16 (5), 91–108. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16507>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16507>



## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE CONVERGENCE OF DIGITAL INDUSTRIALIZATION AND INDUSTRIAL DIGITALIZATION IN THE CONDITIONS OF INDUSTRY 4.0 AND 5.0

A.V. Babkin<sup>1</sup> ✉, E.V. Shkarupeta<sup>1,2</sup> , L.V. Tashenova<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg, Russian Federation;

<sup>2</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation;

<sup>3</sup> Karaganda University named after academician Y.A Buketov,  
Karaganda, The Republic of Kazakhstan

✉ [al-vas@mail.ru](mailto:al-vas@mail.ru)

**Abstract.** The relevance of the study of the convergence of digital industrialization and industrial digitalization is due to the significant impact of digital technologies on modern economic systems, where they act as a catalyst for innovation, modernization of the industrial structure and sustainable development within the framework of the concepts of Industry 4.0 and 5.0. The purpose of the study is to develop an author's methodology for assessing the convergence of the digital industrialization and industrial digitalization in the conditions of Industry 4.0 and 5.0. This will fill the existing gap in the scientific literature and provide a tool for analyzing and comparing the effectiveness of digital applications in various economic systems. Particular attention is paid to the adaptation of this methodology for the conditions of Industry 4.0 and 5.0, which enriched the theoretical basis and practical recommendations in this area. The study applied methods of descriptive, criteria, quantitative, comparative and trend analysis; methods of systematization, aggregation and normalization. The source of initial data in dynamics from 2010 to 2022 was Rosstat in terms of information society indicators as of September 2023. The results of the study consist in the development and successful testing of the author's methodology for assessing the convergence of the digital industrialization and industrial digitalization in general in the Russian Federation, as well as in a comparative analysis of the dynamics of this process between Russia and China. The method includes 6 main stages. The novelty of the work lies in creation of a unique tool for convergence analysis in Industry 4.0 and 5.0, which includes a system of indicators for assessing the convergence of digital industrialization and industrial digitalization from 2 primary, 7 secondary and 19 tertiary indicators, which fills the existing gap in the academic literature. The practical value of the study is expressed in recommendations formulated on the basis of empirical data to stimulate the sustainable development of the digital economy in Russia. Further research may focus on detailing the convergence assessment methodology across industries and geographies, integration with other indicators of sustainability and resiliency, and effectiveness analysis for different stages and mechanisms of digital adoption.

**Keywords:** Digital Economy, Industry 4.0, Convergence, Digital Enterprises, Industrialization, Digitalization

**Acknowledgements:** The research was financially supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-28-01316 “Strategic management of effective sustainable ESG development of a multi-level cyber-social industrial ecosystem of a cluster type in a circular economy based on the concept of Industry 5.0: methodology, tools, practice”, <https://rscf.ru/project/23-28-01316>

**Citation:** Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Tashenova L.V. (2023) Methodology for assessing the convergence of digital industrialization and industrial digitalization in the conditions of Industry 4.0 and 5.0. *Т-Еconomy*, 16 (5), 91–108. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16507>

## Введение

### *Актуальность исследования*

Актуальность конвергенции цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации является неоспоримой в контексте современных экономических и технологических трендов, когда множественные и кумулятивные эффекты широкого применения цифровых технологий порождают новые бизнес-модели и стимулируют высококачественное развитие региональных экономик. Цифровая технология все больше становится ключевым фактором, определяющим конкурентоспособность промышленности. Конвергенция между цифровой индустриализацией и цифровизацией промышленности:

- не только способствует модернизации промышленной структуры, но и улучшает инновационную способность, повышает инновационный потенциал;
- представляет собой стратегический вектор, способный обеспечить резильентность и устойчивое развитие экономики в условиях Индустрии 4.0 и 5.0;
- является индикатором, позволяющим оценить устойчивость цифровой экономики, актуализирует глубокую конвергенцию цифровой экономики и экономики реального сектора.

*Объектом исследования* являются процессы цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации как проекции цифровой экономики РФ, зародившиеся в условиях Индустрии 4.0, функционирующие и развивающиеся в условиях Индустрии 5.0.

*Предметом исследования* выступают управленческие, организационные и экономические отношения, возникающие в процессе решения комплекса теоретических, научно-методических и практических вопросов и проблем конвергентного управления цифровой реиндустриализацией и индустриальной цифровизации в условиях Индустрии 4.0 и 5.0.

Базис области исследования определяется теориями индустриализации, модернизации [1] и реиндустриализации [2]; концепциями Индустрий 4.0 [3] и 5.0 [4]; конвергентной концепцией цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации, заложенной в 2020–2022 гг. Китайской академией информационных и коммуникационных технологий (China Academy of Information and Communications Technology, CAICT) [5–9] и развитой в части теоретической концептуализации и методической оценки конвергентности [10, 11].

## Литературный обзор

### *Теории индустриализации, модернизации и реиндустриализации в промышленности*

Анализ определений понятия *индустриализации* [12–16] позволяет авторам выделить несколько ключевых аспектов этого сложного и многофакторного процесса. Во-первых, во всех определениях присутствует элемент крупного машинного производства как основы индустриализации. Во-вторых, акцент делается на переходе от аграрного типа экономики к индустриальному, что подразумевает не только технологические изменения, но и структурные сдвиги в экономике. В-третьих, индустриализация связана с применением научно-технических инноваций и развитием новых технологий. Также стоит отметить, что индустриализация рассматривается как целенаправленный процесс, в ходе которого происходит не только модернизация производства, но и значительное увеличение доли промышленного сектора в общей структуре экономики. Это, в свою очередь, ведет к высвобождению кадровых ресурсов для других сфер деятельности, что является важным фактором социального развития.

По мнению Б.Н. Порфирьева и соавторов [17], *модернизация* представляет собой комплексный процесс, направленный на создание индустриальной базы с отраслевой структурой и технической оснащенностью, соответствующими мировым стандартам. Этот процесс также включает в себя установление взаимной автономии социальных сфер, что предполагает создание развитых систем социальной защиты, а также укрепление правовой защищенности человека. В этом контексте модернизация является не только технологическим, но и социально-экономическим процессом.

По мнению Е.М. Бухвальда и А.В. Бабкина [18], *новая индустриализация*, или *неоиндустриализация* — это процесс, который идет дальше простой модернизации и предполагает формирование новых отраслей и направлений, основанных на передовых технологиях и инновациях. Это может включать в себя развитие высокотехнологичных отраслей, таких как искусственный интеллект, биотехнологии, нанотехнологии и другие.

Анализ различных определений *реиндустриализации*, представленных в статьях разных авторов [19–21], позволяет выявить несколько ключевых аспектов этого процесса. Во-первых, реиндустриализация рассматривается как интенсивное развитие промышленности, основанное на крупных инвестициях в новые технологии и оборудование. Во-вторых, акцентируется внимание на необходимости модернизации и инновационного развития как отдельных отраслей, так и промышленности в целом. Также стоит отметить, что реиндустриализация охватывает не только технологическую, но и социально-институциональную сферы, требуя согласованных изменений в различных аспектах жизни общества. Это подчеркивает многоуровневый и многоаспектный характер реиндустриализации, включающий в себя технологические, экономические, социальные и управленческие изменения. Таким образом, реиндустриализация является комплексной экономической стратегией, направленной на модернизацию и инновационное развитие промышленности. Она представляет собой набор конкретных мероприятий, которые должны быть реализованы в рамках приоритетов развития передовых и высокотехнологичных отраслей промышленности, включая применение технологий Индустрии 4.0.

#### *Индустрия 4.0 и Индустрия 5.0*

Подробный литературный обзор концепций Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0 выполнен авторами в своих предыдущих исследованиях [4, 22, 23].

Индустрия 4.0 представляет собой новую парадигму в развитии промышленности, которая тесно связана с процессами индустриализации и модернизации. Эта концепция акцентирует внимание на цифровизации, автоматизации и сетевой интеграции производственных процессов. Она также коррелирует с NBIC-конвергенцией (*Nano-Bio-Info-Cognito*), которая объединяет нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии и когнитивные науки в единый комплекс, способствуя созданию новых материалов, процессов и бизнес-моделей.

Индустрия 5.0, в свою очередь, фокусируется на более глубокой интеграции человека и машины, а также на устойчивом и персонализированном производстве. Эта концепция тесно связана с процессом реиндустриализации, который предполагает пересмотр существующих производственных практик с целью их оптимизации и адаптации к новым социально-технологическим реалиям. Индустрия 5.0 также ассоциируется с SCBIN-конвергенцией (*Socio-Cognito-Bio-Info-Nano*), в которой социальные, когнитивные, биологические, информационные и нанотехнологии сливаются для создания новых форм производства и социальной организации.

*Конвергентная концепция цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации и их связь с Индустриями 4.0 и 5.0*

В 2020 году САИСТ представила «Фреймворк четырёх ориентаций» в цифровой экономике (рис. 1). Цифровая индустриализация и индустриальная цифровизация в данном фреймворке выступают соответственно второй и третьей ориентацией совместно с развитием валуизации данных как процессу присвоения им экономической стоимости (первой ориентацией) и цифровым управлением (четвертой ориентацией цифровой экономики).

Под *цифровой индустриализацией* САИСТ понимает информационно-коммуникационную индустрию, включающую в себя индустрию производства электронной информации, телекоммуникационную индустрию, индустрию программного обеспечения и информационно-технологических услуг, интернет-индустрию и т.д. Цифровая индустриализация включает в себя, в частности, 5G, интегральные схемы, программное обеспечение, искусственный интеллект, большие данные, облачные вычисления, блокчейн и другие технологии, продукты и услуги. Цифровая индустри-



Рис. 1. «Фреймворк четырёх ориентаций» в цифровой экономике CAICT  
 Fig. 1. CAICT's Framework of "Four Orientations" in Digital Economy

ализация фокусируется на пересмотре и оптимизации существующих производственных систем с использованием цифровых технологий, таких как интернет вещей, большие данные и искусственный интеллект. Это совпадает с основными принципами Индустрии 4.0, которые включают в себя автоматизацию, цифровизацию и сетевую интеграцию [23].

*Индустриальная цифровизация (цифровизация промышленности)* рассматривается как повышение объемов и эффективности производства за счет применения цифровых технологий в традиционных отраслях. Цифровизация промышленности включает в себя, в частности, промышленный Интернет, интеграцию индустриализации и модернизации, интеллектуальное производство, Интернет транспортных средств, платформенную экономику и другие интегрированные новые отрасли, новые модели и новые формы бизнеса. Индустриальная цифровизация подразумевает не только применение новых технологий, но и их интеграцию в социально-экономические процессы с целью создания более гибких, адаптивных и устойчивых промышленных систем. Это соответствует стратегическим ориентирам Индустрии 5.0, которые включают в себя персонализацию производства, устойчивое развитие и глубокую интеграцию человека и машины [24].

Xuejun Jin и Xiao Pan [11] доказывают, что цифровая индустриализация и индустриальная цифровизация стабильно развиваются, и в 2021 году масштаб цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации составил 8,4 триллиона юаней и 3,72 миллиарда юаней соответственно.

Матрица соотношения теорий модернизации, индустриализации и реиндустриализации, концепций цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации с Индустриями 4.0 и 5.0 представлена в табл. 1.

*Существующие методы и методики измерения и оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации*

CAICT предлагает следующий оценочный фреймворк для измерения цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации [5–9]:

– в контексте цифровой индустриализации фокусируемся на добавленной стоимости, создаваемой в сфере информационных технологий. Этот показатель охватывает инновации в области цифровых технологий и производство цифровых продуктов. Основные компоненты включают в себя электронное информационное производство, индустрию информационных коммуникаций, Интернет-индустрию и индустрию программных услуг. Масштабы цифровой индустриализации в этом контексте измеряются как сумма добавленной стоимости этих компонент;

– что касается индустриальной цифровизации, здесь ключевым является показатель добавленной стоимости и повышения эффективности в других, нецифровых секторах экономики за счет применения цифровых технологий и продуктов. Масштабы цифровизации отрасли в этом

случае определяются через уровень повышения эффективности производства, который достигается за счет интеграции и проникновения информационно-коммуникационных продуктов и услуг в другие сектора экономики.

**Таблица 1. Матрица соотнесения теорий индустриализации, модернизации и реиндустриализации, концепций цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации с Индустриями 4.0 и 5.0**  
**Table 1. Matrix of Correlation between Theories of Industrialization, Modernization, and Reindustrialization with Concepts of Digital Reindustrialization and Industrial Digitization in the Context of Industry 4.0 and 5.0**

Концепции	Индустрия 4.0	Индустрия 5.0
Теории индустриализации, модернизации и реиндустриализации	Индустриализация включает в себя адаптацию новых технологий и может считаться начальным этапом на пути к Индустрии 4.0	Реиндустриализация может быть интерпретирована как переход от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0. Если Индустрия 4.0 фокусируется на автоматизации и цифровизации, то Индустрия 5.0 добавляет в эту картину элементы сотрудничества между человеком и машиной, устойчивого развития и персонализации производства. Реиндустриализация в этом контексте означает адаптацию промышленности к новым технологическим и социальным требованиям, включая внедрение принципов Индустрии 5.0
	Модернизация тесно связана с концепцией Индустрии 4.0, которая предполагает внедрение цифровых технологий, интернета вещей, больших данных и искусственного интеллекта в промышленные процессы. Модернизация в этом контексте означает переход от устаревших технологий к современным, цифровым решениям	
NBIC-конвергенция (Nano-Bio-Info-Cognito) и SCBIN-конвергенция (Socio-Cognito-Bio-Info-Nano)	Индустрия 4.0 коррелирует с NBIC-конвергенцией, которая объединяет нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии и когнитивные науки в единый комплекс, способствуя созданию новых материалов, процессов и бизнес-моделей	Индустрия 5.0 ассоциируется с SCBIN-конвергенцией, в которой социальные, когнитивные, биологические, информационные и нанотехнологии сливаются для создания новых форм производства и социальной организации
Конвергентная концепция цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации	Концепция цифровой индустриализации тесно связана с парадигмой Индустрии 4.0, поскольку обе направлены на интеграцию цифровых технологий в промышленные процессы	Концепция индустриальной цифровизации находит свое отражение в Индустрии 5.0, которая, в дополнение к технологическим инновациям, акцентирует внимание на человеческом факторе и устойчивости

Источник: составлено авторами

Yaozhi Xu и Liling Xu [10] измеряют уровень цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в каждой провинции Китая в период с 2013 по 2019 год и проверяют его влияние на сложность экспортных технологий и его механизм. Указанные авторы разработали соответствующую систему измерения показателей уровня цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации, представленную в табл. 2.

Конвергенция между цифровой индустриализацией и индустриальной цифровизацией оценивается Yaozhi Xu и Liling Xu на основе расчета итогового коэффициента  $CDI_{IDit}$  с использованием метода координированного развития [10]:

$$CDI_{IDit} = \frac{\min(CDI_{ID1it}, CDI_{ID2it})}{\max(CDI_{ID1it}, CDI_{ID2it})}, \quad (1)$$

где  $CDI_{ID1it}$  – коэффициент подсистемы «индустриальная цифровизация, управляемая цифровой индустриализацией», отражающий разрыв между уровнем индустриальной цифровизации, требуемым для цифровой индустриализации провинции  $i$  в году  $t$ , и этим показателем во всех провинциях в том же году [10]:

$$CDI_{ID1i} = \exp(\hat{y}(DIG_{it}, i, t) - \max_{i=1, \dots, n} \hat{y}(DIG_{it}, i, t)), \quad (2)$$

$CDI_{ID2it}$  – коэффициент подсистемы «индустриальная цифровизация способствует цифровой индустриализации» [10]:

$$CDI_{ID2i} = \exp(\hat{y}(IND_{it}, i, t) - \max_{i=1, \dots, n} \hat{y}(IND_{it}, i, t)). \quad (3)$$

$CDI_{IDit}$  принимает значения в диапазоне [0, 1]; чем ближе значение к 1, тем лучше конвергенция между цифровой индустриализацией и индустриальной цифровизацией и тем выше устойчивость и резильентность системы цифровой экономики [10].

**Таблица 2. Показатели оценки уровня цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации Yaozhi Xu и Liling Xu**  
**Table 2. Indicators of the Level of Digital Industrialization and Industrial Digitalization by Yaozhi Xu and Liling Xu**

Первичные индикаторы	Вторичные индикаторы	Третичные индикаторы
Цифровая индустриализация	Цифровая инфраструктура	1. Длина оптических кабельных линий 2. Количество базовых станций мобильной связи
	Цифровая среда	3. Количество портов широкополосного доступа в интернет 4. Количество доменных имен в интернете 5. Доходы от индустрии программного обеспечения 6. Выход информационных услуг 7. Общий объем телекоммуникационного бизнеса
	Цифровые таланты	8. Количество людей, занятых в сфере информационных услуг 9. Количество людей, работающих в индустрии программного обеспечения 10. Эквивалент полного рабочего времени персонала по НИОКР
Индустриальная цифровизация	Цифровые финансы	11. Ширина охвата цифровых финансов 12. Глубина использования цифровых финансов 13. Цифровизация цифровых финансов
	Цифровые транзакции	14. Уровни мобильных онлайн-платежей 15. Транзакции в электронной коммерции 16. Количество проведенных бизнес-операций в электронной коммерции
	Цифровая помощь	17. Количество компаний с веб-сайтами 18. Количество компьютеров в использовании на конец периода 19. Уровень проникновения мобильных телефонов

Источник: [10]

Результаты исследования Yaozhi Xu и Liling Xu показали, что уровень конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации [10]:

– играет положительную роль в повышении сложности экспортных технологий, и в краткосрочной перспективе необходимо уделять больше внимания развитию цифровизации промышленности для повышения сложности экспортных технологий;

– повышает сложность экспортных технологий через каналы модернизации промышленной структуры и повышения инновационной способности.

Qiong Wang и Yihan Wei [25] проводят исследование влияния цифровой экономики на технологические инновации, в контексте которого разработали соответствующую систему измерения показателей цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации, представленную в табл. 3.

**Таблица 3. Показатели измерения уровня цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации Qiong Wang и Yihan Wei**  
**Table 3. Indicators of the Level of Digital Industrialization and Industrial Digitalization by Qiong Wang and Yihan Wei**

Системный слой	Индикаторный слой	Описание индикатора	Единица измерения
Цифровая индустриализация	1. Практикующие в цифровой индустрии	Среднегодовое количество сотрудников в отраслях программного обеспечения, передачи информации и технологических услуг	человек
	2. Доходы от программного бизнеса	Доходы от программного бизнеса	10 <sup>4</sup> юаней
	3. Доходы от телеком-бизнеса	Доходы от телеком-бизнеса	10 <sup>4</sup> юаней
	4. Количество пользователей цифрового ТВ	Общее количество пользователей цифрового ТВ	10 <sup>4</sup> домохозяйств
Индустриальная цифровизация	5. Продажи в электронной коммерции	Продажи в электронной коммерции	10 <sup>8</sup> юаней
	6. Уровень онлайн-розничных транзакций	Доля онлайн-розничных транзакций в ВВП	%
	7. Покрытие корпоративных сайтов	Доля компаний с веб-сайтами	%
	8. Индекс цифрового финансового включения	Индекс цифрового финансового включения Пекинского университета	–
	9. Объем экспресс-услуг	Объем экспресс-услуг	10 <sup>4</sup> штук

Источник: [25]

В результате исследования Qiong Wang и Yihan Wei эмпирически на примере китайских промышленных предприятий за период 2016–2020 гг. подтвердили две гипотезы [25]:

– Цифровая индустриализация оказывает стимулирующее влияние на технологическую инновацию предприятий.

– Индустриальная цифровизация может значительно способствовать технологической инновации на предприятиях.

Сравнение двух индикаторных систем для оценки цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации (табл. 2 и 3) показывает различия в подходах и фокусе. Система Yaozhi Xu и Liling Xu [10] (табл. 2) предлагает более разветвленный подход, включая третичные индикаторы и разнообразные аспекты, такие как цифровая инфраструктура, цифровая среда и цифровые таланты. Эта система кажется более детализированной и охватывает широкий спектр факторов, влияющих на цифровую индустриализацию и индустриальную цифровизацию.

С другой стороны, система Qiong Wang и Yihan Wei [25] (табл. 3) фокусируется на ключевых индикаторах, таких как доходы от программного и телеком-бизнеса, уровень онлайн-розничных

транзакций и индекс цифрового финансового включения. Эта система кажется более концентрированной и направлена на измерение экономического влияния и эффективности.

По результатам литературного обзора идентифицирована *научная проблема*, связанная с отсутствием унифицированных и масштабируемых методик оценки конвергентности цифровой индустрии и индустриальной цифровизации, которые были бы апробированы в международном контексте, за исключением Китая. Это создает пробел в научных исследованиях и ограничивает возможности для анализа и сравнения эффективности применения цифровых технологий в промышленности на глобальном уровне в условиях Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0.

### **Цель исследования**

Целью данного исследования является разработка авторской методики оценки конвергентности цифровой индустрии и индустриальной цифровизации в условиях Индустрий 4.0 и 5.0. Это позволит заполнить существующий пробел в научной литературе и предоставит инструментарий для анализа и сравнения эффективности применения цифровых технологий в различных экономических системах. Особое внимание будет уделено адаптации этой методики для условий Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0, что обогатит теоретическую базу и практические рекомендации в данной области.

Задачи исследования включают:

- разработку авторской методики оценки конвергентности цифровой индустрии и индустриальной цифровизации в условиях Индустрий 4.0 и 5.0;
- апробацию предложенной методики в целом по Российской Федерации в динамике за 2010–2022 гг.;
- выявление основных тенденций развития конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в целом по Российской Федерации и сравнение динамики цифровой конвергентности с Китаем;
- формулировка практических рекомендаций для дальнейшего развития цифровой экономики в России.

### **Методы и материалы**

В статье применяются следующие основные методы исследования:

- Дескриптивный анализ используется для описания характеристик выбранной системы показателей и их классификации на первичные, вторичные и третичные уровни.
- Критериальный анализ на основе шести ключевых критериев (актуальность, доступность, охват, своевременность, соответствие и прозрачность) применяется для отбора показателей, включаемых в систему.
- На основе количественного анализа производится расчет среднеарифметических значений по третичным и вторичным индикаторам для формирования итогового показателя конвергентности.
- Сравнительный анализ позволяет сопоставить данные по Российской Федерации с данными по Китаю для выявления ключевых тенденций и различий между двумя странами.
- На основе трендового анализа изучается динамика итогового показателя конвергентности на протяжении ряда лет для выявления основных тенденций.

Дополнительно использован метод систематизации для упорядочивания собранных данных и показателей в соответствии с определенными критериями или логикой, что облегчает последующий анализ. Метод агрегирования используется для суммирования или усреднения данных по определенным группам показателей, что позволяет сделать выводы на более высоком уровне абстракции. На основе метода нормализации различные показатели приведены к общей шкале и единицам измерения, что необходимо для сравнения и агрегирования данных.



Рис. 2. Основные этапы методики оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации  
 Fig. 2. General Framework for Assessing the Convergence of Digital Industrialization and Industrial Digitalization

### Результаты и обсуждение

Авторская методика оценки конвергентности цифровой индустрии и индустриальной цифровизации в условиях Индустрий 4.0 и 5.0 представляет собой последовательный и структурированный подход к анализу и включает следующие основные этапы, представленные на рис. 2.

На *первом этапе* осуществляется выбор показателей на основе ряда критериев, таких как актуальность, доступность и прозрачность. Этот этап критичен для обеспечения релевантности и точности последующего анализа.

Предлагаемая авторами система показателей оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в условиях Индустрий 4.0 и 5.0 представлена в табл. 4. Выбор показателей для включения в систему основан на шести ключевых критериях: актуальность, доступность, охват, своевременность, соответствие и прозрачность.

**Таблица 4. Система показателей оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации**  
**Table 4. System of Indicators for Assessing the Convergence of Digital Industrialization and Industrial Digitalization**

Первичные индикаторы	Вторичные индикаторы	Третичные индикаторы	Ед. изм.
Цифровая индустриализация	Цифровая инфраструктура	1. Проникновение подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 100 человек населения	Ед.
		2. Уровень цифровизации местной телефонной сети – всего	%
		3. Доля организаций, использующих широкополосный доступ к сети Интернет, в общем числе организаций	%
		4. Доля организаций, использующих доступ к сети Интернет со скоростью не менее 2 Мбит/с, в общем числе организаций	%
	Цифровая среда	5. Доля внутренних затрат на научные исследования и разработки сектора ИКТ, в общем объеме внутренних затрат на научные исследования и разработки	%
		6. Удельный вес принципиально новых технологий, в общем числе разработанных передовых производственных технологий	%
		7. Объем инвестиций в основной капитал, направленных на приобретение информационного, компьютерного и телекоммуникационного (ИКТ) оборудования, в фактически действовавших ценах	Млн руб.
	Цифровые таланты	8. Численность исследователей, выполнявших научные исследования и разработки, на 10000 занятых в экономике	Чел.
		9. Удельный вес занятых в секторе ИКТ в общей численности занятого населения	%

Окончание таблицы 4

Индустриальная цифровизация	Электронная коммерция	10. Доля организаций, размещавших заказы на товары (работы услуги) в Интернете, в общем числе обследованных организаций	%
		11. Доля организаций, получавших заказы на выпускаемые товары (работы, услуги) по Интернету, в общем числе обследованных организаций	%
		12. Доля учреждений здравоохранения, имевших веб-сайт, в общем числе обследованных учреждений здравоохранения	%
	Цифровая культура	13. Доля учреждений культуры, имевших веб-сайт, в общем числе обследованных учреждений культуры	%
		14. Число доступных в Интернете музейных предметов, внесенных в электронный каталог и имеющих цифровые изображения на 10 000 предметов общего музейного фонда	Ед.
	Цифровое управление бизнес-процессами	15. Доля организаций, имевших специальные программные средства для управления закупками товаров (работ, услуг), в общем числе обследованных организаций	%
		16. Доля организаций, имевших специальные программные средства для управления продажами товаров (работ, услуг), в общем числе обследованных организаций	%
		17. Доля организаций, использовавших ERP-системы, в общем числе обследованных организаций	%
		18. Доля организаций, использовавших CRM-системы, в общем числе обследованных организаций	%
Электронное образование	19. Доля образовательных учреждений высшего профессионального образования, подключенных к Интернету по широкополосному доступу (256 Кбит/сек и выше), в общем числе обследованных учреждений высшего профессионального образования – всего	%	

Источник: разработано авторами на основе показателей Мониторинга развития информационного общества в Российской Федерации Росстата

Авторская система показателей оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации представляет собой многомерный инструментарий, включающий в себя различные аспекты, начиная от инфраструктуры и заканчивая уровнем цифрового/электронного образования. Система разделена на две основные категории: цифровая индустриализация и индустриальная цифровизация, каждая из которых далее подразделяется на вторичные и третичные индикаторы.

В категории «Цифровая индустриализация» особое внимание уделяется инфраструктурным показателям, таким как проникновение мобильной связи и уровень цифровизации местной телефонной сети. Это отражает важность базовой инфраструктуры для развития цифровой экономики. Также здесь рассматриваются инвестиции в ИКТ-оборудование и уровень занятости в секторе ИКТ, что позволяет оценить вклад этого сектора в экономику и его потенциал для инноваций.

В категории «Индустриальная цифровизация» фокус смещается на применение цифровых технологий в различных отраслях, включая электронную коммерцию, управление бизнес-процессами, электронное образование и здравоохранение. Здесь основной акцент делается на интеграции и проникновении цифровых технологий в традиционные отрасли, что является ключевым фактором для повышения их эффективности и конкурентоспособности.

*Второй этап*, сбор данных, является фундаментальным для всего исследования. Здесь важно использовать надежные источники и методы сбора данных для минимизации возможных искажений.

Фактические значения показателей системы оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в целом по Российской Федерации представлены в табл. 5.

**Таблица 5. Фактические значения показателей системы оценки конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в целом по Российской Федерации**  
**Table 5. Actual Values of Indicators for the Assessment System of Convergence of Digital Industrialization and Industrial Digitalization Across the Russian Federation**

Показатель	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	166,4	179,0	182,7	193,3	190,8	193,8	197,8	200,3	196,9	211,0	208,1	220,9	215,2
2	81,0	85,3	86,4	87,9	88,7	89,6	91,0	92,6	93,3	94,4	95,0	96,0	96,8
3	56,7	63,4	76,6	79,4	81,2	79,5	81,8	83,2	86,5	86,6	58,1	75,6	74,1
4	22,1	26,7	47,0	50,2	50,9	52,2	55,3	58,4	62,7	65,0	78,5	67,2	66,7
5	1,3	1,5	2,9	2,2	2,3	3,7	3,6	2,5	2,4	2,0	3,0	2,4	2,6
6	11,8	9,7	10,2	10,7	11,6	12,5	12,5	13,6	11,6	13,4	10,1	11,9	11,7
7	170255,2	248641,5	293661,4	283415,6	292151,9	304987,7	284667,7	389600,1	484298,0	617770,6	728511,5	756221,5	822203,1
8	54,6	55,3	54,8	54,3	55,1	52,5	51,4	50,1	48,6	49,0	49,8	48,0	47,8
9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7	1,8	1,7	1,7
10	35,0	39,2	41,1	43,4	41,7	41,3	41,6	41,2	42,2	43,3	40,7	42,0	41,8
11	16,9	17,1	18,0	18,9	17,6	18,2	19,3	20,1	22,5	23,7	24,7	26,4	30,6
12	18,1	31,6	56,6	66,6	66,4	72,1	77,0	78,5	79,6	86,7	85,6	88,0	88,6
13	14,9	18,6	23,3	26,9	27,7	32,0	37,3	42,4	45,6	50,0	45,2	47,8	48,2
14	—	49	56	80	116	147	265	454	839	1261	1760	2217	2805
15	—	36,1	36,2	38,6	36,3	38,4	37,8	36,2	38,3	39,0	23,7	26,9	33,7
16	—	24,3	22,8	22,9	20,3	21,9	21,8	22,0	25,9	26,0	16,0	18,6	26,6
17	5,1	6,2	6,5	7,5	10,1	9,3	10,7	12,2	13,8	14,8	11,5	13,8	21,9
18	4,1	4,6	5,0	5,7	7,2	9,9	9,4	10,3	13,2	13,9	10,8	13,4	21,9
19	84,3	87,7	94,2	94,7	94,6	92,7	94,3	96,0	86,2	90,3	93,1	93,4	93,7

Источник: составлено авторами по данным Росстата на сентябрь 2023 года<sup>1</sup>

*Третий этап*, нормализация данных по методу минимакса, позволяет привести разнообразные показатели к единой шкале, что облегчает их последующее сравнение и агрегирование.

*Четвертый этап* включает расчет итогового показателя конвергентности на основе среднеарифметических значений по третичным и вторичным индикаторам. Это дает количественную оценку уровня конвергентности и позволяет провести сравнительный анализ.

Расчет итогового показателя на основе среднеарифметических значений по третичным и вторичным индикаторам представлен в табл. 6.

*Пятый этап* — анализ и интерпретация результатов — предполагает глубокий анализ полученных данных, выявление ключевых тенденций, аномалий и возможных причин наблюдаемых явлений.

Анализ полученных результатов позволил выявить основные тенденции и динамику конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в целом по Российской Федерации:

1. Итоговый показатель конвергентности в целом демонстрирует положительную динамику, начиная с 0,18 в 2010 году и достигая 0,75 в 2022 году. Это указывает на усиление взаимодействия и интеграции между цифровой индустриализацией и индустриальной цифровизацией.

2. Цифровая инфраструктура показывает стабильный рост, что является основой для развития всех других показателей. Она начинает с нулевого значения в 2010 году и достигает 0,8 в 2022 году.

<sup>1</sup> Информационное общество. Росстат. <https://rosstat.gov.ru/statistics/infocommunity>

**Таблица 6. Итоговый показатель конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в целом по Российской Федерации**  
**Table 6. Final Indicator of Convergence of Digital Industrialization and Industrial Digitalization Across the Russian Federation**

Показатели	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<i>Итоговый показатель конвергентности цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации</i>	0,18	0,30	0,47	0,52	0,53	0,55	0,59	0,62	0,49	0,66	0,61	0,65	0,75
Цифровая индустриализация	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
Цифровая инфраструктура	0,0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8
Цифровая среда	0,18	0,07	0,33	0,27	0,36	0,64	0,62	0,61	0,48	0,64	0,56	0,64	0,68
Цифровые таланты	0,70	0,75	0,72	0,68	0,74	0,56	0,49	0,40	0,05	0,33	0,63	0,26	0,25
Индустриальная цифровизация	0,07	0,25	0,45	0,54	0,50	0,51	0,58	0,65	0,55	0,71	0,60	0,71	0,91
Электронная коммерция	0,00	0,24	0,45	0,61	0,51	0,54	0,60	0,61	0,71	0,82	0,74	0,84	0,94
Цифровая культура	0,00	0,06	0,12	0,18	0,20	0,26	0,36	0,47	0,58	0,72	0,74	0,86	0,97
Цифровое управление бизнес-процессами	0,28	0,42	0,40	0,46	0,43	0,52	0,52	0,54	0,73	0,77	0,19	0,37	0,91
Электронное образование	0,00	0,29	0,85	0,89	0,88	0,72	0,85	1,00	0,16	0,51	0,75	0,78	0,80

Источник: рассчитано авторами

3. Цифровая среда и цифровые таланты имеют волатильную динамику. Например, показатель цифровых талантов снижается с 0,70 в 2010 году до 0,25 в 2022 году, что может свидетельствовать о несоответствии спроса и предложения на рынке труда в данной сфере.

4. Индустриальная цифровизация и ее подкатегории (электронная коммерция, цифровая культура, управление бизнес-процессами и электронное образование) в целом демонстрируют положительную динамику, особенно заметную после 2015 года. Это указывает на успешную интеграцию цифровых технологий в традиционные отрасли.

5. Некоторые показатели, такие как электронное образование и управление бизнес-процессами, имеют значительные колебания, что может отражать влияние экстерналий факторов или изменения в методологии исследования.

В целом, данные указывают на успешную конвергенцию цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации, хотя существуют определенные проблемы, требующие дополнительного исследования и корректировки политики в области цифровой трансформации экономики.

Полученные результаты оценки конвергентности по РФ могут быть сравнены с динамикой цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации, рассчитанной Хуеюн Джин и Хяо Пан [11] с 2016 по 2021 г. по Китаю (табл. 7).

Анализ данных по динамике развития цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в России и Китае выявляет ряд ключевых тенденций и различий между двумя странами.

1. Цифровая индустриализация: в Китае наблюдается стабильный и высокий рост темпов цифровой индустриализации, достигающий 57,69% к 2021 году относительно 2016 года. В России же динамика неравномерна, с падением на 26,82% в 2018 году и незначительным ростом в последующие годы.

2. Индустриальная цифровизация: в Китае также наблюдается более выраженная положительная динамика, с ростом на 113,79% к 2021 году. В России рост также присутствует, но он неравномерен и значительно меньше по амплитуде, достигая 21,96% к 2021 году.

**Таблица 7. Сравнение динамики развития цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации по РФ и Китаю**  
**Table 7. Comparison of the Development Dynamics of Digital Industrialization and Industrial Digitalization in Russia and China**

Показатель	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Темп прироста цифровой индустриализации в РФ к 2016 году, %	0,00%	-1,67%	-26,82%	3,54%	5,49%	-0,99%
Темп прироста цифровой индустриализации в Китае к 2016 году, %	0,00%	19,23%	23,08%	36,54%	44,23%	57,69%
Темп прироста индустриальной цифровизации в РФ к 2016 году, %	0,00%	11,80%	-6,51%	20,59%	3,42%	21,96%
Темп прироста индустриальной цифровизации в Китае к 2016 году, %	0,00%	20,69%	43,10%	65,52%	82,18%	113,79%

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата и [11]

3. Волатильность развития: российский рынок характеризуется большей волатильностью как в сфере цифровой индустриализации, так и индустриальной цифровизации. Это может свидетельствовать о нестабильности внешнего и внутреннего экономического окружения, а также о недостаточной эффективности политики в данной сфере.

4. Конвергенция и резильентность: несмотря на различия в темпах роста, в обеих странах наблюдается положительная динамика в индустриальной цифровизации, что указывает на возможности для конвергенции и увеличения резильентности цифровых экономик.

*Шестой этап* заключается в формулировке рекомендаций, которые могут быть как стратегического, так и тактического характера, и направлены на оптимизацию процессов цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации.

На основе проведенного анализа авторами сформулированы практические рекомендации для дальнейшего развития цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в России.

1. Инвестиции в цифровую инфраструктуру: учитывая положительную динамику в развитии цифровой инфраструктуры, необходимо увеличить инвестиции в эту сферу, включая развитие широкополосного доступа и базовых станций мобильной связи.

2. Развитие цифровых талантов: следует активизировать программы подготовки и переподготовки кадров в сфере ИКТ, чтобы сократить дисбаланс между спросом и предложением на рынке труда.

3. Стимулирование инноваций в цифровой среде: необходимо создать механизмы для стимулирования инновационной активности, включая налоговые льготы и гранты для исследований и разработок в области цифровых технологий.

4. Интеграция цифровых технологий в традиционные отрасли: для ускорения индустриальной цифровизации следует разработать комплексные программы, направленные на интеграцию цифровых технологий в традиционные отрасли экономики.

5. Регулятивная поддержка: важным аспектом является создание благоприятного регулятивного окружения, которое будет способствовать развитию цифровой экономики, включая электронную коммерцию, цифровое управление и электронное образование.

6. Мониторинг и анализ: рекомендуется установить систему постоянного мониторинга и анализа показателей цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации, чтобы своевременно корректировать стратегии и тактики развития.

7. Международное сотрудничество: для обмена опытом и технологиями следует активизировать международное сотрудничество в данной сфере, включая участие в международных исследовательских проектах и программах.

Эти рекомендации могут служить отправной точкой для формирования комплексной стратегии развития цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в России.

Разработанная методика представляет собой комплексный инструментарий для оценки и анализа конвергентности в сфере цифровой индустрии, что особенно актуально в контексте быстро развивающихся технологий и экономических реалий Индустрий 4.0 и 5.0.

### **Заключение**

1. Разработана авторская методика оценки конвергентности цифровой индустрии и индустриальной цифровизации, адаптированная для условий Индустрий 4.0 и 5.0. Этот результат является новаторским и заполняет пробел в существующей научной литературе.

2. Проведена успешная апробация предложенной методики на данных Российской Федерации за период 2010–2022 гг. Это позволило выявить основные тенденции и динамику развития конвергентности в цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации.

3. Осуществлено сравнение динамики цифровой конвергентности между Россией и Китаем, что является важным вкладом в международные исследования в данной области.

4. Сформулированы практические рекомендации для дальнейшего развития цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации в России, основанные на полученных исследовательских данных.

В целом, исследование успешно достигло поставленной цели и задач, что обогатило теоретическую базу и предоставило практические рекомендации для дальнейшего развития цифровой экономики.

### **Направления дальнейших исследований**

Один из наиболее перспективных векторов исследования — это анализ конвергентности в различных отраслях промышленности. Это позволит более точно адаптировать методику для конкретных экономических секторов и учитывать их специфику. Важным аспектом является изучение географических различий в развитии цифровой индустриализации и индустриальной цифровизации. Это может включать в себя сравнительный анализ между различными регионами внутри страны или между разными странами. Существует потребность в интеграции разработанной методики с другими моделями и индикаторами, такими как индексы устойчивого развития или резильентности. Кроме того, очень актуальным является вопрос о том, какие этапы и механизмы внедрения цифровых технологий наиболее эффективны и как они соотносятся с уровнем конвергентности в различных отраслях и регионах.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Махмудова Г.Н., Бабкин А.В. (2020) Теоретические аспекты инновационного развития в условиях модернизации экономики. *π-Economy*, 82 (2), 40–52.

2. Шкарупета Е.В. (2017) Реиндустриализация промышленности в условиях цифровой трансформации. *Проблемы современных экономических, правовых и естественных наук в России*, 185–188.

3. Бабкин А.В. (2017) Цифровая экономика, индустрия 4.0 и формирование государственной промышленной политики. *Стратегическое планирование и развитие предприятий*, 580–585.

4. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. (2021) Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: понятие, сущность, модель. *Экономическое возрождение России*, 4 (70), 39–62.

5. Digital Economy Development in China (2020). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202007/t20200706\\_285683.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202007/t20200706_285683.html) [Accessed 10.09.2023].

6. A New Vision of the Global Digital Economy (2020). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202010/t20201027\\_360756.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202010/t20201027_360756.html) [Accessed 10.09.2023].
7. White Paper on China's Digital Economy Development (2021). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202104/t20210429\\_375940.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202104/t20210429_375940.html) [Accessed 10.09.2023].
8. Report on the Development of China's Digital Economy (2022). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202208/t20220819\\_407677.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202208/t20220819_407677.html) [Accessed 10.09.2023].
9. White Paper on Global Digital Economy (2022). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202303/t20230316\\_416850.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202303/t20230316_416850.html) [Accessed 10.09.2023].
10. Xu Y., Xu L. (2023) The Convergence between Digital Industrialization and Industrial Digitalization and Export Technology Complexity: Evidence from China. *Sustainability*, 15 (11), 9081.
11. Jin X., Pan X. (2023) Government Attention, Market Competition and Firm Digital Transformation. *Sustainability*, 15 (11), 9057.
12. Усольцева А.В. (2017) Реиндустриализация промышленности как приоритетная задача государства. *NovaInfo*, 3 (62), 198–202.
13. Сухарев О.С. (2014) Реиндустриализация экономики России и технологическое развитие. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 10, 2–16.
14. Бодрунов С.Д. (2015) Какая индустриализация нужна России? *Экономическое возрождение России*, 2 (44), 6–17.
15. Li J., Li G. (2023) What drives resource sustainability in Asia? Discovering the moderating role of financial development and industrialization. *Resources Policy*, 85, 103650.
16. Göçoğlu V., Göksu S. (2023) How do industrialization and agricultural land use affect urban population in Turkey? Policy implications in the context of SDGs. *Journal of Policy Modeling*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2023.08.004>
17. Порфирьев Б.Н. и др. (2017) *Модернизация промышленности и развитие высокотехнологичных производств в контексте «зеленого» роста*, монография, М.: Научный консультант.
18. Бухвальд Е.М., Бабкин А.В. (2015) «Новая индустриализация» и становление промышленной политики в России. *Реструктуризация экономики России и промышленная политика, INDUSTRY-2015, Санкт-Петербург, 24 марта 2015 года*, 13–30.
19. Путин В.В. (2012) О наших экономических задачах. *Ведомости*, 30 (3029), 2.
20. Бодрунов С.Д. (2014) Реиндустриализация экономики: начнем с импортозамещения? *Экономическое возрождение России*, 3 (41), 5–7.
21. Романова О.А., Бухвалов Н.Ю. (2014) Реиндустриализация как определяющая тенденция экономического развития промышленных территорий. *Фундаментальные исследования*, 6-1, 151–155.
22. Бабкин А.В., Либерман И.В., Клачек П.М., Шкарупета Е.В. (2023) Индустрия 5.0: основы создания системной тетрады киберсоциальных экосистем. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*, 1, 103–120.
23. Ташенова Л.В., Бабкин А.В. (2021) Индустрия 5.0 и киберсоциальные экосистемы: сущность и особенности. *Индустрия 5.0, цифровая экономика и интеллектуальные экосистемы (ЭКО-ПРОМ-2021). Сборник трудов IV Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции и XIX сетевой конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 18–20 ноября 2021 года*, 200–205.
24. Zhang T., Li N. (2023) Measuring digital economy: From the perspective of digital industrialization and industry digitalization. *Procedia Computer Science*, 221, 1006–1012.
25. Ma R., Lin B. (2023) Digitalization and energy-saving and emission reduction in Chinese cities: Synergy between industrialization and digitalization. *Applied Energy*, 345, 121308.
26. Wang Q., Wei Y. (2023) Research on the Influence of Digital Economy on Technological Innovation: Evidence from Manufacturing Enterprises in China. *Sustainability*, 15 (6), 4995.

## REFERENCES

1. Makhmudova G.N., Babkin A.V. (2020) Teoreticheskie aspekty innovatsionnogo razvitiya v usloviyakh modernizatsii ekonomiki. *π-Economy*, 82 (2), 40–52.
2. Shkarupeta E.V. (2017) Reindustrializatsiya promyshlennosti v usloviyakh tsifrovoy transformatsii. *Problemy sovremennykh ekonomicheskikh, pravovykh i estestvennykh nauk v Rossii*, 185–188.
3. Babkin A.V. (2017) Tsifrovaya ekonomika, industriya 4.0 i formirovaniye gosudarstvennoy promyshlennoy politiki. *Strategicheskoye planirovaniye i razvitiye predpriyatii*, 580–585.
4. Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. (2021) Intellektual'naya kibersotsial'naya ekosistema Industrii 5.0: ponyatiye, sushchnost', model'. *Ekonomicheskoye vozrozhdeniye Rossii*, 4 (70), 39–62.
5. Digital Economy Development in China (2020). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202007/t20200706\\_285683.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202007/t20200706_285683.html) [Accessed 10.09.2023].
6. A New Vision of the Global Digital Economy (2020). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202010/t20201027\\_360756.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202010/t20201027_360756.html) [Accessed 10.09.2023].
7. White Paper on China's Digital Economy Development (2021). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202104/t20210429\\_375940.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202104/t20210429_375940.html) [Accessed 10.09.2023].
8. Report on the Development of China's Digital Economy (2022). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202208/t20220819\\_407677.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202208/t20220819_407677.html) [Accessed 10.09.2023].
9. White Paper on Global Digital Economy (2022). *China Academy of Information and Communications Technology*. [online] Available at: [http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202303/t20230316\\_416850.html](http://www.caict.ac.cn/english/research/whitepapers/202303/t20230316_416850.html) [Accessed 10.09.2023].
10. Xu Y., Xu L. (2023) The Convergence between Digital Industrialization and Industrial Digitalization and Export Technology Complexity: Evidence from China. *Sustainability*, 15 (11), 9081.
11. Jin X., Pan X. (2023) Government Attention, Market Competition and Firm Digital Transformation. *Sustainability*, 15 (11), 9057.
12. Usol'tseva A.V. (2017) Reindustrializatsiya promyshlennosti kak prioritelnaya zadacha gosudarstva. *NovaInfo*, 3 (62), 198–202.
13. Sukharev O.S. (2014) Reindustrializatsiya ekonomiki Rossii i tekhnologicheskoye razvitiye. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 10, 2–16.
14. Bodrunov S.D. (2015) Kakaya industrializatsiya nuzhna Rossii? *Ekonomicheskoye vozrozhdeniye Rossii*, 2 (44), 6–17.
15. Li J., Li G. (2023) What drives resource sustainability in Asia? Discovering the moderating role of financial development and industrialization. *Resources Policy*, 85, 103650.
16. Göçoğlu V., Göksu S. (2023) How do industrialization and agricultural land use affect urban population in Turkey? Policy implications in the context of SDGs. *Journal of Policy Modeling*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2023.08.004>
17. Porfir'ev B.N. i dr. (2017) *Modernizatsiya promyshlennosti i razvitiye vysokotekhnologichnykh proizvodstv v kontekste "zelenogo" rosta*, monografiya, M.: Nauchnyi konsul'tant.
18. Bukhval'd E.M., Babkin A.V. (2015) "Novaya industrializatsiya" i stanovleniye promyshlennoy politiki v Rossii. *Restrukturizatsiya ekonomiki Rossii i promyshlennaya politika, INDUSTRY-2015, Sankt-Peterburg, 24 marta 2015 goda*, 13–30.
19. Putin V.V. (2012) O nashikh ekonomicheskikh zadachakh. *Vedomosti*, 30 (3029), 2.
20. Bodrunov S.D. (2014) Reindustrializatsiya ekonomiki: nachnem s importozameshcheniya? *Ekonomicheskoye vozrozhdeniye Rossii*, 3 (41), 5–7.
21. Romanova O.A., Bukhvalov N.Yu. (2014) Reindustrializatsiya kak opredelyayushchaya tendentsiya ekonomicheskogo razvitiya promyshlennykh territorii. *Fundamental'nye issledovaniya*, 6-1, 151–155.
22. Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M., Shkarupeta E.V. (2023) Industriya 5.0: osnovy sozdaniya sistemnoy tetrady kibersotsial'nykh ekosistem. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*, 1, 103–120.
23. Tashenova L.V., Babkin A.V. (2021) *Industriya 5.0 i kibersotsial'nye ekosistemy: sushchnost' i osobennosti. Industriya 5.0, tsifrovaya ekonomika i intellektual'nye ekosistemy (EKOPROM-2021). Sbornik*

*trudov IV Vserossiiskoi (Natsional'noi) nauchno-prakticheskoi konferentsii i XIX setevoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Sankt-Peterburg, 18–20 noyabrya 2021 goda, 200–205.*

24. Zhang T., Li N. (2023) Measuring digital economy: From the perspective of digital industrialization and industry digitalization. *Procedia Computer Science*, 221, 1006–1012.

25. Ma R., Lin B. (2023) Digitalization and energy-saving and emission reduction in Chinese cities: Synergy between industrialization and digitalization. *Applied Energy*, 345, 121308.

26. Wang Q., Wei Y. (2023) Research on the Influence of Digital Economy on Technological Innovation: Evidence from Manufacturing Enterprises in China. *Sustainability*, 15 (6), 4995.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**БАБКИН Александр Васильевич**

E-mail: al-vas@mail.ru

**Aleksandr V. BAVKIN**

E-mail: al-vas@mail.ru

**ШКАРУПЕТА Елена Витальевна**

E-mail: 9056591561@mail.ru

**Elena V. SHKARUPETA**

E-mail: 9056591561@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3644-4239>

**ТАШЕНОВА Лариса Владимировна**

E-mail: larisatash\_88@mail.ru

**Larissa V. TASHENOVA**

E-mail: larisatash\_88@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5022-0421>

*Поступила: 05.09.2023; Одобрена: 23.10.2023; Принята: 23.10.2023.*

*Submitted: 05.09.2023; Approved: 23.10.2023; Accepted: 23.10.2023.*

Научная статья

УДК 332.024

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16508>



## МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0

Ю.В. Вертакова<sup>1</sup> ✉, И.Н. Булгакова<sup>2</sup>, Дин Ш.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Курский филиал Финансового университета при Правительстве  
Российской Федерации, г. Курск, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет,  
г. Воронеж, Российская Федерация;

<sup>3</sup> Шаньдунский университет, Цзинань, КНР

✉ [vertakova7@yandex.ru](mailto:vertakova7@yandex.ru)

**Аннотация.** Актуальность. В условиях Индустрии 4.0 предприятия АПК пытаются найти способы повышения их эффективности и конкурентоспособности. Организации должны быть готовы использовать новые технологии и новые методы управления производством, чтобы повысить его эффективность, гибкость и качество. Одним из способов достижения этой цели является следование глобальным трендам, одним из которых является цифровизация управленческой деятельности. Цифровизация такой недостаточно часто упоминаемой в современной литературе сферы, как АПК, является приоритетной и требует дополнительных исследований и разработок. Цель исследования – рассмотреть методы и инструменты цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса и предложить инструментарий выбора наиболее подходящей по комплексу выделенных критериев, учитывающих специфические требования предприятий АПК, цифровой платформы. В процессе исследования были использованы общенаучные методы анализа и синтеза, а также специальные методы экономико-статистических исследований (метод дискретной оптимизации). В статье рассмотрены основные изменения, которые происходят под воздействием цифровых преобразований Индустрии 4.0, методы и инструменты цифровой трансформации предприятий различных сфер деятельности, критерии выбора инструментов цифровизации, виды цифровых платформ. Прикладные исследования проведены для предприятий АПК. Рассмотрены самые известные цифровые платформы, показано как встроить в них «сквозные» технологии. Показано как сформировать критерии выбора инструментов цифровизации для принятия digital-решений в управлении предприятиями агропромышленного комплекса. Апробирован метод дискретной оптимизации, решена комбинаторная задача о покрытии множества. Проведенный анализ позволил обобщить, какие требования предъявляют потребители к функциональным возможностям цифровых платформ и доказать, что комбинации платформ FarmLogs и Climate FieldView или FarmLogs и John Deere Operations Center могут полноценно обеспечить потребности предприятия агропромышленного комплекса на настоящем этапе его цифровой трансформации. Выводы: Доказано, что для агропромышленного комплекса выбор цифровой платформы и применяемых в них «сквозных» технологий может быть осуществлен методом дискретной оптимизации путем решения задачи о покрытии. Направления дальнейших исследований: развитие предложенного подхода, адаптация его к специфическим условиям различных подсистем АПК.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, цифровая платформа, агропромышленный комплекс, дискретная оптимизация

**Для цитирования:** Вертакова Ю.В., Булгакова И.Н., Дин Ш. (2023) Методы и инструменты цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса в условиях индустрии 4.0. П-Economy, 16 (5), 109–122. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16508>



## METHODS AND TOOLS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF AGRO-INDUSTRIAL ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0

Yu.V. Vertakova<sup>1</sup> ✉, I.N. Bulgakova<sup>2</sup>, Din S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kursk branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Kursk, Russian Federation;

<sup>2</sup> Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation;

<sup>3</sup> Shandong University, Jinan, People's Republic of China

✉ [vertakova7@yandex.ru](mailto:vertakova7@yandex.ru)

**Abstract.** Relevance. In the context of Industry 4.0, agricultural enterprises are trying to find ways to increase their efficiency and competitiveness. They must be ready to use new technologies and adopt new production management methods in order to increase efficiency, flexibility and quality of production. One of the ways to achieve this goal is to follow global trends, one of which is the digitalization of management activities. Digitalization of such an area, which is not often mentioned in modern literature, as the agro-industrial complex, is a priority and requires additional research and development. The purpose of the study is to consider methods and tools of digital transformation of agro-industrial enterprises and to offer tools for choosing the most suitable digital platform according to a set of selected criteria that take into account the specific requirements of agro-industrial enterprises. In the course of the research, general scientific methods of analysis and synthesis were used, as well as special methods of economic and statistical research (the method of discrete optimization). The article discusses the main changes that occur under the influence of digital transformations of Industry 4.0, methods and tools of digital transformation of enterprises in various fields of activity, criteria for choosing digitalization tools, types of digital platforms. Applied research was conducted for agricultural enterprises. The most famous digital platforms are considered, it is shown how to integrate "end-to-end" technologies into them. It is shown how to form criteria for choosing digitalization tools for making digital decisions in the management of enterprises of the agro-industrial complex. The method of discrete optimization is tested, the combinatorial set cover problem is solved. The analysis made it possible to summarize what requirements consumers have for the functionality of digital platforms and to prove that combinations of FarmLogs and Climate FieldView platforms or FarmLogs and John Deere Operations Center can fully meet the needs of an agro-industrial complex enterprise at the present stage of its digital transformation. Conclusions: It is proved that for the agro-industrial complex, the choice of a digital platform and the "end-to-end" technologies used in them can be carried out by the method of discrete optimization by solving the set cover problem. Directions for further research: development of the proposed approach, its adaptation to the specific conditions of various subsystems of the agro-industrial complex.

**Keywords:** digital transformation, digital platform, agro-industrial complex, discrete optimization

**Citation:** Vertakova Yu.V., Bulgakova I.N., Din S. (2023) Methods and tools of digital transformation of agro-industrial enterprises in the context of Industry 4.0. *П-Economy*, 16 (5), 109–122. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16508>

### Введение

В условиях Индустрии 4.0 цифровизация экономической деятельности организаций стремительно развивается и всеобъемлюще влияет на все сферы социально-экономического развития. Например, в <sup>1</sup> подробно рассмотрено как активное внедрение и применение цифровых платформ обуславливает трансформацию явлений и процессов общественной жизни, организаций различных сфер деятельности. Рассмотрению различных аспектов цифровой эпохи, драйверов цифровой трансформации посвящён ряд работ [4, 11, 13, 15, 19].

<sup>1</sup> Дин Ш. Цифровая трансформация управления организациями с использованием платформенного подхода: дис. ... канд. экон. наук. Курск, 2023. 168 с.

Цифровая трансформация определила активное развитие и внедрение технологических решений в сферу АПК. Цифровые инновации становятся основным инструментом развития сельскохозяйственных компаний и перерабатывающих предприятий. При этом основным инструментом такой трансформации может стать внедрение платформенных экосистем, что доказывает актуальность исследования.

*Цель исследования* – изучить методы и инструменты цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса в условиях Индустрии 4.0

*Объектом настоящего исследования* являются предприятия АПК, внедряющие сквозные технологии и цифровые платформенные решения.

*Предметом исследования* являются организационно-экономические отношения, возникающие в процессе цифровой трансформации управления организациями АПК.

#### *Литературный обзор*

Проблема цифровой трансформации управления послужила предметом исследования множества ученых.

Вопросы цифровизации и цифровой трансформации рассмотрены в работах отечественных и иностранных ученых, таких как Алексеев А.Н., Бабкин А.В., Биль И., Бреннер С., Валендук Г., Вертакова Ю.В., Вендрамин П., Виггедал А., Вырковский А.В., Грибанов Ю.И., Данилова Л.Н., Крамерс А., Крейсс Д., Маккуэйл Д., Никулина Т.В., Плотников В.А., Шкарупета Е.В., Фомичева Т.В., Хагберг Дж., Хазас М., Хойер М., Шатров А.А., Юй Ш. и др.

Несмотря на значительное число научных исследований, проблема цифровой трансформации управления организациями с использованием платформенного подхода требует дальнейшей теоретико-методической и научно-практической проработки и рассмотрения применительно к различным сферам экономики, в частности к АПК.

#### **Результаты и обсуждения**

Цифровые преобразования оказывают значительное влияние на бизнес-среду организаций. Они изменяют способы работы, взаимодействия с клиентами и конкурентами, а также требуют новых навыков и знаний у сотрудников. В условиях Индустрии 4.0 организации должны быть готовы к использованию новых технологий и принимать новые методы управления производством, чтобы повысить эффективность, гибкость и качество производства. Некоторые из основных изменений, которые происходят под воздействием цифровых преобразований Индустрии 4.0, включают:

1. Изменение моделей бизнеса: цифровые технологии позволяют предприятиям создавать новые модели бизнеса и менять существующие. Например, появление электронной коммерции позволило компаниям продавать свои товары и услуги через интернет, что раньше было невозможно.
2. Увеличение скорости и эффективности процессов: автоматизация и цифровизация процессов позволяют сократить время на выполнение задач и увеличить производительность.
3. Улучшение взаимодействия с клиентами: цифровые технологии позволяют предприятиям лучше понимать потребности своих клиентов и предоставлять им персонализированные услуги и продукты.
4. Повышение конкурентоспособности: предприятия, которые успешно используют цифровые технологии, могут быть более конкурентоспособными на рынке и привлекать больше клиентов.
5. Необходимость новых навыков и знаний: цифровые преобразования требуют от сотрудников новых навыков и знаний, таких как умение работать с различными программными продуктами и понимание цифровых процессов.

В целом, цифровые преобразования изменяют бизнес-среду организаций, делая ее, по нашему мнению, более эффективной, конкурентоспособной и ориентированной на клиента. При этом, цифровизация развивается дифференцировано, неравномерно.

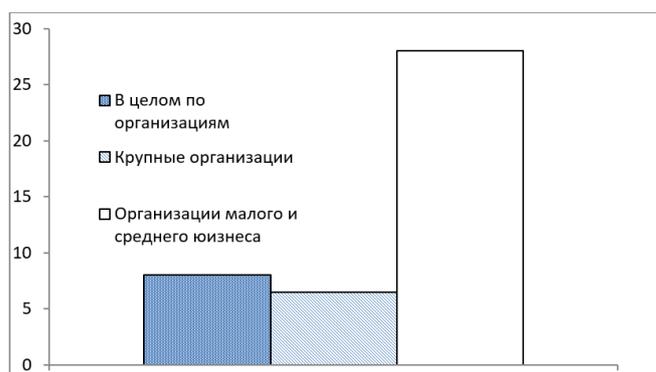


Рис. 1. Использование в 2021 г. технологий искусственного интеллекта в разбивке по размерам предприятий (% предприятий)  
составлено по [1]

Fig. 1. Use of artificial intelligence technologies in 2021 by enterprise size (% of enterprises)  
compiled from [1]

Так, крупные предприятия чаще внедряют цифровые технологии. В [1] приводится статистика по странам ЕС, в соответствии с которой обмен электронной информацией с помощью программного обеспечения для планирования ресурсов предприятия (ERP) гораздо чаще встречается на крупных предприятиях (81%), чем на малых и средних предприятиях (37%). В социальных сетях более чем в два раза больше представлены предприятия крупные (61%) по сравнению с МСП (28%). МСП используют возможности электронной коммерции лишь в ограниченной степени: только 18% этих предприятий осуществляют продажи через Интернет (по сравнению с 38% крупных предприятий) и только 9% осуществляют трансграничные онлайн-продажи (по сравнению с 24% крупных предприятий). МСП еще предстоит использовать множество других технологических возможностей, таких как облачные сервисы и большие данные. При этом наблюдается такой интересный факт, что организации МСП значительно в большей степени, чем крупные организации и чем в целом по экономике, используют технологии искусственного интеллекта (рис. 1).

Наиболее известные крупные организации, которые широко применяют цифровые технологии в управлении и IoT-технологии, это – IBM, Microsoft, Amazon, Google, Siemens, Schneider Electric, Honeywell и др. Они разрабатывают и предлагают свои собственные продукты и решения для управления производством, энергосистемами, транспортом, зданиями и др. Также существуют специализированные компании, которые предоставляют услуги по разработке и внедрению систем управления и IoT-технологий для конкретных отраслей, например, PrecisionHawk для сельского хозяйства или Cognizant для здравоохранения. При этом цифровые технологии распространяются неравномерно по секторам экономики (рис. 2).

Существует множество методов и инструментов цифровой трансформации предприятия, которые могут помочь организации стать более эффективной и конкурентоспособной в условиях стремительной цифровизации экономики. Некоторые из них включают:

1. Использование облачных технологий для хранения и обработки данных.
2. Внедрение систем управления ресурсами предприятия (ERP) для автоматизации бизнес-процессов.
3. Применение искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) для анализа данных и прогнозирования трендов.
4. Внедрение систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) для улучшения взаимодействия с клиентами.
5. Использование интернета вещей (IoT) для сбора и анализа данных о производственных процессах и оборудовании.

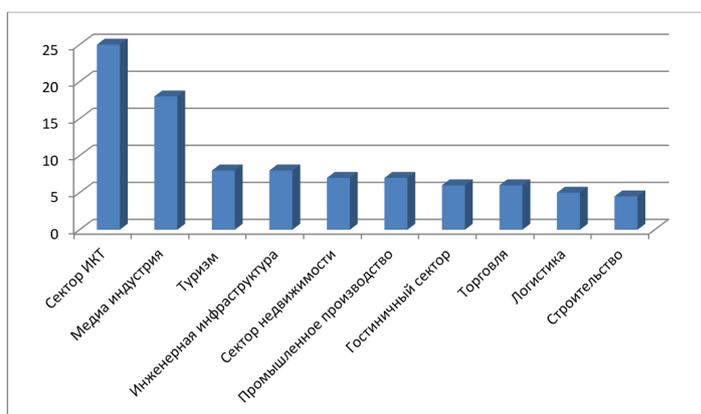


Рис. 2. Использование цифровых технологий по секторам экономики  
составлено по [1]

Fig. 2. Use of digital technologies by economic sector  
compiled from [1]

6. Создание цифровых платформ для управления бизнес-процессами и взаимодействия с клиентами.

7. Внедрение системы электронной коммерции для расширения рынка сбыта.

8. Разработка мобильных приложений для улучшения взаимодействия с клиентами и повышения мобильности сотрудников.

9. Использование блокчейн-технологии для обеспечения безопасности и целостности данных.

10. Внедрение аналитики данных для принятия обоснованных управленческих решений.

В отчете Еврокомиссии «Индекс цифровой экономики и общества» [1, с. 62] показано, что наибольшее число стартапов, направленных на цифровую трансформацию, активно работают в области искусственного интеллекта и больших данных, и в будущем их число, будет динамично расти еще больше. Три другие области потенциально могут наверстать упущенное: передовое производство и робототехника; блокчейн; сельскохозяйственные технологии и новые продукты питания.

На последний момент в нашем исследовании мы хотим обратить основное внимание. Мы полагаем, что инструменты цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса (АПК) имеют в настоящее время особый интерес.

В АПК широкое распространение получили различные инструменты для автоматизации процессов и управления данными [12, 19], такие как:

1. Системы управления фермой (Farm Management Systems) – позволяют собирать и анализировать данные о производстве, управлять ресурсами и улучшать эффективность работы.

2. Геоинформационные системы (GIS) – используются для анализа и управления геоданными, что помогает улучшить планирование посевов, определить оптимальные зоны для выращивания растений, а также оценить риски и прогнозировать урожайность.

3. Датчики и IoT-технологии – позволяют собирать данные о погоде, почве, уровне влажности и других параметрах, что помогает оптимизировать производственные процессы и повышать качество продукции.

4. Системы автоматизации складов и логистики – позволяют управлять запасами, отслеживать движение грузов и оптимизировать доставку продукции.

5. Аналитические инструменты и бизнес-интеллект (BI) – позволяют анализировать данные о производстве, продажах и клиентах, что помогает улучшить стратегию продаж и принимать более эффективные управленческие решения.

Эти системы могут быть, как интегрированы в программные продукты, так и быть автономными. Например, система управления фермой может быть частью программного комплекса для управления агропроизводством, а датчики и IoT-технологии могут использоваться как отдельные устройства для сбора данных и передачи их на компьютер или облачную платформу для дальнейшей обработки. Каждая конкретная система может иметь свою специфическую реализацию и интеграцию с другими системами.

Мы считаем, что при цифровизации управленческой деятельности организаций АПК связующим процессом являются «цифровые платформы». В [2] была предпринята попытка теоретического осмысления и уточнения понятия цифровой платформы. Цифровые платформы подробно рассмотрены в [14, 16, 18].

Мы разделяем подход Дин Шуи, что цифровая платформа – система взаимоотношений как внутри организаций, так и со стейкхолдерами, которые реализованы в единой информационной цифровой среде, что приводит к снижению как производственных, так и транзакционных издержек за счёт применения новых цифровых технологий работы с данными, изменения системы разделения труда и генерации сетевых эффектов при удовлетворении взаимных потребностей контрагентов [2]. По сути цифровые платформы выступают экосистемами и драйверами усиленного цифрового развития предприятий различных сфер деятельности [20, 21, 23].

Функциональные возможности цифровой платформы могут включать следующее:

1. Предоставление доступа к информации и ресурсам: цифровая платформа может предоставлять доступ к различным типам информации, таким как тексты, изображения, видео, аудио и т.д., а также к различным ресурсам, таким как базы данных, приложения и т.д.

2. Обработка данных [22]: цифровая платформа может обрабатывать большие объемы данных, используя аналитические инструменты, машинное обучение и другие технологии.

3. Коммуникация: цифровая платформа может обеспечивать коммуникацию между пользователями, например, с помощью чатов, форумов, социальных сетей и т.д.

4. Управление процессами [24]: цифровая платформа может автоматизировать различные бизнес-процессы, такие как управление проектами, управление заказами, управление персоналом и т.д.

5. Разработка и развертывание приложений: цифровая платформа может предоставлять инструменты для разработки и развертывания приложений, таких как средства разработки, хостинг и т.д.

6. Безопасность: цифровая платформа может обеспечивать безопасность данных и пользователей, используя различные механизмы защиты, такие как шифрование, аутентификацию и т.д.

7. Интеграция с другими системами: цифровая платформа может интегрироваться с другими системами и приложениями, обеспечивая более эффективную работу и управление большими данными.

Самыми известными и эффективными цифровыми платформами в настоящее время являются [3]:

1. Amazon Web Services (AWS);
2. Microsoft Azure;
3. Google Cloud Platform (GCP);
4. Alibaba Cloud;
5. Tencent Cloud;
6. Huawei Cloud;
7. Baidu Cloud.

Некоторые из наиболее известных цифровых платформ, применяемых в АПК, включают в себя:

1. AgroWebLab – цифровая платформа для анализа почвы и растительности, которая позволяет собирать и обрабатывать данные для принятия решений по управлению земельными ресурсами.

2. FarmLogs – цифровая платформа для управления фермой, которая предоставляет инструменты для мониторинга посевов, управления запасами и планирования работ.

3. Climate FieldView – цифровая платформа для управления агрокультурами, которая позволяет собирать и анализировать данные о почве, погоде и растительности, чтобы помочь фермерам принимать более эффективные решения.

4. John Deere Operations Center – цифровая платформа для управления сельскохозяйственными операциями, которая предоставляет инструменты для мониторинга оборудования, управления посевами и уборкой урожая.

5. MyFarm – цифровая платформа для управления фермой, которая предоставляет инструменты для планирования работ, мониторинга урожая и управления запасами.

Достаточно часто цифровые платформы по содержанию подразделяются на децентрализованные (на которой данные и функциональность распределены между множеством участников без единого контролирующего органа, объединяет агентов и осуществляет транзакции за комиссию), централизованные (на которой все данные и функциональность хранятся и контролируются одним центральным участником, она обычно имеет высокую степень контроля и безопасности, но может быть менее гибкой и масштабируемой) и гибридная.

Некоторые примеры централизованных цифровых платформ: социальные сети Facebook, Twitter, Instagram; поисковые системы Google, Bing, Yahoo; онлайн-магазины Amazon, Alibaba, eBay; платежные системы PayPal, Visa, Mastercard; облачные хранилища данных Dropbox, Google Drive, iCloud.

Примеры децентрализованных цифровых платформ: блокчейн-платформы Ethereum, EOS, TRON, Cardano; децентрализованные биржи Binance DEX, Uniswap, PancakeSwap; децентрализованные социальные сети Steemit, Minds, Mastodon; децентрализованные хранилища данных IPFS, Storj, Sia.

В АПК наибольшую популярность получили централизованные цифровые платформы из-за высокой степени контроля и безопасности, которые они обеспечивают. Кроме того, такие платформы обычно более просты в использовании и требуют меньше усилий для обслуживания и поддержки.

По нашему мнению, для принятия digital-решений в управлении предприятиями агропромышленного комплекса можно применять следующие критерии выбора инструментов цифровизации:

1. Совместимость с существующими системами: выбранные инструменты цифровизации должны быть легко интегрируемы с уже используемыми системами и программным обеспечением.

2. Гибкость и масштабируемость: инструменты цифровизации должны быть гибкими и масштабируемыми, чтобы соответствовать изменяющимся потребностям АПК.

3. Надежность и безопасность: инструменты цифровизации должны быть надежными и обеспечивать высокий уровень безопасности, чтобы защитить данные и системы от внешних угроз.

4. Цена: выбранные инструменты цифровизации должны быть доступны по цене для АПК, чтобы они могли получить максимальную отдачу от своих инвестиций.

5. Удобство использования: выбранные инструменты цифровизации должны быть легко понятными и удобными для использования, чтобы сотрудники АПК могли быстро освоить их и использовать в своей работе.

Мы считаем, что процедура выбора наиболее приемлемой централизованной цифровой платформы должна опираться на оптимизационные модели, в частности – модели дискретной оптимизации, и может быть сведена к решению комбинаторной задачи о покрытии множества.

В данном контексте задачу о покрытии можно представить в матричном виде. Введем обозначения:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я цифровая платформа обладает необходимым функционалом} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если выбрана } j\text{-я цифровая платформа} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \{0,1\}; \quad (1)$$

$$x_j = \{0,1\}; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j \rightarrow \min. \quad (4)$$

Матрица  $A = (a_{ij})$ , состоящая из нулей и единиц, носит название матрицы покрытий. Формально задача состоит в выборе минимального количества столбцов, объединение которых покрывает все строки матрицы (в каждой строке имеется, по крайней мере, одна единица).

Методы решения данной задачи в большинстве своем основаны на операциях с логическими функциями и подробно изложены в работах и подробно изложены в работах Еремеева А.В., Забияко Г.И., Максимова Ю.В. [5, 6, 7].

В соответствии с данными методами каждый столбец из совокупности столбцов  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  можно рассматривать как «простую импликанту», покрывающую совокупность строк  $M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$  и матрица  $A$  представима как импликантная таблица булевой функции. При такой интерпретации матрицы  $A$  для каждой строки  $\mu_i$  можно записать дизъюнкцию столбцов  $a_i$ , покрывающих рассматриваемую строку, в следующем виде:

$$\mu_1 = (X_l \vee X_k \vee \dots), \dots, \mu_n = (X_p \vee X_t \vee \dots).$$

Конъюнкция дизъюнкций по всем строкам  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  матрицы  $A$  образует конъюнктивное представление матрицы  $A$ , содержащее в себе все покрытия совокупности строк.

Используя последовательно законы дистрибутивности

$$x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z),$$

$$x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z),$$

идемпотентности

$$x \wedge x = x,$$

и правило поглощения

$$x \vee (x \wedge y) = x,$$

получаем дизъюнктивное представление матрицы  $A$ , образующее перечень всех возможных покрытий совокупности строк  $M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m\}$ .

Рассмотрим решение задачи о покрытии, возникающую при выборе централизованной цифровой платформы для АПК с учетом функциональных возможностей цифровых платформ, применяемых в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности.

Проведенный анализ позволил обобщить, какие требования предъявляют потребители к функциональным возможностям цифровых платформ:

1. Предоставление доступа к информации и ресурсам: цифровая платформа может предоставлять доступ к различным типам информации, таким как тексты, изображения, видео, аудио и т.д., а также к различным ресурсам, таким как базы данных, приложения и т.д.
  2. Возможность применения технологии блокчейн: сохраняет информацию о всех транзакциях, что позволяет участникам системы просматривать и проверять все операции, ускоряет процесс транзакций и уменьшает затраты на обработку данных.
  3. Обработка данных: цифровая платформа может обрабатывать большие объемы данных, используя различные аналитические инструменты и способы вычислений.
  4. Встроенное машинное обучение, что уменьшает затраты на ручную обработку данных, может помочь в обработке большого объема и выявлении скрытых закономерностей, может использоваться для прогнозирования результатов.
  5. Использование международных баз данных, автоматическая идентификация данных – библиотеки и архивы.
  6. Интуитивно понятные и удобные инструменты для разработчиков.
  7. Коммуникация: цифровая платформа может обеспечивать коммуникацию между пользователями, например, с помощью чатов, форумов, социальных сетей и т.д.
  8. Интерфейс для мобильных и интернет приложений: цифровая платформа может предоставлять инструменты для разработки и развертывания приложений, таких как средства разработки, хостинг и т.д.
  9. Управление процессами: цифровая платформа может автоматизировать различные бизнес-процессы, такие как управление проектами, управление заказами, управление персоналом и т.д.
  10. Мультимедийные сервисы мультимедийный интегратор; комбинируя различные медиа-элементы, они могут создавать увлекательные истории, презентации и цифровой опыт.
  11. Безопасность: цифровая платформа может обеспечивать безопасность данных и пользователей, используя различные механизмы защиты, такие как шифрование, аутентификацию и т.д.
  12. Встроенный искусственный интеллект.
  13. Интеграция с другими системами: цифровая платформа может интегрироваться с другими системами и приложениями, обеспечивая более эффективную работу и управление данными.
- По нашему мнению, многие из этих функциональных возможностей реализуются в тех или иных «сквозных» технологиях, которые мы систематизировали в табл. 1, также мы провели оценку ведущих цифровых платформ для АПК на соответствие вышеприведенным требованиям.

**Таблица 1. Оценка возможностей использования «сквозных» технологий в цифровых платформах для АПК (составлено авторами)**  
**Table 1. Assessment of the possibilities of using “end-to-end” technologies in digital platforms for the agro-industrial complex (compiled by the authors)**

«Сквозные» цифровые технологии	Цифровые платформы для АПК						
	AgroWebLab	Агропоиск	FarmLogs	Climate FieldView	John Deere Operations Center	MyFarm	Linkas
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
1. Большие данные Технологии сбора, обработки и хранения структурированных и неструктурированных массивов информации, характеризующихся значительным объемом и быстрой скоростью изменений (в том числе в режиме реального времени)	+	+	+	+	+		

Окончание таблицы 1

2. Системы распределенного реестра (блокчейн) Алгоритмы и протоколы децентрализованного хранения и обработки транзакций, структурированных в виде последовательности связанных блоков без возможности их последующего изменения					+	+		
3. Новые производственные технологии Технологии цифровизации производственных процессов, обеспечивающие повышение эффективности использования ресурсов, проектирования и изготовления индивидуализированных объектов, стоимость которых сопоставима со стоимостью товаров массового производства	+		+		+		+	+
4. Промышленный Интернет Сети передачи данных, объединяющие устройства в производственном секторе, оборудованные датчиками и способные взаимодействовать между собой и (или) внешней средой без вмешательства человека	+	+			+	+	+	+
5. Компоненты робототехники и сенсорики Производственные системы, обладающие тремя или более степенями подвижности (свободы), построенные на основе сенсоров и искусственного интеллекта, способные воспринимать окружающую среду, контролировать свои действия и адаптироваться к ее изменениям	+	+	+				+	
6. Технологии беспроводной связи Технологии передачи данных посредством стандартизированного радиointерфейса без использования проводного подключения к сети. 5G-технологии беспроводной связи пятого поколения	+	+	+		+	+	+	+
7. Технологии виртуальной и дополненной реальностей Технологии компьютерного моделирования трехмерного изображения или пространства, посредством которых человек взаимодействует с синтетической («виртуальной») средой с последующей сенсорной обратной связью				+	+			

На основе табл. 1 составим матрицу покрытий:

$$A = \begin{array}{c|cccccccc} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 4 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 5 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 6 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

и соответствующее логическое выражение

$$\begin{aligned} & (x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee x_5) \wedge (x_4 \vee x_5) \wedge (x_1 \vee x_3 \vee x_4 \vee x_5 \vee x_6 \vee x_7) \wedge \\ & \wedge (x_1 \vee x_2 \vee x_4 \vee x_5 \vee x_6 \vee x_7) \wedge (x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_6) \wedge \\ & \wedge (x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee x_5 \vee x_6 \vee x_7) \wedge x_3, \end{aligned}$$



которое, после применения законов дистрибутивности, идемпотентности и правила поглощения, будет иметь вид:

$$(x_4 \vee x_5) \wedge x_3 = (x_3 \wedge x_4) \vee (x_3 \wedge x_5).$$

Таким образом, комбинации платформ FarmLogs и Climate FieldView или FarmLogs и John Deere Operations Center могут полноценно обеспечить потребности предприятия агропромышленного комплекса на настоящем этапе его цифровой трансформации.

### Заключение

Проведенное нами исследование не только подчеркивает важность и приоритетность цифровизации такой недостаточно часто упоминаемой в современной литературе сферы, как АПК, но и предлагает инструментарий выбора наиболее подходящей по комплексу выделенных критериев, учитывающих специфические требования предприятий АПК, цифровой платформы.

Рассмотрены основные изменения, которые происходят под воздействием цифровых преобразований Индустрии 4.0 – изменение моделей бизнеса; увеличение скорости и эффективности процессов; улучшение взаимодействия с клиентами; повышение конкурентоспособности и необходимость новых навыков и знаний.

Существует множество методов и инструментов цифровой трансформации предприятия, которые могут помочь организации стать более эффективной и конкурентоспособной в условиях стремительной цифровизации экономики.

Показано, почему инструменты цифровой трансформации предприятий агропромышленного комплекса имеют в настоящее время особый интерес.

Доказано, что для принятия digital-решений в управлении предприятиями агропромышленного комплекса можно применять ряд критериев выбора инструментов цифровизации и применять методы оптимизации для выбора «сквозных» технологий Индустрии 4.0.

### Направления дальнейших исследований

Предлагаемый нами подход может быть легко адаптирован к выбору платформ с учетом так называемых субплатформ [10], связанных с рынками продукции АПК (растениеводство, садоводство, овощеводство, кормопроизводство и животноводство, агрохимическое обслуживание и мелиорация, земельные рынки, рынки минеральных удобрений, средств защиты растений, сельскохозяйственной техники и материального обеспечения сельского хозяйства и т.д.). В этой связи, развитие предложенного подхода, адаптация его к специфическим условиям различных подсистем АПК, представляет собой направление дальнейших авторских исследований.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Digital Economy and Society Index (DESI) 2022* [online] Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2022> [Accessed: 20.07.2023]
2. Дин Ш., Вертакова Ю.В. (2021) Демаркация категории «цифровая платформа». *Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития: сборник научных статей 11-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Курск: Юго-Западный государственный университет*, 187–192.
3. Worldwide Public Cloud Services, 2021, *Market Shares*.
4. Володин В.М., Надькина Н.А. (2020) Теоретические аспекты цифровой эпохи: этапы развития, важнейшие тенденции, необходимость создания цифровой платформы аграрно-промышленного комплекса. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки*, 3 (55), 100–112.

5. Еремеев А.В. (2000) Генетический алгоритм для задачи о покрытии. *Дискретный анализ и исследование операций. Сер. 2*, 7 (1), 47–60.
6. Забияко Г.И. (2007) Реализация алгоритмов решения задачи о покрытии множеств и анализ их эффективности. *Вычислительные технологии*, 6, 50–58.
7. Максимов Ю.В. (2015) Кратчайшие и минимальные дизъюнктивные нормальные формы полных функций. *Журнал вычислительной математики и математической физики*, 55 (7), 1266–1280. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0044466915070108>
8. Курбанов А.Х., Плотников В.А. (2020) Оценка перспектив развития логистики в условиях цифровизации экономики и трансформации социальной сферы. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 3, 94–101.
9. Огневцев С.Б. (2018) Концепция цифровой платформы агропромышленного комплекса. *Международный сельскохозяйственный журнал*, 2, 16–22.
10. Писарев И.В., Бывшев В.И., Пантелеева И.А., Парфентьева К.В. (2022) Исследование готовности регионов России к цифровой трансформации. *π-Economy*, 15 (2), 22–37.
11. Зайченко И.М., Козлов А.В., Шитова Е.С. (2020) Драйверы цифровой трансформации бизнеса: понятие, виды, ключевые стейкхолдеры. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*, 13 (5), 38–49.
12. Цифровая трансформация в России: итоги 2020 года и перспективы развития. (2020) *Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации*. [online] Available at: <https://ac.gov.ru/news/page/cifrova-a-transformacia-v-rossii-itogi-2020-goda-i-perspektivy-razvitiya-26801> [Accessed: 20.07.2023]
13. Халин В.Г., Чернова Г.В. (2018) Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски. *Управленческое консультирование*, 10, 46–63.
14. Наролина Т.С., Смотрова Т.И., Некрасова Т.А. (2020) Анализ современного состояния цифровых платформ. *Наука Красноярья*, 9 (2), 184–205.
15. Ли Ц., Юй Ш. (2021) Актуальность внедрения процесса цифровизации в деятельность предприятий. *Universum: экономика и юриспруденция: электрон. научн. журн*, 11 (86). [online] Available at: <https://7universum.com/ru/economy/archive/item/12353> [Accessed: 15.07.2023]
16. Месропян В. (2018) *Цифровые платформы – новая рыночная власть* [online] Available at: <https://static.agriecommission.com/uploads/%D0%9C%D0%B5%D1%81%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%8F%D0%BD%20%D0%92.%D0%A0..pdf> [Accessed: 15.07.2023]
17. *Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»* [online] Available at: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> [Accessed: 16.08.2023]
18. Ташенова Л.В. Цифровые платформы: наукометрический анализ ключевых тенденций и факторов идентичности. *Интеллектуальная платформенная экономика: тенденции развития, монография*. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 102–115.
19. *Цифровые тренды 2022 года: вся последняя статистика, которую надо знать каждому маркетологу* [online] Available at: <https://cra.rip/stati/digital-trends-2022/> [Accessed: 16.08.2023]
20. Алетдинова А.А. и др. (2021) *Экосистемы в цифровой экономике: драйверы устойчивого развития*, монография. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 778.
21. Шкарупета Е.В., Корягин С.И., Либерман И.В., Клачек П.М. (2023) Индустрия 5.0: концептуальное развитие системной тетрады киберсоциальных экосистем. *Интеллектуальная инженерная экономика и Индустрия 5.0 (ИНПРОМ): Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27–30 апреля 2023 года*, 171–174.
22. Вертакова Ю.В., Дин Ш., Лю Я. (2020) Применение технологии анализа больших данных в управлении финансовыми рисками инновационно-промышленного кластера. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент*, 10 (3), 90–98.
23. Бабкин А.В., Либерман И.В., Клачек П.М., Шкарупета Е.В. (2023) Индустрия 5.0: основы создания системной тетрады киберсоциальных экосистем. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*, 1, 103–120.
24. Толстых Т.О., Гамидуллаева Л.А., Шкарупета Е.В. (2019) Ключевые факторы развития промышленных предприятий в условиях Индустрии 4.0. *Экономика промышленности*, 11 (1), 11–19. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2018-1-11-19>

## REFERENCES

1. *Digital Economy and Society Index (DESI) 2022* [online] Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2022> [Accessed: 20.07.2023]
2. Din Sh., Vertakova Yu.V. (2021) Demarkatsiya kategorii «tsifrovaya platforma». *Issledovanie innovatsionnogo potentsiala obshchestva i formirovanie napravlenii ego strategicheskogo razvitiya: sbornik nauchnykh statei 11-i Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Kursk: Yugo-Zapadni gosudarstvennyi universitet*, 187–192.
3. Worldwide Public Cloud Services, 2021, *Market Shares*.
4. Volodin V.M., Nad'kina N.A. (2020) Teoreticheskie aspekty tsifrovoi epokhi: etapy razvitiya, vazhneishie tendentsii, neobkhodimost' sozdaniya tsifrovoi platformy agrarno-promyshlennogo kompleksa. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Obshchestvennye nauki*, 3 (55), 100–112.
5. Eremeev A.V. (2000) Geneticheskii algoritm dlya zadachi o pokrytii. *Diskretnyi analiz i issledovanie operatsii*. Ser. 2, 7 (1), 47–60.
6. Zabinyako G.I. (2007) Realizatsiya algoritmov resheniya zadachi o pokrytii mnozhestv i analiz ikh effektivnosti. *Vychislitel'nye tekhnologii*. 6, 50–58.
7. Maksimov Yu.V. (2015) Kratchaishie i minimal'nye diz'yunktivnye normal'nye formy polnykh funktsii. *Zhurnal vychislitel'noi matematiki i matematicheskoi fiziki*, 55 (7), 1266–1280. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0044466915070108>
8. Kurbanov A.Kh., Plotnikov V.A. (2020) Otsenka perspektiv razvitiya logistiki v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki i transformatsii sotsial'noi sfery. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 3, 94–101.
9. Ognitsev S.B. (2018) Kontseptsiya tsifrovoi platformy agropromyshlennogo kompleksa. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*, 2, 16–22.
10. Pisarev I.V., Byvshev V.I., Panteleeva I.A., Parfent'eva K.V. (2022) Issledovanie gotovnosti regionov Rossii k tsifrovoi transformatsii.  *$\pi$ -Economy*, 15 (2), 22–37.
11. Zaichenko I.M., Kozlov A.V., Shitova E.S. (2020) Draivery tsifrovoi transformatsii biznesa: ponyatie, vidy, klyuchevye steikholdery. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki*, 13 (5), 38–49.
12. Tsifrovaya transformatsiya v Rossii: itogi 2020 goda i perspektivy razvitiya. (2020) *Analiticheskii tsentr pri Pravitel'stve Rossiiskoi Federatsii*. [online] Available at: <https://ac.gov.ru/news/page/cifrova-transformatsiya-v-rossii-itogi-2020-goda-i-perspektivy-razvitiya-26801> [Accessed: 20.07.2023]
13. Khalin V.G., Chernova G.V. (2018) Tsifrovizatsiya i ee vliyanie na rossiiskuyu ekonomiku i obshchestvo: preimushchestva, vyzovy, ugrozy i riski. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*, 10, 46–63.
14. Narolina T.S., Smotrova T.I., Nekrasova T.A. (2020) Analiz sovremennogo sostoyaniya tsifrovyykh platform. *Nauka Krasnoyar'ya*, 9 (2), 184–205.
15. Li Ts., Yui Sh. (2021) Aktual'nost' vnedreniya protsessa tsifrovizatsii v deyatel'nost' predpriyatii. *Universum: ekonomika i yurisprudentsiya: elektron. nauchn. zhurn*, 11 (86). [online] Available at: <https://7universum.com/ru/economy/archive/item/12353> [Accessed: 15.07.2023]
16. Mesropyan V. (2018) *Tsifrovye platformy – novaya rynochnaya vlast'* [online] Available at: <https://static.agriecommission.com/uploads/%D0%9C%D0%B5%D1%81%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%8F%D0%BD%20%D0%92.%D0%A0..pdf> [Accessed: 15.07.2023]
17. *Programma «Tsifrovaya ekonomika Rossiiskoi Federatsii»* [online] Available at: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7LVuPgu4bvR7M0.pdf> [Accessed: 16.08.2023]
18. Tashenova L.V. Tsifrovye platformy: naukoemicheskii analiz klyuchevykh tendentsii i faktorov identichnosti. *Intellektual'naya platformennaya ekonomika: tendentsii razvitiya*, monografiya. Sankt-Peterburg: POLITEKh-PRESS, 102–115.
19. *Tsifrovye trendy 2022 goda: vsya poslednyaya statistika, kotoruyu nado znat' kazhdomu marketologu* [online] Available at: <https://cpa.rip/stati/digital-trends-2022/> [Accessed: 16.08.2023]
20. Aletdinova A.A. i dr. (2021) *Ekosistemy v tsifrovoi ekonomike: draivery ustoychivogo razvitiya*, monografiya. Sankt-Peterburg: POLITEKh-PRESS, 778.
21. Shkarupeta E.V., Koryagin S.I., Liberman I.V., Klachek P.M. (2023) Industriya 5.0: kontseptual'noe razvitie sistemnoi tetrady kibersotsial'nykh ekosistem. *Intellektual'naya inzhenernaya ekonomika i Industriya 5.0 (INPROM): Sbornik trudov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Sankt-Peterburg, 27–30 aprelya 2023 goda*, 171–174.

22. Vertakova Yu.V., Din Sh., Lyu Ya. (2020) Primenenie tekhnologii analiza bol'shikh dannykh v upravlenii finansovymi riskami innovatsionno-promyshlennogo klastera. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment*, 10 (3), 90–98.

23. Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M., Shkarupeta E.V. (2023) Industriya 5.0: osnovy sozdaniya sistemnoi tetrady kibersotsial'nykh ekosistem. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*, 1, 103–120.

24. Tolstykh T.O., Gamidullaeva L.A., Shkarupeta E.V. (2019) Klyuchevye faktory razvitiya promyshlennykh predpriyatii v usloviyakh Industrii 4.0. *Ekonomika promyshlennosti*, 11 (1), 11–19. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2018-1-11-19>

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**ВЕРТАКОВА Юлия Владимировна**

E-mail: [vertakova7@yandex.ru](mailto:vertakova7@yandex.ru)

**Yulia V. VERTAKOVA**

E-mail: [vertakova7@yandex.ru](mailto:vertakova7@yandex.ru)

**БУЛГАКОВА Ирина Николаевна**

E-mail: [mmio@amm.vsu.ru](mailto:mmio@amm.vsu.ru)

**Irina N. BULGAKOVA**

E-mail: [mmio@amm.vsu.ru](mailto:mmio@amm.vsu.ru)

**ДИН Шуи**

E-mail: [87418602@qq.com](mailto:87418602@qq.com)

**DIN Shui**

E-mail: [87418602@qq.com](mailto:87418602@qq.com)

*Поступила: 04.09.2023; Одобрена: 16.10.2023; Принята: 16.10.2023.*

*Submitted: 04.09.2023; Approved: 16.10.2023; Accepted: 16.10.2023.*