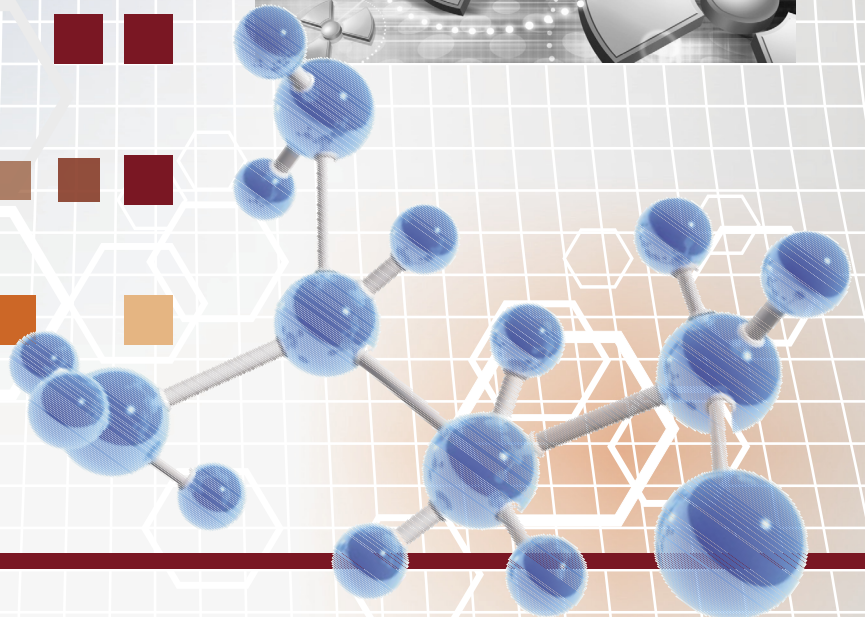
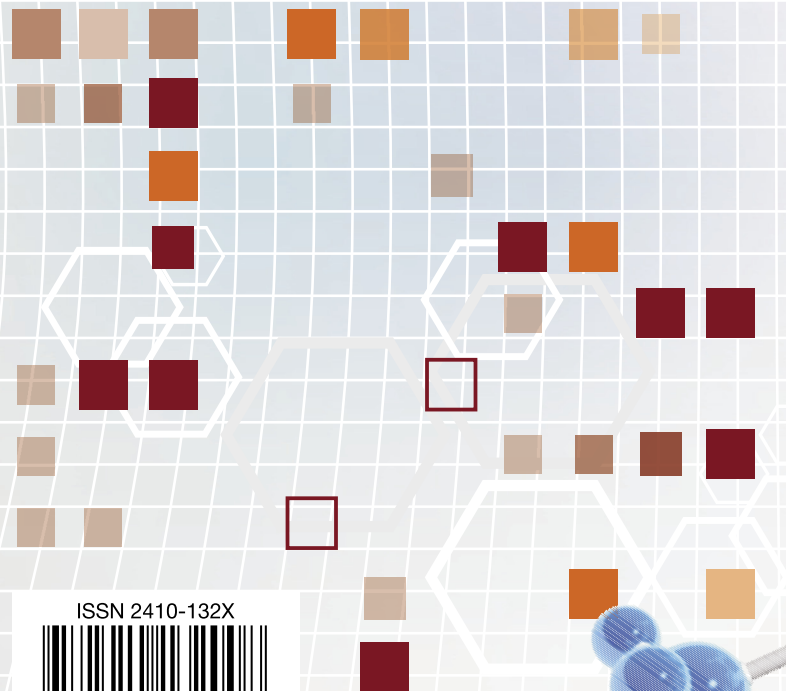
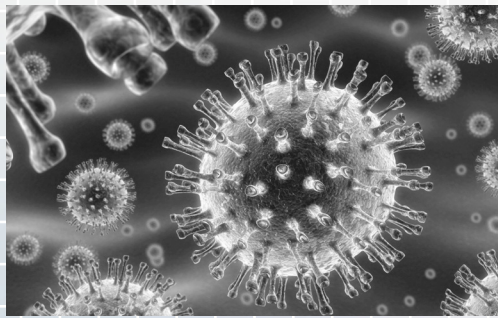
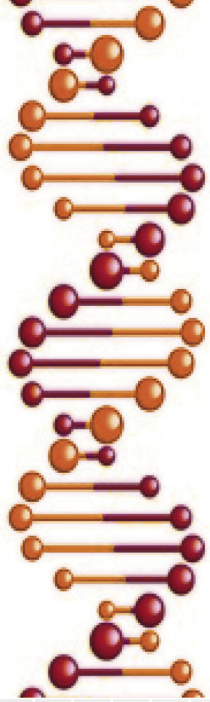


ISSN 2410-132X (Print)
ISSN 2949-4680 (Online)

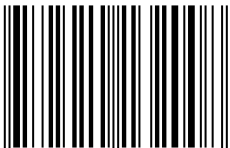
ЭКОНОМИКА НАУКИ

2025 | Том 12 | № 1
Vol. 12 | No. 1

ECONOMICS OF SCIENCE



ISSN 2410-132X



9 772410 132008 >

ЭКОНОМИКА НАУКИ

2026. Т. 12, № 1, 150 с.

ECONOMICS OF SCIENCE

2026, vol. 12, № 1, 150 p.

URL: <https://ecna.elpub.ru>

Издается с 2015 г.

Ежеквартальный

Published since 2015

A quarterly periodical

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации № ФС77–62518 от 27 июля 2015 года

Товарный знак и название являются исключительной собственностью учредителя. Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится данных, не подлежащих открытой публикации.

Журнал “Экономика науки” осуществляет двойное слепое рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих его тематике, с целью их экспертной оценки. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Учредитель Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации
(119606, Москва, пр. Вернадского, 84, стр. 1)

Established by Russian Presidential Academy of National Economy
and Public Administration
(84, building 1, Vernadsky Prosp., Moscow, 119606, Russia)

Адрес редакции:
119571, Москва г., пр-т Вернадского, д. 84, к. 3, оф. 1902
Тел. 8 (499) 956-02-14; e-mail: ecna@ranepa.ru

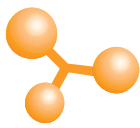
Editorial office address:
84, building 3, Vernadsky Prosp., Moscow, 119571, Russia, office 1902
Phone number: 8 (499) 956-02-14; e-mail: ecna@ranepa.ru

Адрес типографии:
Издательский дом «Дело» РАНХиГС
119571, Москва, пр-т Вернадского, 82, стр. 1

Тираж: первый завод 30 экземпляров, цена свободная. Дата выхода: 31.03.2026

© Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации, оформление обложки, макета, 2026

© Russian Presidential Academy of National Economy and
Public Administration, cover design, layout, 2026



«Экономика науки» – рецензируемый научный журнал открытого доступа, издаваемый ИД «Дело» Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС). Журнал специализируется на исследованиях в области экономики науки, управления инновациями, научной политики, финансирования НИОКР, интеллектуальной собственности и технологического развития. Журнал ориентирован на ученых, экспертов, аспирантов и представителей государственных структур, заинтересованных в развитии научно-технологического потенциала. Приглашаем авторов к публикации актуальных работ, соответствующих тематике издания!

Главный редактор

- *Сухарев Олег Сергеевич*, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник Центра институтов социально-экономического развития Института экономики РАН (Москва, Россия), профессор кафедры «Теория и методология государственного и муниципального управления» факультета государственного управления МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Заместитель главного редактора

- *Тулупьева Татьяна Валентиновна*, кандидат психологических наук, доцент, советник проректора по науке РАНХиГС (Москва, Россия)

Научный редактор

- *Ерёмченко Ольга Андреевна*, старший научный сотрудник Центра пространственной экономики Лаборатории инфраструктурных и пространственных исследований Института прикладных экономических исследований Российской академии народного хозяйства и государственной службы (РАНХиГС) (Москва, Россия)

Ответственный секретарь

- *Борискина Надежда Валентиновна*, e-mail: ecna@ranepa.ru

Редакционный совет**Председатель**

- *Глазьев Сергей Юрьевич*, доктор экономических наук, профессор, академик РАН, Член коллегии (Министр) по интеграции и макроэкономике Евразийской экономической комиссии (Москва, Россия)

Заместитель председателя

- *Иванов Владимир Викторович*, доктор экономических наук, кандидат технических наук, член-корреспондент РАН, Заместитель президента Российской академии наук, руководитель Информационно-аналитического центра «Наука» (Москва, Россия)

Члены Редакционного совета

- *Агеев Александр Иванович*, доктор экономических наук, профессор, директор АНО «Институт экономических стратегий» (Москва, Россия), генеральный директор Международного научно-исследовательского института проблем управления (Москва, Россия)
- *Акбердина Виктория Викторовна*, доктор экономических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, заместитель директора, руководитель отдела региональной промышленной политики и экономической безопасности Института экономики Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)
- *Бахтизин Альберт Рауфович*, доктор экономических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, директор Центрального экономико-математического института Российской академии наук (ЦЭМИ РАН) (Москва, Россия), заведующий кафедрой математических методов анализа экономики экономического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
- *Глухов Виктор Алексеевич*, кандидат технических наук, заместитель генерального директора ООО «Научная электронная библиотека».
- *Дементьев Виктор Евгеньевич*, доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Центрального экономико-математического института РАН (ЦЭМИ РАН) (Москва, Россия)
- *Заварухин Владимир Петрович*, кандидат экономических наук, директор Института проблем развития науки РАН (Москва, Россия)
- *Клейнер Георгий Борисович*, доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель научного руководителя Центрального экономико-математического института Российской академии наук (ЦЭМИ РАН) (Москва, Россия), руководитель научного направления

«Мезоэкономика, наименование микроэкономика, корпоративная экономика»

- *Кулагин Андрей Сергеевич*, доктор экономических наук, главный научный сотрудник Института проблем развития науки Российской академии наук (Москва, Россия)
- *Малинецкий Георгий Геннадьевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук (Москва, Россия), директор Центра синергетики и гуманитарно-технологической революции ИФПИ Московского гуманитарного университета (Москва, Россия)
- *Миролюбова Татьяна Васильевна*, доктор экономических наук, профессор, декан Экономического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета (Пермь, Россия)
- *Пороховский Анатолий Александрович*, доктор экономических наук, профессор, профессор, научный руководитель кафедры политической экономики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
- *Рудой Евгений Владимирович*, доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ректор Новосибирского государственного аграрного университета (Новосибирск, Россия)
- *Сандлер Даниил Геннадьевич*, доктор экономических наук, доцент, первый проректор по экономике и стратегическому развитию, ведущий научный сотрудник, заведующий кафедрой Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)
- *Сидельников Юрий Валентинович*, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, профессор кафедры производственного менеджмента и маркетинга Московского авиационного института.
- *Силин Яков Петрович*, доктор экономических наук, профессор, ректор, профессор кафедры региональной, муниципальной экономики и управления Уральского государственного экономического университета (Екатеринбург, Россия)
- *Спасенников Валерий Валентинович*, доктор психологических наук, профессор, профессор кафедры «Гуманитарные и социальные дисциплины» Брянского государственного инженерно-технологического университета (Брянск, Россия)
- *Тумин Валерий Максимович*, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента Московского политехнического университета (Москва, Россия)

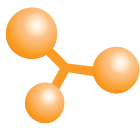


Ключевые преимущества:

- Russian science citation index (RSCI) – с 2025 г.
- ЕПНИ ("Белый список") Уровень 2.
- Категория К1 (ВАК): включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.
- Междисциплинарный подход: объединяет исследования по экономике, менеджменту, праву и государственному регулированию в сфере науки.

Редакционная коллегия

- **Агарков Гавриил Александрович**, доктор экономических наук, доцент, главный бухгалтер – начальник Управления бухгалтерского учета и финансового контроля, заведующий научно-исследовательской лабораторией по проблемам университетского развития Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)
- **Бастида Франсиско**, профессор Университета Мурсии (Испания) и Prince Sultan University (Саудовская Аравия)
- **Босхофф Нелиус**, PhD, профессор, ассоциированный профессор Центра исследований в области оценки, науки и технологий (CREST) Университета Стелленбоса (Стелленбос, ЮАР)
- **Васин Сергей Михайлович**, доктор экономических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности, профессор кафедры «Экономическая теория и международные отношения» Пензенского государственного университета (Пенза, Россия)
- **Воденко Константин Викторович**, доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Социальные и гуманитарные науки» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова (Новочеркасск, Россия)
- **Ерзкян Баграт Айкович**, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории в Центральном экономико-математическом институте РАН (ЦЭМИ РАН) (Москва, Россия), также Государственный университет управления (ГУУ) (Москва, Россия), Государственный академический университет гуманитарных наук (ГАУГН) (Москва, Россия)
- **Ерохин Виктор Викторович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры математических методов и бизнес-информатики Московского государственного института международных отношений (университета) (Москва, Россия), профессор Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (Москва, Россия)
- **Зайт Адриана**, PhD, профессор, руководитель Докторской школы экономики и делового администрирования, Университет Александру Иоан Куза (Яссы, Румыния)
- **Зенкина Елена Вячеславовна**, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой мировой экономики, директор центра координации и сопровождения научно-исследовательских проектов Российской государственного гуманитарного университета (РГУ) (Москва, Россия)
- **Зинковский Сергей Борисович**, кандидат юридических наук, доцент, Почетный работник сферы образования, директор Юридического института, доцент кафедры теории права и государства Российского университета дружбы народов (РУДН) (Москва, Россия), член Правления Ассоциации юридического образования Российской Федерации, адвокат Адвокатской палаты г. Москвы
- **Инверницци Ноэла**, PhD, доцент Школы образования и аспирантуры по государственной политике, Федеральный университет Параны (Куритиба, Бразилия)
- **Клеева Людмила Петровна**, доктор экономических наук, профессор, зав. сектором проблем интеграции науки и образования Института проблем развития науки РАН, профессор кафедры корпоративного управления Высшей школы корпоративного управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы (РАНХиГС) (Москва, Россия)
- **Клюкин Пётр Николаевич**, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры социальной и экономической истории России Российской академии народного хозяйства и государственной службы (РАНХиГС) (Москва, Россия)
- **Кочча Марио**, PhD, директор по исследованиям Национального исследовательского совета Италии, Колледжа Карло Альберто (Moncalieri-Torino, Италия)
- **Кулагина Наталья Александровна**, доктор экономических наук, профессор, директор инженерно-экономического института Брянского государственного инженерно-технологического университета, старший научный сотрудник, профессор Института промышленного менеджмента Санкт-Петербургского государственного политехнического университета имени Петра Великого
- **Мазони Элисон Фернандес**, научный сотрудник Института геонаук Университета Кампинаса (Кампинас, Бразилия), научный сотрудник Центра исследований науки и технологий Лейденского университета (Лейден, Нидерланды)
- **Меоли Микеле**, PhD, доцент, Департамент менеджмента, информации и производственной инженерии, Университет Бергамо (Бергамо, Италия)
- **Орехова Светлана Владимировна**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий и статистики Уральского государственного экономического университета (Екатеринбург, Россия)
- **Осипов Владимир Сергеевич**, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой мировой экономики и управления внешнеэкономической деятельностью МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой зарубежного регионоведения и международного сотрудничества Президентской Академии (РАНХиГС) (Москва, Россия)
- **Паномарев Бранко Л.**, PhD, доцент, Департамент государственного управления, Техасский университет в Сан-Антонио (Сан-Антонио, Техас, США)
- **Попов Евгений Васильевич**, доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Центра социально-экономических исследований и экспертиз Уральского института управления РАНХиГС (Екатеринбург, Россия), профессор Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия) и Тюменского государственного университета (Тюмень, Россия)
- **Сержио Луис Монтейру Саллес-Фильо**, PhD, профессор Департамента научно-технической политики, координатор Лаборатории исследований организации науки и инноваций Института наук о земле Университета Кампинаса (Кампинас, Бразилия)
- **Сидорова Александра Александровна**, доцент кафедры теории и методологии государственного и муниципального управления ФГУ МГУ имени М.В. Ломоносова, кандидат экономических наук (Москва, Россия)
- **Скобелев Дмитрий Олегович**, доктор экономических наук, директор ФГАУ «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», заведующий кафедрой наилучших доступных технологий и регуляторных практик МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)
- **Стрижакова Екатерина Никитична**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Отраслевая экономика и управление» Брянского государственного инженерно-технологического университета (Брянск, Россия)
- **Теняков Иван Михайлович**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры политической экономики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
- **Тургель Ирина Дмитриевна**, доктор экономических наук, профессор, директор Школы экономики и менеджмента, зав. кафедрой теории, методологии и правового обеспечения ГМУ Института экономики и управления, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)
- **Феррара Массимилиано**, PhD, профессор, Факультет права, экономики и гуманитарных наук, научный руководитель Лаборатории принятия решений, Медитерранский университет Реджо-ди-Калабрия (Реджо-Калабрия, Италия)



"Economics of Science" is a peer-reviewed open-access academic journal published by Delo Publishing House of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA). The journal focuses on research in the economics of science, innovation management, science policy, R&D funding, intellectual property, and technological development. The journal targets researchers, experts, graduate students, and government representatives engaged in advancing scientific and technological potential. We invite authors to submit cutting-edge research aligned with the journal's scope!

Editor-in-Chief

- *Prof. Dr. Oleg Sukharev*, Chief Researcher of the Center for Institutions of Socio-Economic Development of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), Professor of the Department of Theory and Methodology of State and Municipal Administration, Faculty of Public Administration, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Deputy editor-in-chief

- *Tatyana V. Tulupieva*, Associate Professor, Advisor to the Vice-Rector for Science at the Russian Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russia)

Science Editor

- *Olga Eremchenko*, Senior Researcher, Center for Spatial Economics, Laboratory for Infrastructure and Spatial Research, Institute for Applied Economic Research of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA) (Moscow, Russia)

Assistant Editor

- *Nadezhda Boriskina*, e-mail: ecna@ranepa.ru

Editorial Council**Chairman**

- *Prof. Dr. Sergey Glazyev*, Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Board (Minister) for Integration and Macroeconomics of the Eurasian Economic Commission (Moscow, Russia)

Vice-Chairman

- *Dr. Vladimir Ivanov*, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Vice-President of the Russian Academy of Sciences, Head of the Information and Analytical Center "Nauka" (Moscow, Russia)

Members of the Editorial Council

- *Prof. Dr. Alexander Ageev*, Director of the ANO "Institute for Economic Strategies" (Moscow, Russia), Director General of the International Research Institute for Management Problems (Moscow, Russia)
- *Prof. Dr. Victoria Akberdina*, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director, Head of the Department of Regional Industrial Policy and Economic Security of the Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg, Russia)
- *Prof. Dr. Albert Bakhtizin*, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS) (Moscow, Russia), Head of the Department of Mathematical Methods for Analyzing Economics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
- *Dr. Viktor Glukhov*, deputy general director of Scientific Electronic Library LLC.
- *Prof. Dr. Viktor Dementiev*, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS) (Moscow, Russia)
- *Prof. Dr. Georgy Kleiner*, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research of the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS)

(Moscow, Russia), Head of the research area "Meso-economics, microeconomics, corporate economics"

- *Dr. Andrey Kulagin*, Chief Researcher of the Institute for the Development of Science of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
- *Prof. Dr. Georgy Malinetsky*, Head of Department at the Keldysh Institute of Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), Director of the Center for Synergetics, and Humanitarian and Technological Revolution, Moscow University for the Humanities (Moscow, Russia)
- *Prof. Dr. Tatyana Mirolyubova*, Dean of the Faculty of Economics, Perm State National Research University (Perm, Russia)
- *Prof. Dr. Anatoly Porokhovskiy*, Scientific Supervisor of the Department of Political Economy, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
- *Prof. Dr. Evgeny Rudoy*, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
- *Dr. Daniil Sandler*, Associate Professor, First Vice-Rector for Economics and Strategic Development, Lead Researcher, Head of the Department of the Ural Federal University (Yekaterinburg, Russia)
- *Prof. Dr. Yuri Sidel'nikov*, Chief Researcher at the V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Production Management and Marketing at the Moscow Aviation Institute.
- *Prof. Dr. Yakov Silin*, Rector, Professor of the Department of Regional, Municipal Economics and Management, Ural State University of Economics (Yekaterinburg, Russia)
- *Prof. Dr. Valery Spasennikov*, Professor of the Department of Humanitarian and Social Disciplines, Bryansk State Engineering and Technology University (Bryansk, Russia)
- *Prof. Dr. Valery Tumin*, Professor of the Department of Management, Moscow Polytechnic University (Moscow, Russia)
- *Dr. Vladimir Zavarukhin*, Director of the Institute for the Development of Science of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)



Key advantages:

- *Free publication: Platinum open-access model (no fees for authors or readers).*
- *Interdisciplinary approach: Integrates research in economics, management, law, and government regulation in science and technology.*
- *International audience: Open access ensures global visibility.*

Editorial Board

- **Dr. Gavriil Agarkov**, Chief Accountant – Head of the Accounting and Financial Control Department, Head of the Research Laboratory for University Development of Ural Federal University (Yekaterinburg, Russia)
- **Prof. Bastida Francisco**, Professor at the University of Murcia (Spain) and Prince Sultan University (Saudi Arabia)
- **Prof. Dr. Nelius Boshoff**, Associate Professor in the Centre for Research on Evaluation, Science and Technology (CREST) at Stellenbosch University (Stellenbosch, Republic of South Africa)
- **Dr. Mario Coccia**, Research Director at National Research Council of Italy, Collegio Carlo Alberto (Moncalieri-Torino, Italy)
- **Prof. Dr. Bagrat Erznkyan**, Chief Researcher, Head of Laboratory at the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (CEMI RAS) (Moscow, Russia), Professor of State University of Management (GUU) (Moscow, Russia), State Academic University for the Humanities (Moscow, Russia)
- **Prof. Dr. Victor Erokhin**, Professor of the Department of Mathematical Methods and Business Informatics of the Moscow State Institute of International Relations (MGIMO University) (Moscow, Russia), Professor of the Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)
- **Prof. Dr. Massimiliano Ferrara**, Full Professor, Department of Law, Economics and Human Sciences, Scientific Director of Decisions LAB, University Mediterranea of Reggio Calabria (Reggio Calabria, Italy)
- **Dr. Noela Invernizzi**, Associate Professor, Education School and Public Policy Graduate Program, Federal University of Parana (Curitiba, Brazil)
- **Prof. Dr. Lyudmila Kleeva**, Head of Sector for the Problems of Integration of Science and Education of the Institute for the Development of Science of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), Professor of the Department of Corporate Governance of the Higher School of Corporate Governance of the Russian Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA) (Moscow, Russia)
- **Prof. Dr. Petr Klyukin**, Professor of the Department of Social and Economic History of Russia, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA) (Moscow, Russia)
- **Prof. Dr. Natalya Kulagina**, Director of the Engineering and Economics Institute of the Bryansk State Engineering and Technology University (Bryansk, Russia), Senior Researcher, Professor of the Institute of Industrial Management of the Peter the Great St. Petersburg State Polytechnic University (St. Petersburg, Russia)
- **Dr. Alysson Fernandes Mazoni**, Post-doctoral fellow, Institute of Geosciences, University of Campinas (Campinas, Brazil), Post-doctoral fellow, Centre for Science and Technology Studies, Leiden University (Leiden, the Netherlands)
- **Dr. Michele Meoli**, Associate Professor, University of Bergamo, Department of Management, Information and Production Engineering (Bergamo, Italy)
- **Prof. Dr. Svetlana Orekhova**, Professor of the Department of Information Technologies and Statistics, Ural State University of Economics (Yekaterinburg, Russia)
- **Prof. Dr. Vladimir Osipov**, Head of the Department of World Economy and Management of Foreign Economic Activity at Lomonosov Moscow State University, Head of the Department of Foreign Regional Studies and International Cooperation at the Presidential Academy (RANEPA) (Moscow, Russia)
- **Dr. Branco Ponomarev**, Associate Professor, Department of Public Administration, The University of Texas at San Antonio (San Antonio, USA)
- **Prof. Dr. Evgeny Popov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Center for Socio-Economic Research and Expertise of the Ural Institute of Management, RANEPA (Yekaterinburg, Russia), Professor of Ural Federal University (Yekaterinburg, Russia) and Tyumen State University (Tyumen, Russia)
- **Prof. Dr. Sergio Luiz Monteiro Salles-Filho**, Professor of the Department of Scientific and Technological Policy, Coordinator of the Laboratory of Studies on Research Organization and Innovation, Institute of Geosciences, University of Campinas (Campinas, Brazil)
- **Dr. Alexandra Alexandrovna Sidorova**, Associate Professor, Department of Theory and Methodology of State and Municipal Administration, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
- **Dr. Dmitry Skobelev**, Director of Research Institute “Center for Environmental Industrial Policy”, Head of the Department of Best Available Technologies and Regulatory Practices at MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)
- **Prof. Dr. Ekaterina Strizhakova**, Professor of the Department of Industry Economics and Management, Bryansk State University of Engineering and Technology (Bryansk, Russia)
- **Prof. Dr. Ivan Tenyakov**, Professor of the Department of Political Economy, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
- **Prof. Dr. Irina Turgel**, Director of the School of Economics and Management, Head of the Department of Theory, Methodology and Legal Support, Institute of Economics and Management, Ural Federal University (Yekaterinburg, Russia)
- **Prof. Dr. Sergey Vasin**, Vice-Rector for Research and Innovation, Professor of the Department of Economic Theory and International Relations, Penza State University (Penza, Russia)
- **Prof. Dr. Konstantin Vodenko**, Head of the Department of Social Sciences and Humanities, Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk, Russia)
- **Prof. Dr. Adriana Zait**, Head of Doctoral School of Economics and Business Administration, University Alexandru Ioan Cuza (Iasi, Romania)
- **Dr. Elena Zenkina**, Associate Professor, Head of the Department of World Economy, Director of the Center for Coordination and Support of Research Projects of the Russian State University for the Humanities (Moscow, Russia)
- **Dr. Sergey Zinkovsky**, Associate Professor, Honorary Educator, Director of the Institute of Law, Associate Professor of the Department of Theory of Law and State of the Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University) (Moscow, Russia), Member of the Board of the Association of Law Education of the Russian Federation, Lawyer of the Moscow Lawyers’ Association



Оглавление

	Вступительное слово. «Экономика технологий» – развитие научного направления	8-10
	АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА/ДИСКУССИЯ О научно-технической политике Союзного государства <i>С.Ю. Глазьев</i>	11-22
	Математика и экономика в пространстве Мебиуса: системный взгляд на междисциплинарные технологии познания <i>Г.Б. Клейнер</i>	23-33
	ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ Эволюция научных запросов бизнеса на разных фазах жизненного цикла новых технологий <i>В.Е. Дементьев</i>	34-48
	«Экономика технологий»: принципы развития и оценка потенциала <i>О.С. Сухарев</i>	49-64
	Экономика технологий: эффективность, технико-экономические проблемы и особенности автоматизации в машиностроении <i>А.П. Кузнецов</i>	65-85
	Интегральный индекс эффективности цифровизации в системе анализа развития бизнес-экосистемы <i>Е.В. Попов, В.Л. Симонова, А.С. Зырянов</i>	86-105
	НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ Научно-методический аппарат описания динамики развития цифровых технологий <i>И.О. Жаринов, О.О. Жаринов</i>	106-121
	Конкуренция и диффузия инноваций: динамический аспект <i>В.В. Ерохин, О.А. Павлютенкова</i>	122-135
	Технология управления по слабым сигналам в информационно избыточных средах «экономики данных» <i>С.Г. Камолов, Д.Б. Алексеев, Д.Д. Девятова</i>	136-150



Contents

8-10	Editorial. “Economics of technology” – development of a scientific direction
11-22	DISCUSSION On the Scientific and Technical Policy of the Union State <i>S.Yu. Glazyev</i>
23-33	Mathematics and economics in the Möbius space: a systems view on the interdisciplinary technologies of cognition <i>G.B. Kleiner</i>
34-48	ECONOMICS OF KNOWLEDGE AND TECHNOLOGY The evolution of scientific business inquiries at different phases of the life cycle of new technologies <i>V.E. Dementiev</i>
49-64	“Economics of technology”: principles of development and potential assessment <i>O.S. Sukharev</i>
65-85	Economics of technology: efficiency, technical and economic problems and features of automation in mechanical engineering <i>A.P. Kuznetsov</i>
86-105	Integral index of digitalization efficiency in the system of analyzing business ecosystem development <i>Popov E.V., Simonova V.L., Zyrianov A.S.</i>
106-121	SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS AND ITS IMPACT ON INDUSTRIES, ECONOMIC GROWTH, AND INNOVATIVE DEVELOPMENT Scientific and methodological apparatus for describing the dynamics of digital technology development <i>I.O. Zharinov, O.O. Zharinov</i>
122-135	Competition and the diffusion of innovations: a dynamic perspective <i>V.V. Erokhin, O.A. Pavlyutenkova</i>
136-150	Technology of management by weak signals in information redundant environments of the data economy <i>S.G. Kamolov, D.B. Alekseev, D.D. Devyatova</i>

Вступительное слово

**«Экономика технологий» –
развитие научного направления**

Уважаемые читатели и авторы журнала «Экономика науки»!

Перед Вами первый номер 2026 года. Он включает статьи, объединённые единой темой – «экономикой технологий», которая по праву может называться новым направлением научных исследований, в формирование и развитие которого современная российская экономическая школа внесла ощутимый, можно сказать, основополагающий вклад. Редакция журнала не ставила задачу подготовки тематического или специального номера. Однако представленные к публикации материалы – статьи ведущих специалистов этого научного направления – сложились в концептуально целостный номер журнала. Опубликованные материалы не нуждаются в комментариях, представляя собой самостоятельные научные исследования, в которых четко сформулированы цели и задачи и представлены результаты их достижения. Открывая этот номер журнала и новый год научной работы, представляется более важным подчеркнуть основополагающие положения развивающегося научного направления «экономика технологий».

Отметим, что «экономика технологий» является сегментом более широкого научного направления – «экономики научно-технического прогресса», которое получило развитие ещё в советский период в трудах таких выдающихся представителей отечественной экономической школы, как А.Н. Ефимов, С.А. Хейнман, А.И. Анчишкин, Ю.В. Ярёмченко, Д.С. Львов, А.А. Хенкин, В.М. Полтерович и др. Современные исследования представлены авторами настоящего номера, а также многими отраслевыми специалистами и технико-экономической проблематикой исследований в рамках новых технологий, проводимых под руководством Г.Я. Красникова, а также прикладных изысканий, реализуемых на исследовательских

площадках Минпромторга России, в частности, д.э.н. Д.О. Скобелевым, а также член-корр. РАН Е.В. Рудым по аграрному направлению, которые входят в состав Редакционного совета журнала «Экономика науки». Значимый вклад в формирование контуров научного направления «экономика технологий» вносит книга «Экономика технологий. Новое научное направление» (см. рисунок 1), выходящая в свет в 2026 г., а также более ранние исследования¹.

Проблематика, круг исследовательских тем и научная повестка «экономики технологий» несколько иные и задаются объектом исследования – технологиями (имеющими отраслевую специфику), предметом – экономическими и управленческими отношениями по поводу создания, внедрения, распространения, эксплуатации и конкуренции технологий, а также их влияния на производительность и экономический рост. Данная область предполагает формирование собственного методологического аппарата – моделей, методов измерения, методик оценки для проведения количественных исследований. Это направление анализа включает также изучение поведения новаторов и консерваторов, то есть фундаментальные взгляды на экономическое развитие, заложенные шumpетерианской школой,

¹ Подробнее см: Глазьев, С.Ю. (1993). *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. Владар; Глазьев, С.Ю. (2018). *Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах*. Книжный мир; Сухарев, О.С. (2026). *Экономика технологий. Новое научное направление*. Финансы и статистика. А также работы: Сухарев, О.С. (2024). *Технологический суверенитет: изменение и политика*. Ленанд; Сухарев, О.С. (2025). *Научно-технологический потенциал и промышленная политика*. Финансы и статистика; Сухарев, О.С. (2008). *Экономика технологического развития*. Финансы и статистика; Сухарев, О.С. (2022). *Экономика промышленности, технологий и интеллектуальных фирм*. Ленанд.

особенно в части тематики технологических инноваций, их влияния на другие сегменты развития – социальные параметры, экономический рост, производительность и т.д.

Вместе с тем именно российская экономическая школа за последние тридцать лет сформировала теоретическую основу данного научного направления в виде теории технологических укладов², представляющей закономерности эволюции технологий на макроуровне экономической организации, и теории технологических эффектов³ (технологический дуализм – прямой и псевдоэффект, «парадокс производительности», «парадокс быстрой индустриализации», «комбинаторный эффект», замещение и дополнение технологий при их конкуренции, чувствительности технологичности к инвестициям в различные виды технологий, эффекта охвата и отложенной ценности и др.), описывающих связи изменений на микро-, мезо- и макроэкономическом уровнях рассмотрения, отражающих специфические стороны технологического развития, вскрывающие процессы изменений технологической структуры внутри технологического уклада с оценкой структуры самих укладов.

требует выработки собственных методов измерения, оценочных показателей, а также, вероятно, системы статистического учёта, или выделения раздела статистических показателей и учётных единиц в рамках общей Системы национальных счетов. В мире отсутствуют стандарты в области учёта технологий, что относится к финансовым, производственным, информационным технологиям и даже программному обеспечению. Поэтому предстоит большая работа и она связана с тем, что тот, кто создаёт стандарты и правила, становится ведущим в данной области, тогда как тот, кто принимает чужие правила и следует им, обычно остается ведомым и не может лидировать. Россия, обладая мощными научными заделами в области экономики технологий, а также в создании передовых технологий в различных направлениях науки, может и должна инициировать работу как внутри страны, так и на международной арене по созданию системы статистического учёта и стандартизации деятельности в области технологий различных классов.

В итоге разработка научно обоснованных методик измерений (на базе таксономических подходов и методологии измерений) позволит получить релевантную информацию об изменениях в самих технологических эффектах, которые обнаруживаются и будут далее прогрессировать и трансформироваться, а также позволит открыть новые свойства и закономерности влияния технологий на социальные изменения в сочетании с институциональной трансформацией хозяйственной деятельности.

В России сегодня получены научные результаты по измерению технологических укладов и учёту влияния структурных и технологических изменений, вместе с применяемыми инструментами макроэкономической политики, на развитие экономики. Выявлен эффект распределённого влияния монетарной и бюджетной политики на технологическое развитие, возникающий запирающий структурный эффект и «порочный круг монетарной политики», тормозящие технологическое обновление экономики. Это формирует ценные



Рисунок 1. Книга «Экономика технологий»

Поскольку «экономика технологий» претендует на статус самостоятельного научного направления анализа и уже им является, она

² Глазьев, С.Ю. (1993). *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. Владар;
³ Сухарев, О.С. (2023). *Технологический дуализм и модели индустриализации экономики*. Ленанд.

рекомендации для принятия государственных решений в области управления развитием и реализации задач по достижению технологического суверенитета.

Первый номер журнала «Экономика науки» демонстрирует основные направления научной работы в рамках «экономики технологий» как самостоятельного научного направления, показывая, в том числе, и уже осуществлённые разработки, и вновь созданные методологические заделы.

Открывая 2026 год этим номером, посвящённым «экономике технологий», мы активизируем развёрнутые в нашей стране масштабные и разноплановые исследования технологических изменений, расширяя масштаб созданных оригинальных научных результатов, привлекая для этого молодых учёных и студентов. Тем самым журнал вносит свой вклад в дело обеспечения технологического суверенитета России.

*Председатель Редакционного совета
С.Ю. Глазьев*

*Главный редактор
О.С. Сухарев*

АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА/ДИСКУССИЯ

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
УДК: 330.341; 338.28 (339.976)
JEL: O11 O32 O33
EDN: MDHVFP

О научно-технической политике Союзного государства¹

С.Ю. Глазьев^{1,2}

¹ Постоянный Комитет Союзного государства, Москва, Российская Федерация;

² МГУ им. М.В. Ломоносова, <https://ror.org/010ptpe69>, Москва, Российская Федерация;
e-mail: serg1784@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются аспекты формирования и реализации научно-технической политики Союзного государства Россия – Беларусь. Цель исследования – определение стратегии научно-технологического развития Союзного государства в содержательном, поэтапном виде и отраслевом разрезе с общим вектором на расширение кооперации и интеграции усилий для достижения технологического суверенитета на основе обоснованной стратегии научно-технологического развития. Методологию исследования составляют современные подходы в области управления научно-техническим развитием на базе теории технологических укладов. Информационной базой служат нормативные акты Союзного Государства, а также научно-технические проекты и программы с отраслевой локализацией. Результатом работы является описание методов реализации принятой в 2024 г. Стратегии научно-технологического развития Союзного государства, которая позволяет детализировать решения по отдельным передовым или значимым отраслям экономики России и Беларуси. В совокупности предложенные подходы обеспечивают прогресс в области технологического суверенитета и закладывают основу для экономического роста нового качества на базе получаемых фундаментальных научных результатов, создаваемых технологий и успешных инноваций, предполагая интеграцию указанных составляющих. Это ключевое звено в решении задач развития Союзного государства – всесторонняя интеграция и кооперация усилий в науке, технике и производстве. Для реализации стратегии требуется активизация трёх элементов: венчурного финансирования инноваций, субсидий на НИОКР в рамках научно-технических программ и низкопроцентных кредитов банков и институтов развития.

Ключевые слова: Союзное государство, научно-технические программы, наукоёмкое развитие передовых отраслей, стратегия научно-технологического развития, экономический рост

Информация о финансировании: Данное исследование выполнено без внешнего финансирования.

Для цитирования: Глазьев, С.Ю. (2026). О научно-технической политике Союзного государства. *Экономика науки*, 12(1), 11–22. EDN: MDHVFP

¹ В статье используются, излагаются (приводятся текстуально), и анализируются документы Союзного государства, регулирующие научно-технологическую политику. Речь идет о документе «О стратегии научно-технологического развития Союзного государства на период до 2035 года» (доступно по ссылке: <https://посткомсг.рф/docs/item/238637/> Постановление № 2 Высшего государственного совета Союзного государства от 29 января 2024 г., опубликовано 31 января 2024 г.) и «О плане мероприятий по реализации первого этапа (2025–2030 года) стратегии научно-технологического развития Союзного государства на период до 2035 года» (доступно по ссылке <https://посткомсг.рф/docs/item/242194/> Постановление Совета министров Союзного государства № 9 от 26 марта 2025 г., опубликовано 28 марта 2025 г.)

DISCUSSION

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

JEL: O11 O32 O33

EDN: MDHVFP

On the scientific and technical policy of the Union State

S.Yu. Glazyev^{1,2}¹ Standing Committee of the Union State, Moscow, Russian Federation;² Lomonosov Moscow State University, <https://ror.org/010pmpe69>, Moscow, Russian Federation;

e-mail: serg1784@mail.ru

Abstract. This article examines aspects of the formation and implementation of the scientific and technological policy of the Union State of Russia and Belarus. The purpose of the study is to define a strategy for the scientific and technological development of the Union State in a substantive, phased manner and by sector, with a common goal of expanding cooperation and integration of efforts to achieve the technological sovereignty of the Union state based on a sound scientific and technological development strategy. The research methodology utilizes modern approaches to managing scientific and technological development based on the theory of technological paradigms. The research information base consists of regulatory acts for the development of the Union State, and scientific and technological projects and programs with sectoral localization. The result of the work carried out using the designated methodology is a description of the methods for implementing the strategy for scientific and technological development of the Union State, which is currently adopted, and allows for detailed decisions on individual advanced or significant sectors of the economies of Russia and Belarus. Taken together, these proposals will not only ensure progress in technological sovereignty but also lay the foundation for a new quality of economic growth, based on new fundamental scientific results, emerging technologies, and successful innovations, assuming the integration of these components. This is a key link in addressing the development of the Union State – the comprehensive integration and cooperation of efforts in science, technology, and production. Implementing this strategy requires activating three elements: venture financing for innovation, subsidies for R&D within scientific and technical programs, and low-interest loans from banks and development institutions.

Keywords: Union State, scientific and technical programs, knowledge-intensive development of advanced industries, scientific and technological development strategy, economic growth

Funding information: This study was conducted without external funding.

For citation: Glazyev, S.Yu. (2026). On the scientific and technical policy of the Union State, *Economics of Science*, 12(1), 11–22. EDN: MDHVFP

Введение

Современные мирохозяйственные изменения происходят в силу смены технологических укладов и формируемой этим явлением технологической гонки (Глазьев, 1993, 2018). В тех странах, где данный процесс управляется и обоснован с точки зрения концентрации ресурсов или формирования нового ресурса под соответствующий уклад, как, например, в Китае, наблюдаются значительные позитивные изменения в развитии национального хозяйства и его роли в международных делах (Глазьев, 2023). В странах, где до сих пор эксплуатируется идея «созидательного разрушения» (Шумпетер, 2007), в настоящее время фиксируются процессы

замедленного технологического увядания, поскольку такой идеи, оправдывающей развитие капитализма через кризисы и структурные сдвиги, становится недостаточно для описания жёсткой технологической гонки и концентрированного воплощения научных достижений в технологиях. «Экономика знаний» (Макаров, 2003) формирует комбинации нового знания, обеспечивающие кардинальную новизну и создание новых технологий, в результате чего возникает своеобразный комбинаторный эффект (Сухарев, 2008, 2024).

Возникают многочисленные эффекты связи процесса отвлечения ресурса от устаревающего уклада и процесса синтеза нового ресурса, либо даже создания новых отраслей

и видов деятельности, как в случае с атомным проектом во второй половине XX в. Именно такая фундаментальная новизна оживляет и многие, как будто устаревающие, технологии и производства, а не разрушает их. Хотя без процесса разрушения не обходится экономическая и технологическая эволюция, понять её нюансы и получить адекватное описание невозможно только в том случае, если ограничиваться рамками одного принципа – «созидательного разрушения».

Теория технологических укладов реализует идею жизненного цикла макровоспроизводственного контура на базе сложившегося ядра технологий, что предполагает не только отвлечение ресурса, но и создание нового ресурса, его наращивание под новый уклад. Это кардинально отличает её от многих неоклассических моделей, эксплуатирующих идею «созидательного разрушения» или социологических описаний процесса технологической эволюции (Перес, 2011). В то же время теория технологических укладов сближается, например, с рассмотрением многоуровневой экономики (Ярёменко, 1999). Кроме того, исследование складывающихся технологических укладов даёт структурную картину факторов научно-технического (Анчишкин, 1986; Львов, 1990) и социально-экономического развития, тем самым продвигая анализ в область объяснений, описания и разработки мероприятий управления развитием (Львов, 2002; Глазьев, 2018).

Вместе с тем, теория технологических укладов и теория технологических эффектов (Сухарев, 2024) формируют самостоятельное научное направление «экономика технологий», в рамках которого развёртывается анализ мер научно-технической политики как прикладного пласта фундаментальной поисковой работы, нацеленной на выявление закономерностей и связей в области развития техники, технологий и науки. Масштаб поисковых исследований настолько сегодня сложен, что требует специальных вычислительных технологий – искусственного интеллекта для решения слабоструктурированных задач управления в условиях высокой неопределённости (Бахтизин, 2025).

Отметим, что фундаментальные исследования в области экономических наук часто

отрываются от обоснования мер политики, и научно-техническая политика выступает хорошим примером такого отрыва, за исключением случаев, связанных с теорией технологических укладов и «экономикой технологий». Именно эти направления поисковой работы позволяют уточнять принимаемые меры, структурно их представлять и детализировать в будущем, стимулируя наиболее важные научные достижения и их внедрение.

Поддерживая развитие научного направления «экономики технологий» в России и Беларуси, обозначим цель настоящей статьи как демонстрацию содержания и активных мер научно-технической политики в рамках Союзного государства, с выделением основных усилий по расширению интеграции двух стран в этой области. Для достижения цели кратко рассмотрим проекты и программы научно-технического развития Союзного государства (представив их структуру как своеобразную методологию анализа на базе теории технологических укладов) и обозначим этапы стратегии научного и технологического развития. Основной акцент будет сделан на мерах стимулирования научно-технического развития, составляющих основу научно-технической политики.

Методология исследования. Управление технологическим развитием Союзного государства: реализация научно-технических проектов и программ

Научно-технологическим развитием необходимо управлять, и механизмы управления вытекают из теории технологических укладов, которая объясняет перемещение и создание ресурсов под новые производства пятого и шестого технологических укладов. Эти виды производства создают для страны конкурентные преимущества, формируя и новые траектории технологического развития (Глазьев, 1993, 2018; Львов, 1990).

Ключевым механизмом технологического развития в Союзном государстве являются научно-технические программы, а также реализуемые в их рамках проекты. Они охватывают набор отраслей и видов деятельности,

как правило, наукоёмких, и формируются в рамках выбранных государственных приоритетов научно-технического развития. Например, в Беларуси в 2017 г. приказом Государственного Комитета развития науки и техники принята компоновка технологических направлений в привязке к пятому и шестому технологическим укладам. Перспективу такого подхода составит статистический учёт релевантных элементов каждого из новейших укладов. В России в этом направлении за последние годы также были предприняты некоторые позитивные шаги, но они остаются инициативами отдельных исследователей без принятия соответствующих документов в области статистического учёта². Эти усилия расширяют возможности по управлению, созданию мер и механизмов стимулирования пятого и шестого технологических укладов. Ниже будет представлен имеющийся опыт и заделы в области управления программами и проектами развития в научно-технической сфере с общим вектором на достижение технологического суверенитета России и Беларуси. Данные инструменты являются основными методами научно-технической политики.

Рассмотрим ключевые направления научно-технического и отраслевого развития хозяйственной системы Союзного государства с точки зрения реализуемых в их рамках проектов и программ. Далее, для достижения цели статьи, проанализируем принятую в Союзном государстве Стратегию научно-технологического развития, опираясь на документально закреплённые в ней положения.

Основополагающей целью развития Союзного государства выступает достижение научно-технологического суверенитета. Для решения данной задачи в рамках Союзного государства требуется инициация совместных фундаментальных и прикладных исследований с приданием им большего масштаба, а также использование полученных результатов для наращивания научно-технологического потенциала Союзного государства. Главным инструментом управления научно-техническим развитием

при этом выступают разработка и реализация научно-технических проектов и программ.

Союзное государство было создано на основе заключённого договора четверть века назад между Беларусью и Россией. За прошедшее время в рамках Союзного государства было реализовано 57 научно-технических программ и проектов. Эти инициативы нацелены на создание и внедрение новых технологий в таких областях, как космическая отрасль, микроэлектроника, промышленная обработка, сельское хозяйство, медицина, экология и охраны окружающей среды, социальная защита населения.

Наиболее весомые результаты были достигнуты в рамках научно-технического сотрудничества в космической сфере, где к 2024 г. было реализовано восемь базовых научно-технических программ. Например, важнейшим направлением, составившим существенную часть достижений, благодаря совместным усилиям двух государств Союзного государства, стало технологическое направление получения и обработки космической информации. В частности, известны программы «Космос-БР» (1999–2002 гг.) и «Космос-СГ» (2004–2007 гг.), в рамках которых были разработаны элементы, материалы и устройства для космических исследований, а также новые системы космической техники для орбитальных систем – в рамках программ «Космос-НТ» (2008–2011 гг.), «Нанотехнология-СГ» (2009–2012 гг.), «Технология-СГ» (2016–2020 гг.). Фактически были созданы правила стандартизации космической техники в проектах и программах «Стандартизация-СГ» (2011–2014 гг.), «Интеграция-СГ» (2019–2023 гг.). Информация дистанционного зондирования земли для нужд Союзного государства требовала разработки специальных средств и устройств космического назначения, что достигалось по программе «Мониторинг-СГ». На сегодняшний день реализуется уже девятая программа «Комплекс-СГ», которая, по оценкам экспертов, позволит создать принципиально новые образцы бортового оборудования, применяемого в малоразмерных аппаратах космического назначения.

Высокий уровень интеграции усилий Беларуси и России в области космоса является

² Подробнее см.: Сухарев, О.С. (2021). Структура экономического роста. Нужны ли кардинальные изменения? С. 329–340. Ленанд.

наглядным практическим примером эффективности и результативности совместных усилий, обеспечения взаимных хозяйственных выгод и высокой наукоёмкости результатов. В частности, реализована программа освоения космического пространства в рамках Союзного государства, создавшая технологическую базу для белорусской космической аппаратуры дистанционного зондирования Земли. Белорусский космический аппарат дистанционного зондирования с разрешением 2,0 м и российский аппарат «Канопус-В» с аналогичными функциями успешно выведены на орбиту в 2012 г., войдя в состав российско-белорусской группировки аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Таким образом, воплощение совместных космических программ Союзного государства создает устойчивый механизм интеграции усилий России и Беларуси в развитии космической отрасли и сопряжённых с ней производств, а также разработке новых технологий пятого и шестого укладов. Эти усилия позволили создать и продолжают обеспечивать сегодня высокую устойчивую интеграцию аппаратных средств по использованию космических систем, развитие дистанционного зондирования, а также применение интеллектуальных, производственных и других ресурсов для успешного развития космической отрасли, решения отраслевых задач, обеспечения национальных интересов и суверенитета стран Союзного государства.

В сфере микроэлектроники с 1999 г. и по настоящее время реализовано 20 научно-технических программ Союзного государства. Основными из них являются: «Функциональная электроника СВЧ-1», «База», «Функциональная СВЧ электроника-2», «Основа», «Микросистемотехника», «Прамень», «Луч», «Траектория», «Союзный тепловизор» и «Автоэлектроника» и многие другие.

Успешность реализации названных программ обусловлена созданием элементной базы, систем скрытой передачи информации и образцов гибридно-монокристаллических интегральных схем. Кроме того, разработано свыше семи десятков типов новых цифровых, цифро-аналоговых, аналоговых интегральных микросхем. Их

внедрение позволило создать оборудование специального и двойного назначения, развернуть серийное производство в области микроэлектроники и достичь субмикронного уровня топологической ёмкости по технологии СБИС. Были разработаны принципиально новые микроэлектронные модули, а также специальные блоки микроволнового и оптического оборудования, применяемые для сбора и обработки информации. Разработана микросхема и микроконтроллер с 10-разрядным аналого-цифровым преобразователем, устойчивый к внешним факторам и применяемый в высокопроизводительных информационных системах.

Указанные программы позволили создать перспективную компонентную базу и унифицировать электронные модули и блоки. В области импортозамещения созданы образцы гибридных гетероструктур, отвечающие самым передовым техническим требованиям и условиям, в частности по частоте и длине волны, удельной мощности, и эксплуатационным характеристикам. Разработана технология производства микросхем по типу модулятора-демодулятора, приемника и передатчика на базе арсенида галлия в СВЧ-диапазоне частот.

Созданы, испытаны и изготовлены почти полтора десятка опытных образцов базовых тепловизоров специального и двойного применения, включая:

- неохлаждаемые фотоприёмные устройства, предполагающие применение микроболометрической матрицы;
- неохлаждаемые фотоприёмные устройства, основанные на квантовых ямах;
- тепловизоры на базе микроболометрических, фотоприёмных устройств с квантовой ямой.

Интеграция обрабатывающей промышленности направлена на формирование наукоёмких производств и внедрение передовых технологий в промышленности и сельском хозяйстве. Положительные эффекты такой интеграции проявляются в развитии химической, автомобильной, сельхозмашиностроительной и пищевой промышленности. Охват программами этого направления включал до 15 реализуемых научно-технических планов и проектов.

В частности, одним из положительных результатов научно-технической политики стал запуск серийного производства оборудования для выпуска химических волокон в рамках программ «Химическое волокно-1». По программам «Композит» (2008–2011 гг.) и «Композит» (2012–2016 гг.) внедрены технологические инновации, касающиеся композиционных и полимерных материалов, армирующих элементов, матриц. Создание и организация серийного производства дизельных двигателей, соответствующих мировым стандартам, были реализованы в рамках программ «Дизель-1» и «Дизель-2», причём это позволило увеличить производительность сельхозмашин для уборки зерна по программе «Союзный комбайн».

Сельское хозяйство и пищевая промышленность Союзного государства также развивались в соответствии с утверждёнными программами, что обеспечило повышение эффективности производства, улучшение качества молочной и плодоовощной продукции. Применялись новые прогрессивные технологии и техника по программам «Молоко» и «Плодоовощ». По программам «БелРосТрансген» и «БелРосТрансген-2» велось создание биологически безопасных препаратов на основе лактоферина человека, а также изучались возможности повышения эффективности пищевых производств за счет интенсификации их переработки и отходов. Отдельное внимание уделялось задачам ресурсосбережения и созданию экологически чистых технологий, особенно в области производства биологически полноценных комбикормов, что отражено в программах «Отходы», «Комбикорм» и «Комбикорм-СГ».

Тем самым, в силу реализации научно-технических проектов и программ в Союзном государстве возникли новые виды деятельности. Были созданы методики диагностики генетически обусловленных болезней, применения стволовых клеток для регенерации тканей в рамках программ «ДНК-идентификация» и «Стволовые клетки». Это способствовало расширению возможностей оказания высокотехнологичной медицинской помощи. Основной вклад внесли, в первую очередь, НАН Беларуси и РАН. В Российской академии наук

были разработаны методы генетической идентификации места происхождения человека, осуществляемой по фрагментам биоматериала, которые получили широкое применение в криминалистике.

Общим итогом исполнения программы «ДНК-идентификация» (2017–2021 гг.) стало создание девяти ДНК-технологий идентификации личности и её особенностей по ДНК человека. Внедрение этих технологий обеспечило повышение достоверности результатов, снижение трудозатрат и расходов на криминалистическую идентификацию. Одновременно с этим повысилась эффективность оказания медицинской помощи, прежде всего пациентам с генетическими отклонениями. Особо следует отметить создание генографического атласа частот встречаемости вариантов генетических локусов, отражающего вариативность частот генов, а также зависимость чувствительности и специфичности технологии от особенностей территориальных генофондов.

В медицинской отрасли Союзного государства в период с 2017 по 2020 гг. реализована программа «Спинальные системы». Она позволила освоить весьма сложные хирургические вмешательства у детей, страдающих тяжелыми врожденными деформациями либо повреждениями позвоночника. Для таких пациентов осуществляется индивидуальный подбор и установка спинальной системы. Стоимость данной системы почти в 4 раза ниже мировых аналогов, при этом она не уступает им по основным характеристикам и в ряде параметров превосходит их.

Осуществлённые разработки привели к сокращению сроков стационарного лечения пациентов в 1,5–2 раза, уменьшилась продолжительность реабилитационного периода, оптимизированы затраты на лечение пациента при сохранении уровня качества медицинской помощи. В результате, в Республике Беларусь с 2021 г. по настоящее время прооперирован 41 ребенок с выявленной тяжёлой деформацией позвоночника (в том числе одному ребенку выполнены два оперативных вмешательства на нескольких сегментах позвоночника). Все операции выполнены

с применением спинальных систем, включая 32 шейно-грудных и 10 пояснично-крестцовых конструкций.

В 2025 г. реализовывалось семь научно-технических программ. Из них три относились к научно-техническим программам гражданской направленности («Комплекс-СГ», «Компонент-Ф», «Интелавто»), а оставшиеся четыре ориентированы на укрепление обороноспособности и обеспечение безопасности, включая одну программу в области защиты информации.

При применении инструмента научно-технических программ как центрального инструмента управления научно-технологическим развитием необходимо учитывать финансовые ограничения. В соответствии с действующим законодательством предельный объем финансирования программ составляет 2 млрд. руб., а проектов – до 500 млн. руб. Разработка и практическая реализация осуществляются под контролем государственных заказчиков, к которым относятся заинтересованные министерства, ведомства, госкорпорации в России, а также Национальная Академия наук в Беларуси и РАН. Совет Министров Союзного государства принимает решения об утверждении отчетов и оценке результатов реализации уже принятых программ развития.

Суммируя изложенное выше, обобщим, что приведенные в анализе результаты, а также сам механизм, предполагающий воплощение принципа этапности, рубежности и коррекции планов и программ позволяет управлять научно-техническим развитием. Нормативно-правовая база Союзного государства исполняет роль легитимации принимаемых решений по выполнению принимаемых научно-технических проектов и программ, представляя интегрирующее начало. Приведенный механизм представляет собой действенный инструмент как формирования стратегии развития Союзного государства в технологической и научной сферах, так и совокупность мер целенаправленного воздействия для достижения результатов в области науки и техники. Рассмотрим ниже принятую Стратегию научно-технологического развития Союзного государства, выделив её интегрирующие элементы и направления интенсификации работы

по обеспечению ожидаемых результатов необходимыми ресурсами.

Обсуждение результатов. Стратегия научно-технологического развития Союзного государства: интеграция и меры поддержки

Высший Государственный Совет Союзного государства утвердил Стратегию научно-технологического развития на период до 2035 года (Постановление от 29 января 2024 г. № 2). Для её реализации Совет Министров Союзного государства принял План мероприятий по реализации первого этапа (2025–2030 годы) (Постановление от 26 марта 2025 г. № 9). Ниже приведены положения этих документов на основе текстов приведенных постановлений.

Стратегия научно-технологического развития направлена на обеспечение безопасности, повышение научного и технологического суверенитета, а также решение социально-политических и хозяйственных задач Союзного государства в соответствии с Договором участников Союзного государства. Она предусматривает проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских, технологических, производственных, организационно-хозяйственных и других работ, скоординированных по исполнителям, ресурсам и срокам.

Стратегия определяет наиболее значимые для устойчивого научно-технологического развития Союзного государства вызовы (далее приводится текстовое перечисление из указанных документов):

- а) обеспечение стабильного экономического роста в условиях неблагоприятной геополитической ситуации;
- б) обеспечение продовольственной безопасности и формирования системы полного цикла воспроизводства продовольственной продукции в условиях ограничений доступа к мировым рынкам семян и племенной продукции (материалу), а также к высокотехнологической агропромышленной технике;
- в) обеспечение энергетической безопасности и формирование сбалансированной

диверсифицированной энергосистемы полного жизненного цикла на базе новых, в том числе природоподобных энерготехнологий, включая ядерную энергетику;

- г) обеспечение биобезопасности, в том числе предупреждения, выявления и противодействия существующим, возникающим и потенциально возможным инфекциям;
- д) обеспечение информационной безопасности, в первую очередь в целях защиты государств – участников Договора о создании Союзного государства от внутренних и внешних угроз.

Стратегия определяет следующие направления научно-технологического развития Союзного государства:

- а) ядерные технологии, новая, в том числе природоподобная энергетика, развитие атомной энергетики, атомные станции малой мощности, включая передвижные АЭС;
- б) сельское хозяйство и аквакультура, генетика и биотехнологии, биобезопасность, включая продовольственную;
- в) высокотехнологичная медицина, персонализированная медицина, биомедицина, ядерная медицина;
- г) цифровые технологии, искусственный интеллект, большие данные, информационная безопасность;
- д) исследовательские инфраструктуры, проекты класса мегасайенс;
- е) новые конструкционные и многофункциональные материалы, аддитивные технологии, материаловедение и химические исследования;
- ж) инновационные технологии в микроэлектронике;
- з) культурное наследие и социогуманитарные исследования, противодействие социокультурным угрозам;
- и) инновационное машиностроение, машиностроительное оборудование и технологии, интеллектуальное приборостроение.

В утверждённой стратегии, что является её несомненным преимуществом, используется принцип этапности исполнения, достижения результатов и отслеживание успешности по

так называемым рубежным показателям. Конкурентные вызовы определяют реакции и многие принимаемые меры стимулирования развития технологий на уровне государства.

Принимая во внимание ожидаемые вызовы, а также состояние и перспективы проведения фундаментальных и прикладных исследований в России и Беларуси, стратегия Союзного государства осуществляется в два этапа. Опираясь на тексты соответствующих документов Стратегии, обозначим основные два её этапа, характеризуя действия на каждом из них.

На первом этапе Стратегии:

- а) создаются организационные, финансовые и законодательные механизмы, обеспечивающие гармонизацию научной, научно-технической, инновационной, промышленной, экономической, социальной политики и готовность государств – участников Договора о создании Союзного государства к ответам на большие вызовы;
- б) начинается разработка механизмов и инфраструктурных элементов, обеспечивающих функционирование единой исследовательской инфраструктуры класса мегасайенс Союзного государства;
- в) осуществляется запуск научных проектов, которые направлены на получение новых фундаментальных знаний, необходимых для долгосрочного развития, и основаны в том числе на конвергенции различных направлений исследований, включая гуманитарные и социальные;
- г) начинается реализация научно-технических проектов и (или) программ в рамках приоритетов научно-технологического развития Союзного государства, определённых в Стратегии;
- д) формируется целостная система устойчивого воспроизводства привлечения кадров для научно-технологического развития Союзного государства;
- е) создаются условия, необходимые для роста инвестиционной привлекательности научной, научно-технической и инновационной деятельности.

На втором этапе Стратегии:

- а) формируются принципиально новые научно-технологические решения в интересах

экономического развития Союзного государства, основанные в том числе на природоподобных технологиях;

- б) вводятся меры, направленные на стимулирование перехода стадии активной коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности и к масштабному созданию новых продуктов и услуг, основанных на технологиях, отвечающих на большие вызовы;
- в) обеспечивается увеличение объёма экспорта технологий и высокотехнологичной продукции и поддержки компаний Союзного государства при выходе на глобальный рынок.

В процессе реализации Стратегии Союзного государства предполагается кардинальное изменение значения науки и технологий в развитии хозяйственной системы, государства, что подкрепляется следующими результатами (ниже текст приводится по указанным документам):

- а) обеспечить готовность Союзного государства к существующим и возникающим большим вызовам на основе генерации и применения новых знаний и эффективного использования человеческого потенциала;
- б) повысить качество жизни населения, обеспечить безопасность Союзного государства и укрепление позиций России и Беларуси в глобальном рейтинге уровня жизни за счёт создания на основе передовых научных исследований востребованных продуктов, товаров и услуг;
- в) обеспечить технологическое обновление традиционных для России и Беларуси отраслей экономики и увеличение доли продукции новых высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом внутреннем продукте;
- г) обеспечить продвижение разработанных в Союзном государстве технологий и инновационных продуктов на новые рынки, рост доходов от экспорта высокотехнологичной продукции, услуг и прав на результаты интеллектуальной деятельности и, как следствие, усиление влияния и конкурентоспособности

государств – участников Договора о создании Союзного государства в мире;

- д) создать эффективную систему организации исследований и разработок, обеспечивающую высокую результативность и востребованность в социально-экономической сфере исследований и разработок, рост инвестиций в исследования и разработки и увеличение доли частных инвестиций во внутренних затратах на исследования и разработки, привлекательность работы в государствах – участниках Договора о создании Союзного государства для наиболее перспективных исследователей и повышение роли науки Союзного государства в мире;
- е) обеспечить рост влияния науки на технологическую культуру в Союзном государстве, повышение степени понимания политических, экономических, культурных, информационных и иных происходящих в современном обществе процессов и воздействующих на них разнообразных природных и социальных факторов, а также обеспечить повышение степени организации общественных отношений и содействовать предупреждению социальных конфликтов.

Итогом воплощения приводимых пунктов Стратегии научно-технологического развития должно стать создание единой системы, интегрированной в социально-экономическую систему Союзного государства. Эти усилия и меры призваны повысить общую конкурентоспособность Союзного государства и образующих его стран, увеличить независимость технологического развития.

В качестве институционализации достижений предусмотрена премия Союзного государства в области науки и техники, а также премия для молодых учёных. В частности, 28 ноября 2025 г. в г. Сочи, в рамках V Конгресса молодых ученых в «Сириусе», была вручена первая Премия Союзного государства для молодых ученых. Ее лауреатами стали два коллектива, представляющие Россию и Беларусь, за работу «Структурный и функциональный анализ

белков для разработки инновационных подходов к диагностике и терапии социально значимых заболеваний», а также за работу «Физические и электрохимические технологии синтеза низкоразмерных функциональных материалов и структур для систем сенсорики». Ещё один коллектив молодых учёных, представляющий только Беларусь, получил премию за «Разработку и освоение серийного производства тепловизионных изделий».

Премия Союзного государства в области науки и техники для учёных вручается в третий раз. 4 декабря 2025 г. в Минске, в Академии наук Беларуси, она была присуждена за две совместные работы: «Разработка новых спинальных систем с использованием технологий прототипирования в хирургическом лечении детей с тяжелыми врожденными деформациями и повреждениями позвоночника» и «Разработка и практическое использование высокопроизводительных информационно-вычислительных технологий для увеличения ресурсного потенциала минерально-сырьевой базы Союзного государства».

В настоящее время инструменты программного развития науки и техники становятся всё более эффективными, обеспечивая интеграцию в рамках Союзного государства. Источником финансовых ресурсов является бюджет Союзного государства, а также субсидии исполнителей под контролем государственных заказчиков. Экономический эффект оказывается довольно высокий. Однако, отметим, что эффект в области технологий и научного развития многократно превосходит экономический, а также способствует решению совместных задач по обеспечению национальной безопасности Союзного государства и достижению технологического суверенитета. Возникают и положительные социальные эффекты, а также так называемая некоммерческая выгода реализации проектов.

С точки зрения финансовой эффективности, критерии оценки не всегда применимы к НИОКР. Тем не менее, если проведение НИОКР заканчивается разработкой технологии и её внедрением, то ожидаемые результаты оказываются достаточно высокими. Более того, для расширения таких эффектов в ходе

проведения НИОКР следует расширить вовлечение институтов развития в рамках Союзного государства, в частности банков развития, венчурных и инвестиционных фондов, специальных кредитов и субсидий, в том числе с элементами рефинансирования центральными банками.

Таким образом, Стратегия научно-технологического развития Союзного государства является документом стратегического планирования, который требует включения в общий народнохозяйственный план, создание каналов и механизмов целевого финансирования в соответствии с уровнем и масштабом поставленных задач. Эти механизмы могут и должны включать:

- субсидии на НИОКР, исполнение научно-технических программ, предоставляемые из бюджета Союзного государства;
- венчурные инвестиции, которые используются для финансирования инновационных проектов, через создание Инновационного фонда Союзного государства;
- низкопроцентные инвестиционные кредиты, выдаваемые на льготных условиях коммерческими и государственными банками, созданными в соответствии с целями Стратегии в качестве институтов развития.

Это минимально необходимый набор механизмов (инструментов), необходимых для интенсификации научно-технологического развития государств – членов Союзного государства (Россия и Беларусь).

Данную деятельность нужно организовать на базе общей инвестиционной платформы Союзного государства и институтов развития, используя не только финансовые, но и организационные ресурсы и управленческие меры. Требуется согласование монетарной политики и единые организационные формы для Союзного государства, стимулирующие указанное развитие и обеспечивающие практическое воплощение Стратегии.

Заключение

Подводя итог, обозначим следующие выводы. Во-первых, имеется значительный потенциал для интеграции усилий России и Беларуси

в рамках Союзного государства в области научно-технологического развития, концентрации достижений, обмена полученными результатами, осуществления совместных исследований, проектов и программ с подготовкой базы для внедрения полученных фундаментальных достижений. Представляется важным отметить необходимость концентрации соответствующих ресурсов, их обоснованного распределения и наращивания по приоритетным направлениям развития науки и техники пятого и шестого технологических укладов.

Во-вторых, «экономика технологий» как научное направление, основанное на теории технологических укладов, формирует новую траекторию для исследований экономистами проблем замещения и дополнения технологий, их генерации и эксплуатации (Сухарев, 2024). Эти процессы крайне важны и пока изучены частично, представляя новый пласт поисковой работы (Красников и др., 2017). Совместное развитие подобных научных направлений рассматривается как ценная форма интеграции усилий в рамках Союзного государства.

В-третьих, научно-техническая политика Союзного государства предполагает реализацию инструментов, вводимых в рамках Договора Союзного государства и принимаемых нормативных актов, а также с учётом осуществления совместных программ и проектов научно-технологического развития. Требуется активизация институтов развития, создание новых

кредитных механизмов, инструментов специального инвестиционного контракта и других подобных инструментов.

Тем самым, научно-технологическое развитие Союзного государства способно внести вклад в достижение технологического суверенитета. Для этого необходима согласованная совместная научно-технологическая политика с общим вектором на опережающее развитие производств пятого и шестого технологических укладов, а также с подстройкой общей макроэкономической политики под эту задачу, чтобы избежать тормозящего эффекта монетарной политики (Дементьев, 2023).

Таким образом, рассмотренные выше отраслевые программы и проекты научно-технологического развития, а также Стратегия реализации научных и технологических достижений Союзного государства нуждаются в интенсификации усилий по наращению соответствующих ресурсов с использованием обозначенных инструментов стимулирования, а также поиска и расширения областей применения полученных научных результатов в конкретных видах производства.

Конкурирующие интересы

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The author declares no conflict of interest.

Список источников/ References

1. Анчишкин, А.И. (1986). *Наука, техника, экономика*. Экономика. Anchishkin, A.I. (1986). *Science, technology, economics*. Economica. (in Russian)
2. Бахтизин, А.Р. (2025). *Технологии ИИ для моделирования социально-экономических систем*. В книге: Исследования по цифровой экономике (с. 48–62). МГУ. EDN: LEJXRG
Bakhtizin, A.R. (2025). *AI technologies for modeling socioeconomic systems*. In *Research in the digital economy* (pp. 48–62). Moscow State University. (in Russian)
3. Глазьев, С.Ю. (2023). *Китайское экономическое чудо. Уроки для России и мира*. Весь мир. Glazyev, S.Yu. (2023). *The Chinese economic miracle. Lessons for Russia and the world*. Ves' Mir Publishing House. (in Russian)
4. Глазьев, С.Ю. (2018). *Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах*. Книжный мир. EDN: VQDBYV
Glazyev, S.Yu. (2018). *Leap into the Future. Russia in the new technological and world-economic orders*. Knizhny Mir. EDN: VQDBYV (in Russian)
5. Глазьев, С.Ю. (1993). *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. Владар. EDN: YSXIUV
Glazyev, S.Yu. (1993). *The theory of long-term technological and economic development*. Vladar. EDN: YSXIUV (in Russian)

6. Дементьев, В.Е. (2023). Обновление технологической базы экономики и реальные процентные ставки. *Журнал новой экономической ассоциации*, 3(60), 104–119. EDN: LBKSGQ, https://doi.org/10.31737/22212264_2023_3_104-119
Dementyev, V.E. (2023). Updating the technological base of the economy and real interest rates. *Journal of the New Economic Association*, 3(60), 104–119. EDN: LBKSGQ (in Russian) https://doi.org/10.31737/22212264_2023_3_104-119
7. Красников, Г.Я., Горнев, Е.С., & Матюшкин, И.В. (2017). Общая теория технологии и микроэлектроника: часть 2. Вопросы метода и классификации. *Электронная техника. Серия 3: Микроэлектроника*, 4(168), 16–41. EDN: ZUQSZZ
Krasnikov, G.Ya., Gornev, E.S., & Matyushkin, I.V. (2017). General theory of technology and microelectronics: Part 2. Issues of methodology and classification. *Electronic Engineering. Series 3: Microelectronics*, 4(168), 16–41. EDN: ZUQSZZ (in Russian)
8. Львов, Д.С. (2002). *Экономика развития*. Экзамен.
Lvov, D.S. (2002). *Development economics*. Ekzamen. (in Russian)
9. Львов, Д.С. (1990). *Эффективное управление техническим развитием*. Экономика.
Lvov, D.S. (1990). *Effective management of technical development*. Economica. (in Russian)
10. Макаров, В.Л. (2003). Экономика знаний: уроки для России. *Вестник Российской Академии наук*, 73(5), 450–456. EDN: OMBKAR
Makarov, V.L. (2003). The knowledge economy: Lessons for Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 73(5), 450–456. EDN: OMBKAR (in Russian)
11. Перес, К. (2011). *Технологические революции и финансовый капитал. Динамика пузырей и периодов процветания*. Дело. EDN: QULVFB
Perez, K. (2011). *Technological revolutions and financial. Capital: the dynamics of bubbles and golden ages*. DELO Publishing House.
12. Сухарев, О.С. (2024). “Экономика технологий” как направление науки: ретроспектива и перспектива. *Экономика науки*, 10(1), 41–53. EDN: ASEXX, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-1-41-53>
Sukharev, O.S. (2024). Economics of technology as a scientific field: retrospective and prospective aspects. *Economics of Science*, 10(1), 41–53. EDN: ASEXX (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-1-41-53>
13. Сухарев, О.С. (2008). *Экономика технологического развития*. Финансы и статистика. EDN: SUQTSX
Sukharev, O.S. (2008). *Economics of technological development*. Finance and Statistics. EDN: SUQTSX (in Russian)
14. Шумпетер, Й.А. (2007). *Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия*. Эксмо.
Schumpeter, J.A. (2007). *The theory of economic development. Capitalism, socialism and democracy*. Eksmo.
15. Ярёмченко, Ю.В. (1999). *Избранные труды в трёх книгах*. Кн. 1–3. Наука.
Yaremenko, Yu.V. (1999). *Selected works in three books* (Books 1–3). Nauka (in Russian)

Информация об авторе

Глазьев Сергей Юрьевич – Государственный секретарь Союзного государства, Постоянный Комитет Союзного государства, доктор экономических наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой «Теория и методологии государственного и муниципального управления» факультета государственного управления МГУ им. М.В. Ломоносова, SPIN-код РИНЦ 4922–6019, Scopus Author ID: 7801629452, ORCID: 0000-0001-6745-7265 (Российская Федерация, 119034, Москва, Еропкинский переулок 5, строение 1; e-mail: serg1784@mail.ru).

Glazyev Sergey Yuryevich – State Secretary of the Union State, Standing Committee of the Union State, Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Theory and Methodology of Public and Municipal Administration, Faculty of Public Administration, Lomonosov Moscow State University, Scopus Author ID: 7801629452, ORCID: 0000-0001-6745-7265 (Building 1, 5 Eropkinsky Lane, Moscow, 119034, Russian Federation; e-mail: serg1784@mail.ru).

Поступила в редакцию (Received) 24.12.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 03.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 26.02.2026

АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА/ДИСКУССИЯ

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
УДК: 330.34.01
JEL: A10, C60
EDN: GXQBLI

Математика и экономика в пространстве Мебиуса: системный взгляд на междисциплинарные технологии познания

Г.Б. Клейнер^{1,2,3}

¹ Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, <https://ror.org/05qrfxd25>, Москва, Российская Федерация;

² Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация;

³ Государственный университет управления, Москва, Российская Федерация;
e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматривается соотношение между математикой и экономикой как тесно взаимодействующими друг с другом областями знания. Несмотря на многовековое обсуждение этого вопроса, в современных условиях резкого ускорения научно-технического прогресса, турбулентности экономической среды, создания новых средств коммуникации, аналитики и принятия решений возникает необходимость пересмотра требований к коллаборации математики и экономики. Исследуются общие и отличительные особенности этих наук, определяются структурные и функциональные предпосылки и цели их согласованного и синхронизированного развития. Результаты проецируются на процессы экономико-математического и компьютерного моделирования, включая построение, анализ и интерпретацию моделей. Акцентируются принципы доказательного моделирования, требующие особого внимания ко всем этапам моделирования. Показана целесообразность применения ленты Мебиуса как пространства коэволюционного развития математики и экономики при построении и интерпретации результатов моделирования. Цели и задачи исследования связаны с определением принципов и методов организации эффективного и надежного взаимодействия математики и экономики как в макромасштабах дисциплинарного и междисциплинарного развития, так и в микромасштабах разработки конкретных экономико-математических моделей. В качестве методологической основы применяется системный анализ сферы фундаментальных, естественных и социогуманитарных наук. Обоснованы и структурированы требования к математизации экономики и экономизации математики как перспективных направлений взаимодействия дисциплин.

Ключевые слова: экономика, математика, моделирование, пространство Мебиуса, взаимодействие математики и экономики

Информация о финансировании: Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

Для цитирования: Клейнер, Г.Б. (2026). Математика и экономика в пространстве Мебиуса: системный взгляд на междисциплинарные технологии познания. *Экономика науки*, 12(1), 23–33. EDN: GXQBLI

DISCUSSION

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

JEL: A10, C60

EDN: GXQBLL

**Mathematics and economics in the Möbius space:
a systems view on the interdisciplinary
technologies of cognition****G.B. Kleiner^{1,2,3}**¹ Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;² Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation;³ State University of Management, Moscow, Russian Federation;

e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Abstract. Relations between mathematics and economics as closely interrelated fields of knowledge have been examined in the paper. Despite the centuries of extended debates over this issue the necessity to reconsider requirements for collaboration between mathematics and economics has appeared in today's rapidly accelerating scientific and technological progress, turbulent economic environment, development of new means of communication, analytics, and decision-making. The general and distinctive features of these disciplines have been explored, and the structural and functional prerequisites and goals for their coordinated and synchronized development have been identified. The results are applied to the processes of economic-mathematical and computer modeling, including construction, analysis and interpretation of models. The principles of evidence-based modeling, which are of a special attention to all stages of modeling, have been emphasized. The feasibility of using the Möbius strip as a space for the coevolutionary development of mathematics and economics is demonstrated. The goals and the objectives of this study are to define principles and methods for organizing effective and reliable interaction between mathematics and economics, both at the macro-scale of disciplinary and interdisciplinary development and at the micro-scale of developing specific economic-mathematical models. Systems analysis of the fundamental, natural and social sciences and humanities is used as a methodological basis. The requirements for the mathematization of economics and the economization of mathematics as perspective areas of interaction between the disciplines have been substantiated and structured.

Keywords: economics, mathematics, modeling, Möbius space, interaction of mathematics and economics

Funding: The article was prepared on the base of the results of the research carried out at the expense of budgetary funds under a state assignment from the Financial University under the Government of the Russian Federation.

For citation: Kleiner, G.B. (2026). Mathematics and economics in the Möbius space: a systems view on the interdisciplinary technologies of cognition. *Economics of Science*, 12(1), 23–33. EDN: GXQBLL

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о соотношении между экономикой как наукой о производстве, распределении, обмене и потреблении ценностей и математикой как наукой о количественных отношениях (числах) и пространственных формах (геометрических фигурах) исследовался в течение столетий (Макаров и др., 2022; Блауг, 2004; Карев, 2011; Юшкевич, 1970; Michel & Chemla, 2020; Weintraub, 2002). При этом возникновение математики как самостоятельной науки часто связывалось с необходимостью решения таких проблем, как измерение

и сравнение материальных и финансовых ресурсов, выплата процентов по займам, адекватная оплата труда и тому подобное. Здесь математика выступает как вспомогательная сфера по отношению к экономике. Развитие экономики, в свою очередь, способствовало расширению предметно-функциональной сферы математики, ее становлению как области профессиональной деятельности математиков. В дальнейшем данные отрасли развивались по расходящимся траекториям, пока в конце XIX – начале XX вв. не сформировалось самостоятельное промежуточное направление – сфера

экономико-математического моделирования, пополнившая к началу XXI в. свой инструментарий за счет имитационного, компьютерного и когнитивно-интеллектуального моделирования (big data, интернет, искусственный интеллект). В новых условиях взаимоотношения между математикой и экономикой требуют пересмотра как на макроуровне взаимоотношений научно-практических дисциплин, так и на микроуровне взаимоотношений «математическая модель – экономический объект моделирования».

В настоящей статье вопрос о взаимоотношении между математикой и экономикой рассматривается с позиций поиска резервов повышения эффективности их коллаборации. Вопрос порой выходит за рамки указанных дисциплин и затрагивает общие проблемы познания и преобразования действительности. В качестве методологического инструментария для его исследования используется образ ленты Мебиуса – известной геометрической модели пространства, воплощающей концепцию единства и бесконечности мира. Ее применение дает возможность определить основные направления согласованного развития математики и экономики как полярных и вместе с тем взаимосвязанных научно-практических дисциплин. С этой целью в статье решаются задачи исследования: общих черт этих отраслей знания; их отличительных особенностей; динамики развития промежуточной сферы экономико-математического моделирования. Конструкция помещается в «мир Мебиуса» как пространственно-временной континуум, дающий неограниченный диапазон для формирования системного мировоззрения во внесистемном и нестабильном мире.

Математика и экономика: предметно-функциональные различия

Некоторые авторы полагают, что естественным языком общей экономической теории является язык математики (Самуэльсон, 2002; Доу, 2006; Барлыбаев и др., 2009). Однако математика выходит за рамки языковой функции и представляет собой саморазвивающуюся, в значительной степени автономную систему. При этом математика и экономическая

теория представляют собой принципиально различные ветви знания. Если математика базируется на терминах и концепциях, формируемых в рамках самой дисциплины (натуральный ряд, рациональные и иррациональные числа, функции, правильные многогранники и другие), то экономика широко использует термины и знания, относящиеся к смежным наукам, таким как социология, технология, психология и иные. В этом смысле зазор между собственно математикой и собственно экономикой является, кажется, неустранимым. В пространстве между ними помещается огромный массив знаний о методах измерения, процедурах построения и интерпретации экономико-математических моделей, разработке рекомендаций по совершенствованию управления экономикой. Отсюда следует, что когда речь идет об адекватности той или иной математической или компьютерной модели, имеется в виду не сближение математической модели и экономической реальности, а соответствие модели той промежуточной информации, которая, с одной стороны и в одних терминах описывает свойства модели, а с другой и в других терминах описывает состояние того или иного фрагмента экономики.

Можно отметить существенные различия между психологическими типами ученых, работающих в сфере математики, с одной стороны, и в сфере экономики, с другой. Исследователи-математики и исследователи-экономисты в общем случае обладают не просто различными, но противоположными психологическими особенностями (см., напр., (Винобер, 2024)). Несколько примеров:

- если математики, как правило, интровертны, то экономисты в своей массе экстравертны;
- математики воспринимают мир как совокупность отдельных систем с четкими границами, экономисты имеют дело с перетекающими друг в друга системами с неопределенными границами;
- математики реактивны, экономисты проактивны;
- математики склонны к индивидуальному труду, экономисты готовы к коллективному труду;

- работа математика зачастую связана с длительным периодом безуспешных попыток решения поставленной задачи и кратким периодом получения искомого решения, тогда как работа экономиста связана с менее резкими перепадами между процессом поиска и фактом получения решения. В связи с этим профессиональная работа математика требует более серьезных волевых усилий, чем работа экономиста.

Чтобы глубже понять различие между математикой и экономикой, обратимся к классификации наук по особенностям предметов изучения. Воспользовавшись методологией системной экономической теории, условно разделим науки на четыре группы:

- *объектные науки*, изучающие локализованные в пространстве и неограниченно продолжающиеся во времени фрагменты предметной области;
- *процессные науки*, изучающие локализованные во времени и подвижные в пространстве части предметной области;
- *проектные науки*, изучающие локализованные во времени и в пространстве части предметной области;
- *средовые науки*, изучающие подвижные как в пространстве, так и во времени части предметной области.

Математика относится к числу объектных наук, поскольку единицами изучения в ней являются, главным образом, такие статические объекты, как числа, множества, фигуры и тому подобные; экономика – к числу процессных наук, поскольку единицами исследования являются обычно процессы, такие как экономический рост, инфляция, динамика занятости и другие. Наоборот, история, изучающая локальные в пространстве и во времени события, – проектная наука; философия, изучающая всеобщие законы развития мира и общества, – средовая наука.

Основываясь на этой классификации, можно заключить, что экономика и математика являются в определенном смысле антиподами по отношению друг к другу (более подробные сведения о свойствах таких полярных систем, как объект и процесс, проект и среда, можно

получить из теории тетрадь и теории двойственности (см. (Клейнер, 2019)). Утверждения, исходящие от математики и от экономики, воспринимаются человеком неодинаково. Если математические формулировки воспринимаются как однозначные, то экономические – как относительные, зависящие от времени и пространства их адресации, а также контекста их формулирования. Соответственно, утверждения в математике, как правило, считаются объективными, а оценки в экономике носят субъективный характер. Последнее обстоятельство выражается с помощью утверждений типа «ощущается как ...». Например, температура воздуха -5°C ощущается как -9°C . Речь идет о роли человеческого фактора в промежуточном пространстве между математикой и экономикой. Фактически эту же роль выполняет фондовый рынок, который формируется на базе множества субъективных оценок и влияет на реальное состояние экономических систем.

Математика и экономика: общие черты

Несмотря на явные различия между математикой и экономикой, можно отметить ряд общих признаков. Обе эти науки пользуются значительным массивом общих терминов: рост и падение; принадлежность/собственность; равновесие; влияние/зависимость; производные/деривативы; штрафы (штрафные функции/штрафные санкции); группировка и координация; «золотое сечение»; дискретность и непрерывность; инвариантность; семейство; неопределенность; система и иные. В математике используются и такие, казалось бы, чисто экономические выражения, как предельное влияние (частная производная), эластичность замещения, «жадные» алгоритмы и другие. Многие методы и алгоритмы вычислительной математики могут быть адекватно описаны в терминах экономических отношений между самостоятельными агентами с учетом аналогии между частными производными и ценами. Так, метод множителей Лагранжа для нахождения условного экстремума функции имеет однозначную экономическую интерпретацию. То же самое можно сказать и о ряде других методов решения оптимизационных задач,

включая методы покоординатного спуска, градиентные методы и другие.

В общем случае математику можно рассматривать как определенный вид экономической деятельности, включающей производство (получение новых результатов), распределение (размещение полученных результатов в каналах коммуникации с потребителями/пользователями результатов), обмен (взаимное ознакомление с полученными результатами и консультации с участниками рынка в рамках семинаров, симпозиумов, конференций), потребление (использование внешней информации, необходимой для продолжения исследований). Экономические закономерности в адаптированном виде распространяются и на рынок математических результатов, включающий такие продукты, как новые концепции, теоремы, алгоритмы. Подобно тому, как в экономике взаимодействуют объектные, проектные, процессные и средовые системы, в математике можно обнаружить разделы, обладающие чертами, сходными с особенностями, характерными для объектного, проектного, процессного и средового секторов экономики. Дискретную математику, включая алгебру, можно рассматривать как аналог объектного сектора; теорию вероятностей, трактующую вероятности событий с помощью σ -алгебр – как аналог проектного сектора; функциональный анализ и теорию функций – как аналог процессного сектора; топологию – как аналог средового сектора. Это дает возможность применить к математике с соответствующими модификациями результаты исследований взаимосвязей между системными секторами экономики.

Наиболее важная связь между математикой и экономикой реализуется с помощью термина «система». На стороне математики возникают системы координат, переменных, зависимостей, уравнений и другие. На стороне экономики фигурируют системы интересов, институтов, ограничений и другие системы. В ходе моделирования в качестве систем выступают: предмет моделирования; аппарат моделирования; процесс моделирования (согласование этапов моделирования); цели моделирования; интерпретация результатов моделирования. Понимание всеобщности концепции системы

составляет основу так называемого *системного мышления* и *системного моделирования* (Клейнер, 2013; Морозов, 2016; Горелов и др. 2012; Черкашин, 2019). Развитие системной методологии на базе общей теории систем и пространственно-временного анализа должно привести к созданию системной математики как науки о структуре и взаимодействии математических систем; системной экономики как науки о создании и взаимодействии экономических систем; системного моделирования как системы методов построения и исследования взаимоотношений между математическими и экономическими системами. В связи с этим одной из задач как экономического, так и математического образования является воспитание исследователей и участников экономической деятельности, обладающих знаниями и навыками во всех трех сферах: системной математике, системной экономике и системном моделировании. Можно сказать, что от *homo economicus* («человека экономического») как желательного образа участника экономической деятельности необходимо перейти к желательному образу *homo systematum* («человеку системному»). Решение этой задачи потребует существенных изменений в структуре и целях не только высшего и среднего, но и начального образования в России.

Математика и экономика: путь навстречу

Улучшение взаимодействия между математикой и экономикой должно осуществляться в двух направлениях: математизации экономики и экономизации математики. Магистральная линия математизации экономики проходит через ее аксиоматизацию. Создание целого ряда четко структурированных, конкурирующих аксиоматизированных экономических теорий позволило бы иначе взглянуть на «расширяющуюся вселенную» экономической теории (Клейнер, 2023а), более четко осознать взаимосвязь ее сегментов, направленность и асимптотику движения экономической науки.

Параллельно необходимо рассматривать расширение и углубление процесса экономизации математики, приближение ее к актуальным задачам моделирования. Речь идет

не о расширении фронта применения известного аппарата математики к построению экономико-математических моделей, а о модернизации ряда фундаментальных понятий математики, таких как натуральный ряд, число, множество, принадлежность. Повышение качества и эффективности математических моделей экономики зависит не только от выбора состава переменных, отражения существующих ограничений и целей агентов в процессе поиска управляющих решений, но и от адекватного толкования смысла переменных, включаемых в модель. Детальный анализ показывает, что в современной реальной жизни понятие числа как количественного результата измерения или оценки используется не совсем так, как это формулируется в рамках математики. Если на начальных этапах становления математики как самостоятельной науки объектом ее исследования, главным образом, были объемы, количества и пропорции предметов материальной сферы, то впоследствии фокус предметной области математики сместился в социально-гуманитарную сферу. При этом фундаментальные и инструментальные категории математики в значительной мере сохранили ориентацию на моделирование материальной сферы. Адаптация математики к современной экономике требует, прежде всего, отражения человеческого фактора во всех слоях математики – от фундаментальных категорий до правил вывода и проверки результатов.

Статичный характер краеугольных математических объектов может быть скорректирован, прежде всего, за счет учета положения исследователя в социально-экономическом пространстве и времени (аналог учета позиции наблюдателя в квантовой физике). Так, с математической точки зрения, все члены натурального ряда отличаются от соседних на одну и ту же величину – единицу. Это, однако, обеспечивает адекватное восприятие результатов только если натуральные числа используются для измерения количества участников относительно небольшого семейства. В случае, когда речь идет о семействах с большим числом участников или о показателях, имеющих высокие уровни (больших числах), то здесь использование натурального ряда

с равноудаленными друг от друга элементами не может считаться адекватным. В основу математических конструкций должен быть положен более гибкий синтезированный натуральный ряд, позволяющий использовать совместно с натуральными измерителями, качественные характеристики типа «большой», «средний», «малый». Натуральные числа как элементы натурального ряда не могут адекватно использоваться участниками экономической деятельности в качестве натуральных измерителей объемов экономических ресурсов в случаях, когда речь идет о больших количествах измеряемых единиц. Гипотетический ряд должен, по мере удаления от начала, все больше «размываться» и приобретать черты непрерывной структуры (континуума). Применительно к измерениям в физике подобные соображения высказывались П.К. Рашевским (Рашевский, 1973).

Подобным образом для экономических целей должно быть модернизировано понятие множества и, соответственно, понятие принадлежности. В большинстве случаев множество в математико-экономических исследованиях предстает в виде ядра (сущности) и периферии (окрестности). Нечеткие или вероятностные критерии принадлежности данного объекта к множеству должны отражать позицию исследователя по отношению к ядру и периферии данного множества: компетенции наблюдателя по определению функции принадлежности зависят от того, находится ли наблюдатель вблизи или внутри ядра, вблизи или внутри периферии, или за пределами рассматриваемого множества. Существенное значение имеют и цели исследования. Для целей стратегического планирования или управления необходим значительно более гибкий математический аппарат, чем для краткосрочного регулирования. Необходимо развитие особого направления в математике – стратегической математики, базирующейся на концепции «нежесткого» натурального ряда и предназначенной для моделирования стратегических процессов в условиях неопределенности.

Организация эффективного и корректного взаимодействия математики и экономики требует систематического взаимного

многоуровневого мониторинга развития этих направлений, взаимной коммуникации и, по возможности, синхронизации их движения. Перспективная цель – коэволюционное развитие математики и экономики на основе переплетения математики и экономики в области фундаментальных, теоретических, прикладных и проблемно-ориентированных исследований.

Реализация этой исследовательской программы в значительной мере опирается на методологию и методику моделирования, то есть построение и интерпретацию математических/компьютерных моделей экономических систем. В работах Г.Б. Клейнера и А.В. Егорова (Клейнер, 2023b, 2023c; Егоров, 2025) развивается концепция доказательного моделирования (*evidence-based modeling*), призванная, с одной стороны, обеспечить стандартизацию моделирования, с другой – повысить доверие к его результатам. Необходимо создание методики доказательного моделирования на основе прозрачности этапов и всего процесса построения модели. Новое направление в методологии моделирования должно обеспечить максимальную корректность и надежность результатов моделирования. Все этапы доказательного моделирования должны сопровождаться проверкой их эффективности и безопасности с точки зрения дальнейшего продвижения к построению и интерпретации модели. Парадигма доказательного моделирования была бы одним из возможных ответов на сомнения в практической эффективности экономической науки в целом.

В практике моделирования принято оценивать качество модели по степени соответствия рассчитанных с ее помощью результатов с фактическими данными. Концепция доказательного моделирования, не отказываясь от данного способа проверки качества модели по

ее результатам, переносит акцент на процесс построения модели. Это связано с необходимостью индустриализации и стандартизации производства моделей. *Правильное* выполнение процедур доказательного моделирования (в случае достаточной развитости методики) в общем случае должно обеспечивать получение *правильного* (корректного) результата. Иными словами, в методологическом плане в условиях индустриализации моделирования процесс построения модели, как правило, важнее, чем его итоговый результат. Это не означает, что то же самое имеет место для построения единичной конкретной модели. В общем случае вопрос о соотношении важности процесса и результата заслуживает отдельного обсуждения, актуальность которого в последнее время резко возросла в связи с широким использованием систем искусственного интеллекта с непрозрачным процессом построения модели.

Схематичное изображение этапов моделирования и их взаимосвязи представлено на рисунке 1.

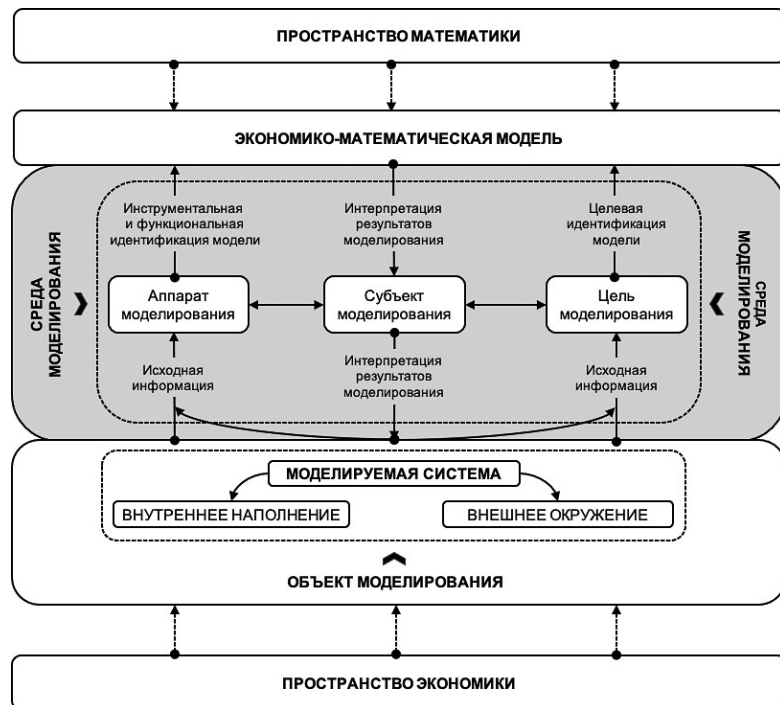


Рисунок 1. Стилизованная схема моделирования

Figure 1. Stylized modeling diagram

Источник: составлено автором
 Source: compiled by the author

Технология моделирования изображена на рисунке в виде двух симметрично восходящих направлений: левая часть рисунка отражает движение эмпирической информации об объекте моделирования, правая часть – движение информации о цели и условиях моделирования. Средняя часть рисунка отражает движение субъективной информации, используемой как для построения модели, так и для ее интерпретации. Принцип доказательности моделирования требует повышенного внимания ко всем компонентам моделирования и связям между ними (Клейнер, 2023б).

В пространстве Августа Мебиуса

Взаимоотношения объекта моделирования как фрагмента экономического пространства и математической модели этого объекта как фрагмента математического пространства носят сложный характер (*рисунк 1*). Столь же сложный характер имеют и взаимоотношения между математикой и экономикой как двумя научными дисциплинами. В наиболее наглядной форме их можно отразить, используя так называемую ленту Мебиуса – одностороннюю неориентируемую двумерную поверхность в трехмерном пространстве. В качестве материальной модели ленты Мебиуса обычно используется длинная полоска бумаги, которую склеивают в кольцо, предварительно перевернув один из концов на 180°. В результате получается кольцо, все точки которого можно обойти, не пересекая край ленты. Именно лента Мебиуса с 1976 г. стала эмблемой Центрального экономико-математического института, символизируя сочетание экономики и математики как основных направлений исследований института (*рисунк 2*).

Философское значение ленты Мебиуса как модели окружающего мира связано с признанием единства мира как в пространстве, так и во времени. В «мире Мебиуса» нет абсолютного начала и безусловного конца. В ходе циклических процессов системы изменяют свою форму, сохраняя особенности содержания. В наибольшей степени это относится к экономическим системам, реализующим

на регулярной основе процессы производства, распределения, обмена и потребления. То же самое можно сказать и о технологических процессах, составляющих основу экономического развития (подробное описание взаимодействия технологических и экономических процессов см. в (Сухарев, 2025а, 2025б; Клейнер, 2024)).

Концепция ленты Мебиуса проливает свет на один из основных вопросов научного взгляда на мир, а именно, на вопрос о проницаемости границ систем в пространстве и во времени. В «мире Мебиуса» внутреннее наполнение систем не отделено непроницаемой границей от внешнего окружения; внутреннее наполнение и внешнее окружение находятся в постоянном взаимодействии и подчиняются законам двойственности (более подробно см. в (Клейнер, 2019)). Это относится, в частности, к внутреннему наполнению и внешнему окружению таких систем, как математика и экономика. Концепция «мира Мебиуса» в некотором смысле противостоит концепции иерархического структурирования экономики через вертикальное разделение последней на мега-, макро-, мезо-, микро-, наноэкономику (Клейнер, 2004). В развитии восприятия экономики как целостной и даже монолитной системы заключен серьезный резерв для преодоления целого ряда проблем современной экономической теории. В поисках факторов для объяснения поведения экономических

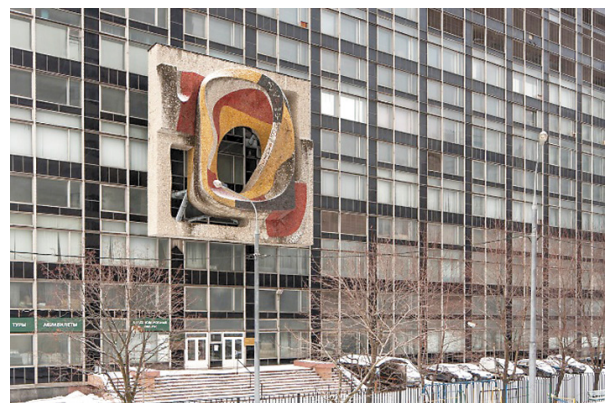


Рисунок 2. Лента Мебиуса на фасаде здания ЦЭМИ

Figure 2. Möbius strip on the facade of the CEMI building

систем в общем случае следует обращаться не только к микрооснованиям, но и к мега-, макро-, мезо- и нанооснованиям тех или иных явлений или процессов. Априорное равновесие уровней экономики как совокупности возможных факторов влияния, равно как и изотропность экономического пространства, то есть отсутствие раз и навсегда выделенных направлений развития, составляют основу системного восприятия экономики. Подобные рассуждения справедливы и в отношении различных частей математики.

Взаимодействие математики и экономики, осуществляемое в ходе построения математических моделей тех или иных фрагментов экономики или экономики в целом, символически отражается с помощью ленты Мебиуса. Размещение математики и экономики на поверхности ленты Мебиуса выражает перспективу глубокого симбиоза этих, в целом, не похожих друг на друга наук.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенное позволяет сделать следующие фундаментальные выводы о взаимосвязи математики и экономики.

1. Несмотря на видимые целевые и функциональные различия математики и экономики как ключевых представителей фундаментальных и социогуманитарных наук, детальный анализ позволяет выделить общие черты математики и экономики, которые должны стать основой их согласованного и коэволюционного развития.
2. Следует стимулировать не только расширение взаимодействия этих наук, но и углубление их методологического взаимопроникновения в фундаментальную структуру математического и экономического видения мира – как математизацию экономики, так и экономизацию математики.
3. Более полный учет социально-гуманитарного и психологического контекста при построении и интерпретации математических и компьютерных моделей экономики на всех уровнях – от уточнения

смысла количественных и качественных показателей реальных явлений до определения структуры области допустимых и желательных значений ключевых показателей – с применением понятий модифицированного контекстно-зависимого натурального ряда представляет собой существенный резерв развития экономико-математического направления. Соответственно, процедуры построения и анализа моделей экономики могут быть существенно усовершенствованы за счет применения знаний, получаемых при исследовании реальных экономических процессов и проецируемых на алгоритмы математического анализа модели. Это направление можно рассматривать как часть программы разработки так называемых природоподобных алгоритмов.

4. Математика и экономика органично размещаются в «пространстве Мёбиуса» и должны рассматриваться в единой системе междисциплинарных знаний об окружающем мире.
5. Развитие экономико-математического моделирования следует рассматривать как междисциплинарную проблему в интегральной модели взаимопроникновения материальной и духовной составляющих окружающего нас мира.
6. Между математикой и экономикой находится особая область, в которой знание математики и знание экономики интегрируются в понимание глубинных закономерностей и феноменов социально-экономической реальности. «Системная математика», «системная экономика» и «системное моделирование» представляют собой три кита процесса развития, познания и преобразования современного мира.

Конкурирующие интересы

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The author declares no conflict of interest.

Список источников/ References

1. Барлыбаев, А.А., Юмагулов, М.Г., & Юнусова, Г.М. (2009). Математический язык в экономической науке. *Проблемы современной экономики*, 4(32), 61–65. EDN: MVTXOF
Barlibaev, A.A., Yumagulov, M.G., & Yunusova, G.M. (2009). Mathematical language in economic scholarship. *Problems of the modern economy*, 4(32), 61–65. EDN: MVTXOF (in Russian)
2. Блауг, М. (2004). *Методология экономической науки, или как экономисты объясняют*. Пер. с англ., ред. Автономов, В.С. Журнал Вопросы экономики. EDN: QQEPPX
Blaug, M. (2004). *The methodology of economics: or how economists explain*. Transl. from English, edited by Avtonomov, V.S. Journal Voprosy Ekonomiki. EDN: QQEPPX (in Russian)
3. Винобер, А.В. (2024). Этнос математики. Очерк пятый. Социологическое исследование Рэндалла Коллинза. *Биосферное хозяйство: теория и практика*, 67(2), 20–47. EDN: AKJYYY
Vinober, A.V. (2024). Ethnos of Mathematics. The Fifth Essay. A Sociological Study by Randall Collins. *Biosphere Economy: Theory and Practice*, 67 (2), 20–47. EDN: AKJYYY (in Russian)
4. Горелов, В.И., Карелова, О.Л., & Ледашчева, Т.Н. (2012). *Системное моделирование в социально-экономической сфере*. Российская международная академия туризма.
Gorelov, V.I., Karelova, O.L., & Ledashcheva, T.N. (2012). *System modeling in the socio-economic sphere*. Russian International Academy for Tourism. (in Russian)
5. Доу, Ш. (2006). Математика в экономической теории: исторический и методологический анализ. *Вопросы экономики*, (7), 53–72. EDN: JIYRF, <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2006-7-53-72>
Dow, S. (2006). The use of mathematics in economics. *Voprosy Ekonomiki*, (7), 53–72. EDN: JIYRF (in Russian) <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2006-7-53-72>
6. Егоров, А.В. (2025). Доказательное агент-ориентированное моделирование. *Мягкие измерения и вычисления*, 87(2), 13–24. EDN: CJOQMM, <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2025.02.002>
Egorov, A.V. (2025). Evidence-based agent modeling. *Soft measurements and computing*, 87(2), 13–24. EDN: CJOQMM (in Russian) <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2025.02.002>
7. Карев, В.П. (2011). Очерк истории экономических методов в экономике. *Экономический анализ: теория и практика*, 5(212), 54–60. EDN: NCNIIP
Karev, V.P. (2011). Essay on the history of economic methods in economics. *Economic analysis: theory and practice*, 5(212), 54–60. EDN: NCNIIP (in Russian)
8. Клейнер, Г.Б. (2004). Наноэкономика. *Вопросы экономики*, (12), 70–93. EDN: PJEWGN, <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2004-12-70-93>
Kleiner, G.B. (2004). Nanoeconomics. *Voprosy Ekonomiki*, (12), 70–93. EDN: PJEWGN (in Russian) <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2004-12-70-93>
9. Клейнер, Г.Б. (2013). Системная экономика и системно-ориентированное моделирование. *Экономика и математические методы*, 49(4), 71–93. EDN: RIOKFF
Kleiner, G.B. (2013). System economics and system-oriented modeling. *Economics and mathematical methods*, 49(4), 71–93. EDN: RIOKFF (in Russian)
10. Клейнер, Г.Б. (2019). Принципы двойственности в свете системной экономической теории. *Вопросы экономики*, (11), 127–149. EDN: NLKIHL, <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-11-127-149>
Kleiner, G.B. (2019). The principles of duality in the light of the system economic theory. *Voprosy Ekonomiki*, (11), 127–149. EDN: NLKIHL (in Russian) <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-11-127-149>
11. Клейнер, Г.Б. (2023а). Расширяющаяся вселенная экономической теории. *AlterEconomics*, 20(1), 1–8. EDN: IUERYC, <https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2023.20-1.1>
Kleiner, G.B. (2023a). Expanding universe of economic theory. *AlterEconomics*, 20(1), 1–8. EDN: IUERYC (in Russian) <https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2023.20-1.1>
12. Клейнер, Г.Б. (2023b). Доказательное моделирование как перспективный инструмент научного исследования социально-экономических процессов. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 2(6), 5–16. EDN: FYVPJL, <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.06.02.001>
Kleiner, G.B. (2023b). Evidence-based modeling as a perspective tool for scientific research of socio-economic processes. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2(6), 5–16. EDN: FYVPJL (in Russian) <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.06.02.001>
13. Клейнер, Г.Б. (2023с). Флагман экономико-математического и компьютерного моделирования: 60 лет в строю. *Экономика и математические методы*, 59(3), 5–20. EDN: KMUEFE, <https://doi.org/10.31857/S042473880027042-5>
Kleiner, G.B. (2023c). The flagship of economic, mathematical and computer modeling: 60 years in line. *Economics and Mathematical Methods*, 59(3), 5–20. EDN: KMUEFE (in Russian) <https://doi.org/10.31857/S042473880027042-5>
14. Клейнер, Г.Б. (2024). Системная парадигма и теория технологий. *Terra Economicus*, 22(4), 6–18. EDN: BOVNWJ, <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2024-22-4-6-18>

- Kleiner, G.B. (2024). The systems paradigm and the theory of technology. *Terra Economicus*, 22(4), 6–18. EDN: BOVNWJ (in Russian) <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2024-22-4-6-18>
15. Макаров, В.Л., Бахтизин, А.Р., & Логинов, Е.Л. (2022). *Применение экономико-математических методов и моделей оптимального планирования в цифровой экономике будущего (ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН: прогностическая интерпретация и развитие научного наследия нобелевских лауреатов Л.В. Канторовича и В.В. Леонтьева)*. ЦЭМИ РАН. EDN: BYSDPZ, <https://doi.org/10.48612/Bujet/vamm-r6ez-n1kf>
 - Makarov, V.L., Bakhtizin, A.R., & Loginov, E.L. (2022). *Application of economic and mathematical methods and models of optimal planning in the digital economy of the future (CEMI USSR academy of sciences and CEMI RAS: prognostic interpretation and development of the scientific heritage of Nobel laureates L.V. Kantorovich and V.V. Leontiev)*. CEMI RAS. EDN: BYSDPZ (in Russian) <https://doi.org/10.48612/Bujet/vamm-r6ez-n1kf>
 16. Морозов, В.М. (2016). *Системное моделирование и методы исследования математических моделей*. Изд-во «КУРС». EDN: UFMTVK
 - Morozov, V.M. (2016). *System modeling and research methods of mathematical models*. KURS Publishing House. EDN: UFMTVK (in Russian)
 17. Самуэльсон, П.Э. (2002). *Основания экономического анализа*. Экономическая школа.
 - Samuelson, P.E. (2002). *Foundations of economic analysis*. Economic School. (in Russian)
 18. Сухарев, О.С. (2025a). *Научно-технологический потенциал и промышленная политика*. Финансы и статистика.
 - Sukharev, O.S. (2025a). *Scientific and technological potential and industrial policy*. Finance and Statistics. (in Russian)
 19. Сухарев, О.С. (2025b). Экономика технологий как научное направление. *Инвестиции в России*, 4(363), 3–7. EDN: STJTXJ
 - Sukharev, O.S. (2025b). Economics of technology as a scientific direction. *Investments in Russia*, 4(363), 3–7. EDN: STJTXJ (in Russian)
 20. Рашевский, П.К. (1973). О догмате натурального ряда. *Успехи математических наук*, 28(4(172)), 243–246.
 - Rashevsky, P.K. (1973). On the dogma of the natural numbers. *Russian Mathematical Surveys*, 28(4), 143–148. (in Russian) <https://doi.org/10.1070/RM1973v028n04ABEH001602>
 21. Черкашин, А.К. (2019). Метатеоретическое системное моделирование природных и социальных процессов и явлений в неоднородной среде. *Информационные и математические технологии в науке и управлении*, 1(13), 61–84. EDN: UDOOPW, <https://doi.org/10.25729/2413-0133-2019-1-06>
 - Cherkashin, A.K. (2019). Metatheoretical system modelling of natural and social processes and phenomena in heterogenous environment. *Information and mathematical technologies in science and management*, 1(13), 61–84. EDN: UDOOPW (in Russian) <https://doi.org/10.25729/2413-0133-2019-1-06>
 22. Юшкевич, А.П. (Ред.). (1970–1972). *История математики с древнейших времен до начала XIX столетия (Т. 1–3)*. Наука.
 - Yushkevich, A.P. (Ed.). (1970–1972). *History of mathematics from ancient times to the beginning of the 19th century (Vols. 1–3)*. Nauka. (in Russian)
 23. Michel, C., & Chemla, K. (Eds.). (2020). *Mathematics, Administrative and Economic Activities in Ancient Worlds*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-48389-0>
 24. Weintraub, E.R. (2002). *How economics became a mathematical science*. Durham, NC and London: Duke University Press.

Информация об авторе

Клейнер Георгий Борисович – член-корреспондент РАН, руководитель научного направления «Мезоэкономика, микроэкономика, корпоративная экономика» ЦЭМИ РАН; научный руководитель Кафедры моделирования и системного анализа Финансового университета при Правительстве Российской Федерации; зав. кафедрой институциональной экономики Государственного университета управления; SPIN-код РИНЦ: 3054–2736, Scopus Author ID: 7005642258, Web of Science ResearcherID: J-9883-2013; ORCID: 0000-0003-2747-6159 (Российская Федерация, 117418, Москва, Нахимовский пр., 47; e-mail: george.kleiner@inbox.ru).

Author

George B. Kleiner – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Scientific Department Mesoeconomics, microeconomics, corporate economics, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences; Scientific director of the Department of Modelling and System Analysis, Financial University under the Government of the Russian Federation; Head of the Department of Institutional Economics, State University of Management; Scopus Author ID: 7005642258, ResearcherID Web of Science: J-9883-2013; ORCID: 0000-0003-2747-6159 (47, Nakhimovsky Pr., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: george.kleiner@inbox.ru).

Поступила в редакцию (Received) 14.01.2026

Поступила после рецензирования (Revised) 17.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 16.03.2026

ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ

УДК: 330.34.01

JEL: O33

EDN: SSWRNF

Эволюция научных запросов бизнеса на разных фазах жизненного цикла новых технологий

В.Е. ДементьевЦентральный экономико-математический институт Российской академии наук, <https://ror.org/05qrfdx25>, Москва, Российская Федерация; e-mail: vedementev@rambler.ru

Аннотация. Цель статьи состоит в обосновании необходимости учета специфики этапов радикального обновления технологической базы экономики при прогнозировании процессов научно-технологического развития, при выявлении актуальных для бизнеса научных задач. Методология исследования базируется на теории технологий широкого применения, на основе которых формируются соответствующие технологические совокупности (технологические уклады). Показан сложный характер взаимосвязей между отраслями, реализующими уже освоенные и новые технологии широкого применения. Представлены имеющиеся подходы к изучению структурной динамики экономики с учетом выделения существующих в ней технологических укладов. В статье поиск закономерностей распространения технологий широкого применения основывается на анализе опыта использования микроэлектронных технологий в ряде отраслей экономики США. Параметры распространения этих технологий, послуживших основой для формирования пятого технологического уклада, свидетельствуют как об активном участии их в становлении очередного технологического уклада, так и о разной степени вовлеченности существующих отраслей в этот процесс. Показано, что немонотонность структурных изменений наблюдается не только в реальном секторе экономики, но и в сфере исследований и разработок. Опыт США позволяет заключить, что этап интенсивного внедрения в экономику технологий текущей длинной волны сопровождается возрастающей активностью бизнеса в сфере фундаментальных и прикладных исследований. После насыщения производства этими технологиями научные интересы бизнеса смещаются в сторону улучшающих инноваций. Исчерпание их потенциала побуждает бизнес к новому повышению своей вовлеченности в фундаментальные исследования. Такие исследования обеспечивают бизнесу создание заделов для опережения конкурентов в формировании и освоении новых рынков. Государственная научно-техническая политика должна учитывать специфические свойства отдельных фаз технологической революции.

Ключевые слова: Технологическое развитие, технологии широкого применения, фундаментальные и прикладные исследования, длинные волны, технологические уклады

Информация о финансировании: Государственное задание № 124022500208-4.

Для цитирования: Дементьев, В.Е. (2026). Эволюция научных запросов бизнеса на разных фазах жизненного цикла новых технологий. *Экономика науки*, 12(1), 34-48. EDN: SSWRNF

ECONOMICS OF KNOWLEDGE AND TECHNOLOGY

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

JEL: O33

EDN: SSWRNF

The evolution of scientific business inquiries at different phases of the life cycle of new technologies

V.E. DementievCentral Economics and Mathematics Institute Russian Academy of Sciences, <https://ror.org/05qrfdx25>, Moscow, Russian Federation; e-mail: vedementev@rambler.ru

Abstract. The purpose of the article is to substantiate the need to take into account the specifics of the stages of radical renewal of the technological base of the economy when forecasting the processes of scientific and technological development, while identifying scientific tasks relevant to business. The research methodology is based on the theory of general-purpose technologies, on the basis of which the corresponding technological aggregates (technological structures) are formed. The complex nature of the interrelationships between industries implementing already mastered and new technologies of wide application is shown. The available approaches to the study of the structural dynamics of the economy are presented, taking into account the identification of existing technological structures in it. In the article, the search for patterns of widespread technology dissemination is based on an analysis of the experience of using microelectronic technologies in a number of sectors of the US economy. The parameters of the spread of these technologies, which served as the basis for the formation of the fifth technological order, indicate both their active participation in the formation of the next technological order, and the varying degrees of involvement of existing industries in this process. It is shown that non-monotonous structural changes are observed not only in the real sector of the economy, but also in the field of research and development. The US experience suggests that the stage of intensive introduction of current long-wave technologies into the economy is accompanied by increasing business activity in the field of fundamental and applied research. After saturation of production with these technologies, the scientific interests of business shift towards improving innovations. The exhaustion of their potential encourages businesses to re-increase their involvement in fundamental research. Such research provides businesses with the groundwork to stay ahead of competitors in the formation and development of new markets. The state scientific and technical policy should take into account the specific properties of individual phases of the technological revolution.

Keywords: Technological development, general purpose technologies, fundamental and applied research, long waves, technological modes

Funding: State Assignment № 124022500208-4.

For citation: Dementiev, V.E. (2026). The evolution of scientific business inquiries at different phases of the life cycle of new technologies. *Economics of science*, 12(1), 34–48. EDN: SSWRNF

Введение

Одним из определений предмета экономической теории является изучение распределения ограниченных ресурсов между различными целями, в частности их использования в сфере исследований и разработок. При этом важно обеспечить рациональное соотношение между поисками резервов совершенствования уже существующих производств и разработкой принципиально новых технологий. Существенную сложность в нахождении необходимого баланса обуславливает ресурсное обеспечение производств на основе ранее освоенных технологий, с одной стороны, ограничивающее количество ресурсов, достоящихся новым производствам, а с другой стороны, формирующее первичный спрос на их продукцию.

В настоящее время относительно структурных сдвигов в экономике в связи с внедрением технологий искусственного интеллекта, относящихся к технологиям широкого применения, ведутся активные дискуссии. Понятие «технология широкого применения» вошло в научный оборот в 1995 г. для выделения технологий, которые допускают многочисленные усовершенствования, имеют различные

варианты использования, применимы во многих секторах народного хозяйства и способны сочетаться с другими технологиями, существенно повышая их эффективность (Bresnahan & Trajtenberg, 1995). Благодаря перечисленным качествам каждая технология широкого применения порождает целое дерево новых технологий, принципиально меняя технологическую структуру народного хозяйства (Полтерович, 2009).

Радикальное обновление технологической базы экономики – многоэтапный процесс, в начале которого продукция новых технологий часто используется в качестве улучшающих инноваций уже существующих производств (Дементьев, 1992, 2009). Примером здесь может служить замена транзисторами отдельных радиоламп в телевизорах. Такие телевизоры по внешнему виду и большинству потребительских свойств мало отличались от ламповых моделей. Радикальное изменение технологической базы производства произошло с отказом от использования электронно-лучевой трубки в качестве кинескопа и с объединением большинства транзисторов в одном процессоре. Когда паровой двигатель на парусном судне играет вспомогательную

роль, он выступает улучшающей технологией, при отказе от парусов он становится базисной технологией.

В научно-технической политике, помимо конкуренции старых и новых отраслей за ресурсы, важно учитывать следующие типы межотраслевых связей:

1. Зрелые отрасли являются источником первоначальных материальных и финансовых ресурсов (исходного капитала) для новых производств, для освоения новых видов ресурсов.
2. Зрелые отрасли предъявляют первичный спрос на продукцию новых отраслей. Так возникает первый контур накопления в новых отраслях (контур на основе промежуточного спроса).
3. По мере укрепления этих отраслей и разработки собственной конечной продукции возрастает роль спроса на нее, формируется второй контур накопления в новых отраслях (контур на основе конечного спроса).

Формирование новой технологической базы экономики нередко моделируется S-образными логистическими кривыми. Однако это представляет собой идеализированное описание смены этапов технологической революции. Реально переход между ними сопровождается существенными пульсациями, что было отмечено еще на рубеже 1990-х гг. (Глазьев, 1990, 1993). Меняющийся характер взаимосвязей между старыми и новыми технологиями придает экономическому развитию немонотонный характер, а также двойственность процессу созидательного разрушения, подпитывающего это развитие.

Шумпетерианская трактовка созидательного разрушения, с одной стороны, учитывает разные типы инноваций, включая технологические, продуктовые, организационные, с другой – допускает разную степень их радикализации. К радикальным инновациям можно отнести сценарий, когда удовлетворение потребности в некоторых благах вместо старых отраслей берут на себя новые отрасли. Производственная трансформация носит более ограниченный характер, когда из сохраняющихся отраслей вытесняются участники, не

сумевшие использовать улучшающий потенциал новых технологий.

Возможны новые комбинации факторов производства, при которых из существующих отраслей привлекаются только ресурсы общего назначения – энергии, теплоснабжения, водоснабжения, материалов и другие. Примером такого «комбинаторного наращивания» является использование технологии термодиффузионного цинкования металлоконструкций вместо гальванического цинкования (Сухарев, 2012). В данном случае к привлекаемым ресурсам общего назначения можно отнести и подлежащие цинкованию металлоконструкции.

Шумпетеровская трактовка созидательного разрушения допускает и такие варианты, когда рост эффективности или выпуск нового вида продукции достигается в результате оригинальных комбинаций уже освоенных ранее технологий и ресурсов. Эти комбинации не оставляют неизменной сложившуюся структуру экономики, хотя сдвиги происходят не мгновенно: «новые комбинации или воплощающие их фирмы, промышленные предприятия т.д. вначале *не вытесняют*, а *сосуществуют* наряду со старыми...» (Шумпетер, 2008, с. 133). Однако, как отмечает Й. Шумпетер, новые комбинации в экономической системе, основанной на конкуренции, вытесняют старые комбинации и осваивают необходимые им средства производства.

Сочетание ранее освоенных и новых технологий обеспечивает конкурентоспособность производства, если и старые используемые технологии находятся на достаточно высоком уровне. Необходимо иметь ориентиры, когда вложения в совершенствование старых технологий теряют смысл, как это произошло с инвестициями в улучшение качества кинескопов. Внедрение принципиально новых технологий может сдерживать не только их недостаточная готовность к коммерциализации, но и стремление снизить потери инвестиционных ресурсов, вложенных в существующую производственную базу экономики. Консервативное поведение способно скрывать накопление ресурсов для массивных инноваций. Й. Шумпетер фокусирует внимание на использовании кредита в качестве способа

финансирования инновационных проектов. Погашение кредита требует определенной стабильности для получения результатов от новой комбинации экономических ресурсов.

У выжидательной стратегии могут быть и другие основания. Отказ от перехода на новую технологию способен мотивироваться ее быстрым устареванием, если только отсутствие соответствующих этой технологии компетенций не станет препятствием для внедрения следующей более продвинутой технологии. К выжиданию подталкивает и расчет на перемещение странами-лидерами части производственных цепочек в менее развитые страны в нисходящей фазе технологической революции.

Есть убедительные основания считать, что на восходящей фазе технологической революции, чем позднее происходит вхождение в эту революцию, тем более высокие входные барьеры на новые рынки приходится преодолевать инноваторам. Однако если ранее вхождение не обеспечено достаточным инвестиционным потенциалом, слабое тиражирование радикальных инноваций ведет к их дороговизне и высокому риску утраты рыночных позиций под давлением более массового и дешевого конкурентного предложения.

Когда принципиально новые технологии используются в качестве улучшающих, это позволяет производству комплектующих, воплощающих эти технологии, выйти на эффективные масштабы выпуска. Часть производств на этом этапе останавливается и может существовать очень долго. Такая ситуация продолжительное время наблюдалась в автомобилестроении, где основным технологическим узлом оставался двигатель внутреннего сгорания. Беспилотный электромобиль – продукт сразу двух радикальных технологических изменений. Радикальную инновацию представляет и роботизированный конвейер сборки автомобилей.

Опыт микроэлектронной технологической революции показывает, что сначала производства, использующие принципиально новые технологии, могут встраиваться в существующие цепочки создания стоимости через поставки комплектующих. В дальнейшем на основе этих технологий начинают производиться не только улучшенные, но и совершенно

новые продукты. Бум радикальных инноваций такого типа наблюдался в 90-е гг. прошлого века, когда массовый характер приобрело производство сканеров, принтеров, видеомэгнитофонов, цифровых фотоаппаратов, персональных компьютеров. Освоение их выпуска сопровождалось формированием новых цепочек создания стоимости.

Микроэлектронные технологии внедрены в разные отрасли, при этом степень их проникновения была весьма разной (Дементьев, 2012). Анализ распространения микроэлектронных технологий призван выявить особенности их жизненного цикла в отдельных отраслях. Цель статьи состоит в обосновании необходимости учета специфики этапов радикального обновления технологической базы экономики при прогнозировании процессов научно-технологического развития, при выявлении актуальных для бизнеса научных задач.

Оценка инновационной трансформации отраслей (технологической, продуктовой, организационной) представляет не только академический интерес. Интенсивность этой трансформации определяет изменения в отраслевой структуре экономики, структуре занятости, а также в структуре расходов на исследования и разработки. Анализ таких изменений важен для политики в сфере подготовки кадров, инвестиционной и научно-технологической политик. Вместе с преобладанием на отдельных этапах технологической революции разных типов инноваций способна варьироваться и востребованность фундаментальных и прикладных знаний.

Для экономической политики большое значение могут иметь оценки потенциальной емкости рынков новых технологий и продуктов. Как отмечается в (Глазьев & Косакян, 2024, с. 18), логистические кривые, отражающие распространение технологии шестого технологического уклада в передовых странах и пятого технологического уклада в отстающих странах, позволяют оценить возможность расширения национального рынка, в том числе посредством стимулирования промежуточного и/или конечного потребления продукции всей технологической сети пятого технологического уклада (в случае актуальности технологий)

и шестого технологического уклада. Оценка потенциальной емкости рынков особенно важна для цифровых благ, многие из которых обладают сетевыми эффектами. Для производящих такие блага отраслей экономическая политика должна способствовать формированию внутриотраслевой структуры, позволяющей реализовать эффект масштабов производства.

Методология исследования

Концептуальной основой для исследования структурных изменений в экономике в связи с освоением новых технологий широкого применения является теория технологических укладов (Глазьев, 1990, 1993). «Она, снабженная измерительным аппаратом, позволяет установить не только соотношение между укладами, но и структурную динамику, а также с ее помощью можно установить распределение макроэкономических инструментов, воздействующих на каждый из укладов» (Сухарев, 2021, с. 14). Одним из подходов к формированию необходимого измерительного аппарата является выделение технологических укладов на основе кластеризации отраслей/видов деятельности.

Такой подход реализован в (Сухарев & Ворончихина, 2021), где выделение технологическим укладов проведено в привязке к доступной статистике по ОКВЭД. Принято, что 5 технологический уклад слагают высокотехнологичные виды деятельности, 4 уклад – среднетехнологичные высокого и низкого уровня, а 1–3 технологические уклады – преимущественно низкотехнологичные виды деятельности и отдельные среднетехнологичные высокого уровня. Использовалась принятая Росстатом классификация видов деятельности по уровню технологичности. Такой подход позволил представить изменение структуры технологических укладов по создаваемой ими величине добавленной стоимости; определить вклад каждого технологического уклада в темп экономического роста на выбранном интервале времени (2011–2019 гг.); оценить влияние укладов друг на друга; исследовать структуру распределения инвестиций между технологическими укладами и их влияние на экономический рост; осуществить оценку влияния

базовых инструментов макроэкономической политики (процентная ставка, монетизация, валютный курс), а также отдельных факторов развития (цена на нефть, инфляция, риск развития видов деятельности в рамках уклада) на экономическую динамику в России. Проведенный анализ показал существенные отличия укладов по тесноте связей валовой добавленной стоимости и различных инструментов макроэкономической политики, причем не только по величине, но и с качественной точки зрения (положительная или отрицательная связь). Выявленный различный характер реакции разных групп отраслей на меры макроэкономической политики, подтверждает необходимость соответствующей дифференциации этих мер. Поскольку исследование обнаружило слабое влияние выделенных групп отраслей (укладов) друг на друга, можно прийти к выводу о вялости межотраслевого комбинаторного наращивания в рассматриваемый период, что не исключает такого наращивания внутри отраслей. Было бы целесообразно сопоставить результаты этого анализа с оценками структурной динамики при других вариантах кластеризации отраслей/видов деятельности. Например, основанием для кластеризации могла бы служить теснота межотраслевых связей.

В статье О.С. Сухарева и Е.Н. Ворончихиной содержится важное пояснение использованного подхода к выделению технологических укладов. Указывается, что «учет по технологиям был бы самым правильным, ибо уклады сами обозначены как технологические совокупности, однако современная статистическая база и отсутствие полного реестра технологий, участвующих в создании различных благ (в том числе услуг, для создания которых также могут применяться новейшие технологии), попросту отсутствует» (Сухарев & Ворончихина, 2021, с. 77). Существенные статистические ограничения в применении технологического подхода при количественном выделении укладов представлены в качестве причины обращения к нормативному подходу, когда возможно выделить доминирование отдельных отраслей и технологического ядра, ими сформированного, а также базовый энергоноситель.

Хотя такой нормативный подход удобен для решения измерительных задач при описании эволюции технологических укладов, он фактически абстрагируется от распространения технологий, что приводит к недостаточной глубине анализа формирующихся технологических цепочек. В (Глазьев & Косакян, 2024) при комментировании нормативного подхода указывается, что новые технологические уклады, наслаиваясь на предыдущие и трансформируя их техпроцессы, настолько меняют и, зачастую, замещают старые техпроцессы, что их уже нельзя считать относящимися к предыдущим технологическим укладам. Учет взаимосвязи технологий важен для адекватной оценки роли предыдущих технологических укладов в становлении новых укладов. Базовые технологии и ключевые факторы предыдущих технологических укладов формируют научно-технологическую основу внедрения базовых технологий и ключевых факторов последующих укладов. Вместе с тем и в этом исследовании признается, что отставание статистической классификации от технологического прогресса и ее разнородность в разных странах не дают возможности использовать официальную статистику для оценки новейших тенденций формирования новых технологических укладов. Применяемые в официальной статистике классификации товаров и видов деятельности не позволяют однозначно выделить их совокупности, в точности соответствующие тем или иным технологическим укладам.

Признавая, что при ориентации на продуктовые позиции невозможно полностью избежать недочетов измерения технологических укладов, С.Ю. Глазьев и Д.Л. Косакян предлагают свой подход для выделения и причисления продуктовых позиций к тому или иному технологическому укладу (Глазьев & Косакян, 2024). В частности, продуктовая позиция относится к шестому технологическому укладу, если ускоренный рост её выпуска начался после глобального кризиса пятого технологического уклада, то есть примерно с 2010 г. Продуктовая позиция относится к пятому технологическому укладу, если она перестала совершенствоваться под влиянием вплетения технологий шестого технологического уклада

и стала замещаться его технологиями. Продуктовая позиция из предыдущих технологических укладов и традиционных отраслей однозначно относится к шестому технологическому укладу, если она настолько трансформирована под влиянием этого уклада, что её уже нельзя отнести к предыдущим укладам и традиционным отраслям. Исследования показателей развития технологий шестого технологического уклада по странам мира позволило выявить отставание России от ведущих стран мира и построить прогнозы объема рынка отдельных технологий (Глазьев & Косакян, 2024, 2025). При этом распространение всех технологий описывается вогнутыми кривыми, свидетельствующими об ускоренном росте объема рынка каждой из рассматриваемых технологий.

История развития передовых технологий свидетельствует о возникновении инновационных пузырей, сопровождающих их активное распространение. Формирование прогнозов рынков высокотехнологической продукции должно учитывать немонотонность их развития. Ситуация с инвестициями в технологии искусственного интеллекта вызывает ассоциации с кризисом в США в 2000–2001 г., когда произошел крах интернет-компаний, известный как пузырь доткомов¹. На фоне ажиотажного роста числа таких компаний пикового значения в 2000 г. достиг и объем продаж компьютеров в США (рисунки 1). После кризиса уровень их продаж снизился примерно на 20% и оставался относительно стабильным до 2017 г., когда вновь начался быстрый рост. Такая временная стабилизация рассматриваемого рынка может объясняться переходом ряда отраслей, воплощающих пятый технологический уклад, в фазу зрелости. При этом внутреннее производство компьютеров оказалось менее устойчивым и с 2000 г. по 2010 г. уменьшилось более чем на треть, что связано с характерными для фазы зрелости процессами обострения конкуренции и переносом части мощностей в страны с более дешевой рабочей силой.

¹ «CNews» (2025). МВФ предупреждает: Пузырь из-за инвестиций в ИИ лопнет, как пузырь доткомов. https://www.cnews.ru/news/top/2025-10-15_tehnologicheskij_puzyr_iz-za (дата обращения: 03.12.2025).

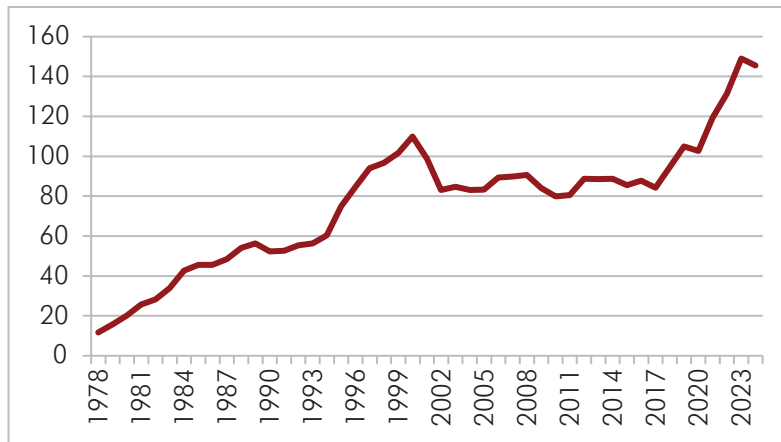


Рисунок 1. Продажи компьютеров в США, млрд. долл.

Figure 1. Computer sales in the USA, billion USD

Источник: Bureau of Economic Analysis USA

Source: Bureau of Economic Analysis USA

Важную информацию о закономерностях жизненного цикла технологий широкого применения можно почерпнуть из опыта распространения микроэлектронных технологий в разных отраслях. Данные Бюро экономического анализа США (Bureau of Economic Analysis USA) позволяют анализировать технологическую эволюцию экономики, основываясь на изменениях не только ее отраслевой структуры, но и продуктовой структуры основных средств, используемых в отдельных отраслях. Относительно детализированная информация по отраслевым инвестициям в разные виды основных средств обеспечивает выделение вложений, связанных с микроэлектронными технологиями. Такими можно считать инвестиции в программное обеспечение, в компьютеры и периферию, в соответствующие коммуникации.

Опыт распространения микроэлектронных технологий

Интенсивная модернизация целого ряда отраслей американской экономики на основе внедрения микроэлектронных технологий носила ограниченный во времени характер. После быстрого роста спрос на такие технологии снизился, и в некоторых отраслях – довольно резко (рисунок 2).

Отталкиваясь от анализа цен на информационные технологии (таблица 1), снижение инвестиций в микроэлектронику после 1997 г. (в том числе более чем в два раза для машиностроения) лишь частично может быть объяснено ее удешевлением.

Не только данные об абсолютной величине вложений в микроэлектронные технологии, но и оценки их доли в общих инвестициях отраслей в основные средства свидетельствуют



Рисунок 2. Частные инвестиции машиностроения (левая шкала) и текстильной промышленности (правая шкала) США в микроэлектронные технологии, млн. долл.

Figure 2. Private investments in the machinery (left scale) and the textile industry (right scale) of the USA in microelectronic technologies, million USD

Источник: рассчитано по данным Bureau of Economic Analysis USA

Source: based on data from the Bureau of Economic Analysis USA

Таблица 1. Процентное изменение цен на внутренние закупки по сравнению с предыдущим периодом
Table 1. Percent change from preceding period in prices for domestic purchases

Сфера закупок	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Оборудование для обработки информации	-9,7	-12,9	-11,3	-6,3	-8,4	-6,9	-9,1
Объекты интеллектуальной собственности	0,5	-0,5	1,6	2,8	-0,1	-1,3	-0,8

Источник: Bureau of Economic Analysis USA
Source: Bureau of Economic Analysis USA



Рисунок 3. Доля частных инвестиций машиностроения (левая шкала) и текстильной промышленности (правая шкала) США в микроэлектронные технологии в инвестициях этих отраслей в основные средства, %
Figure 3. The share of private investments in the machinery (left scale) and the textile industry (right scale) in microelectronic technologies in the investments of these industries in fixed assets in the United States, %

Источник: рассчитано по данным Bureau of Economic Analysis USA
Source: based on data from the Bureau of Economic Analysis USA

о фактическом насыщении отраслей рассматриваемыми технологиями в конце XX – начале XXI в. (рисунок 3).

Обращает на себя внимание то, что после 2015 г. объем инвестиций машиностроения в микроэлектронные технологии стал расти (рисунок 2). В качестве влиятельного фактора повышения спроса на эти технологии может рассматриваться изменившаяся динамика производства средств автоматизации, робототехники. По данным McKinsey, если до 2015 г. рост ежегодных поставок промышленных роботов по всему миру составлял около 4%, то после этого года он ускорился до 19%². Текстильная промышленность является одной из сфер внедрения этой техники.

Широкое использование микроэлектроники в очередной технологической революции, основывающейся на искусственном интеллекте и автоматизации производства, проявляется в динамике инвестиций во многих отраслях. На новом этапе технологического обновления производства в автомобилестроении объемы инвестиций в микроэлектронику приблизились к пиковым значениям 1997 г., а в химической отрасли значительно превысили их (рисунок 4).

Становление шестого технологического уклада охватывает, в частности, высокотехнологичную медицину, производство инновационного медицинского и фармацевтического оборудования. В этом секторе продолжающийся рост объема инвестиций

² McKinsey. Industrial robotics – insights into the sector’s future growth dynamics (2019). <https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/growth%20dynamics%20in%20industrial%20robotics/industrial-robotics-insights-into-the-sectors-future-growth-dynamics.pdf> (дата обращения: 29.11.2025).

growth%20dynamics%20in%20industrial%20robotics/industrial-robotics-insights-into-the-sectors-future-growth-dynamics.pdf (дата обращения: 29.11.2025).



Рисунок 4. Частные инвестиции автомобилестроения (правая шкала) и химической промышленности (левая шкала) США в микроэлектронные технологии, млн. долл.

Figure 4. Private investments of the automotive industry (right scale) and the chemical industry (left scale) of the USA in microelectronic technologies, million USD

Источник: рассчитано по данным Bureau of Economic Analysis USA

Source: based on data from the Bureau of Economic Analysis USA

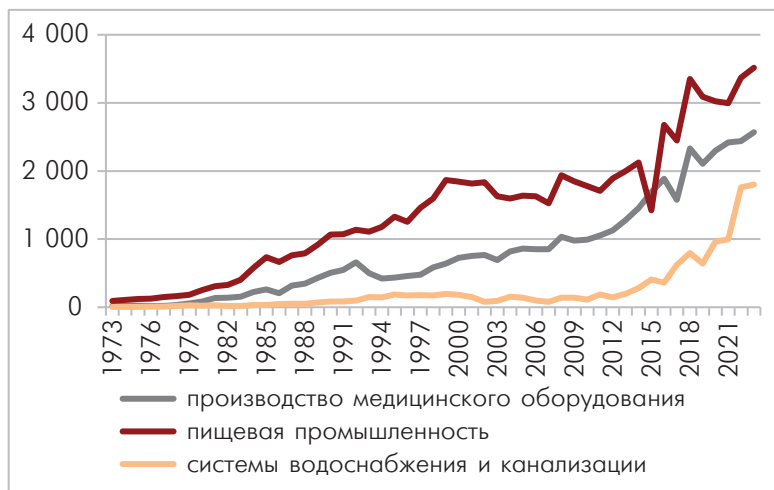


Рисунок 5. Частные инвестиции производителей медицинского оборудования, пищевой промышленности, систем водоснабжения и канализации США в микроэлектронные технологии, млн. долл.

Figure 5. Private investments of manufacturers of medical equipment, food industry, water supply and sewerage systems in microelectronic technologies, million USD

Источник: рассчитано по данным Bureau of Economic Analysis USA

Source: based on data from the Bureau of Economic Analysis USA

в микроэлектронику после 1997 г. не сопровождался существенным снижением их доли в общем объеме отраслевых инвестиций в основные средства (рисунки 5 и 6). Как видно по рисунку 5, сопоставимый рост инвестиций в микроэлектронику наблюдается в пищевой промышленности, в системе водоснабжения и канализации США.

По доле инвестиций в микроэлектронику системы водоснабжения и канализации входят в число лидеров экономики США. В России, по данным исследования рынка промышленной робототехники университета «Иннополис», в 2024 г. крупнейшими потребителями промышленных роботов стали предприятия фармацевтической отрасли (35%), пищевой промыш-

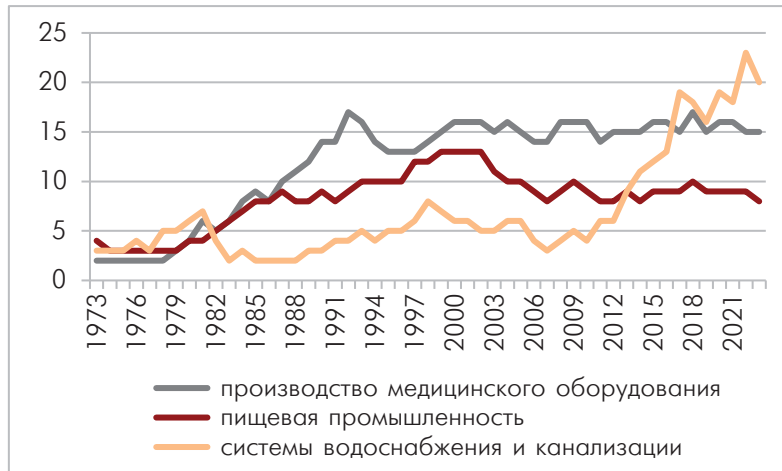


Рисунок 6. Доля частных инвестиций отрасли медицинского оборудования, пищевой промышленности, систем водоснабжения и канализации США в инвестициях этих отраслей в основные средства, %

Figure 6. The share of private investment of manufacturers of medical equipment, food industry, water supply and sewerage systems in the United States in investments of these industries in fixed assets, %

Источник: рассчитано по данным Bureau of Economic Analysis USA

Source: based on data from the Bureau of Economic Analysis USA

ленности (25%), автомобилестроения (15%), а также металлургии и машиностроения (15%)³.

Представленные по ряду отраслей данные о распространении микроэлектронных технологий показывают, что в части отраслей спрос на микроэлектронную продукцию и в абсолютных объемах, и по доле в инвестициях в основные средства после периода подъема демонстрирует сильное снижение (рисунки 2 и 3). Это означает, что после встраивания новейших производств в цепочки создания стоимости таких отраслей может наступать период их относительного дистанцирования от новейших производств, от соответствующего этим производствам технологического уклада. Однако такая ситуация не исключает, что следующие технологии широкого применения приведут к более устойчивому вовлечению таких отраслей в новые технологические совокупности. Примером долговременного выстраивания отношений с поставщиками микроэлектронной продукции служит производство медицинского оборудования. В связи с разной степенью устойчивости

кооперационных связей могут быть обоснованы и отличающиеся организационные механизмы обеспечения таких отношений.

Немонотонность эволюции сферы исследований и разработок

Как показано в предшествующем разделе, динамика инвестиций в новые технологии носит немонотонный характер. Данные Бюро экономического анализа США свидетельствуют о том, что некоторое насыщение промышленности США электронным оборудованием наблюдалось уже к началу 1980-х гг., что вызвало замедление роста инвестиций в компьютеры и периферийное оборудование. Однако с середины 1980-х гг. начали быстро расти объемы инвестиций в эти средства в таких отраслях, как производство машинного оборудования, химическое производство и строительство. После 1992 г. к этому росту подключилось автомобилестроение. Менее активно поддержало эту тенденцию производство электрооборудования. Если в этой отрасли высокая доля инвестиций в микроэлектронику сохранялась до 2008 г., то в производстве машинного оборудования, химическом производстве, автомобилестроении

³ Смирнов, Н. (2025). Вызовы роботизации: какие люди и машины нужны промышленности. https://www.rbc.ru/opinions/technology_and_media/04/12/2025/692dbb869a7947065a47aaf9 (дата обращения: 10.12.2025).

и строительстве пик рассматриваемых инвестиций пришелся еще на 1997–1998 гг.

Немонотонность структурных изменений наблюдается не только в реальном секторе экономики, но и в сфере исследований и разработок. Полезную информацию для анализа этой сферы дает американская статистика, а именно данные National Center for Science and Engineering Statistics USA. При общей тенденции к росту доли расходов на исследования и разработки (R&D) в ВВП США этот рост

носит волнообразный характер (рисунк 7). Изменения общей доли расходов на исследования и разработки фактически повторяют волнообразную активность бизнеса в сфере R&D при общем повышательном тренде этой активности: доля бизнеса в исследованиях возросла с 67% в 1973 г. до 78% в 2023 г.

Отдельного внимания заслуживает структура исследовательской активности бизнеса, в частности доля фундаментальных и прикладных исследований в ней (рисунк 8).

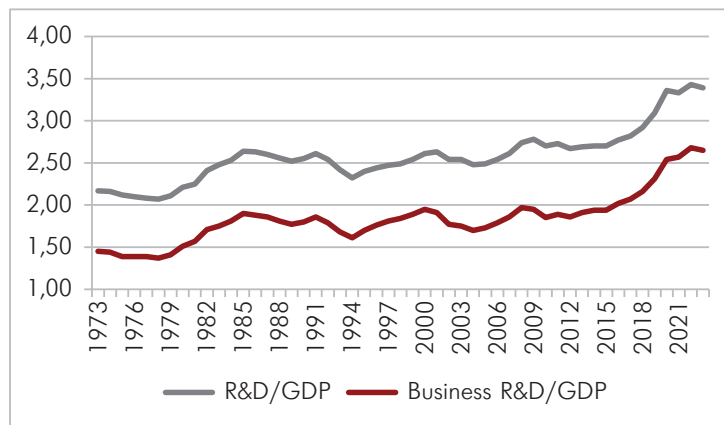


Рисунок 7. Общая доля расходов на исследования и разработки в ВВП США и активность бизнеса в этой сфере, %

Figure 7. Total share of research and development expenditures in U.S. GDP and business activity in this area, %

Источник: National Center for Science and Engineering Statistics USA

Source: National Center for Science and Engineering Statistics, USA



Рисунок 8. Доля расходов на фундаментальные (левая шкала) и прикладные исследования (правая шкала) в общих расходах бизнеса США на исследования и разработки, %

Figure 8. The share of expenditures on fundamental (left scale) and applied research (right scale) in total U.S. business expenditures on research and development, %

Источник: рассчитано по данным National Center for Science and Engineering Statistics USA

Source: based on data from the National Center for Science and Engineering Statistics, USA

Опыт США свидетельствует о смещении R&D активности бизнеса в сторону фундаментальных и прикладных исследований в период интенсивного внедрения в экономику технологий текущей длинной волны. После насыщения производства этими технологиями больше внимания в исследованиях уделяется экспериментальным разработкам, улучшающим инновациям. Однако их потенциал ограничен и потребность в базисных инновациях, а также принципиально новых комбинациях с участием микроэлектронных технологий, побуждает компании повышать вовлеченность в фундаментальные исследования. Робототехника может служить примером таких комбинаций. Фундаментальные исследования бизнеса – это еще и попытка создания заделов для опережения конкурентов в формировании и освоении новых рынков. Как указывается в исследовании Н.Г. Кураковой с соавторами, научно-технологическая политика в странах – технологических лидерах мира, все более явно рассматривает науку в качестве инструмента завоевания рынков, сформированных товарами и услугами новой технологической повестки (Куракова и др., 2017). Такое восприятие науки становится характерным и для самого бизнеса.

В радикальных инновациях часто воплощается целый комплекс научных результатов. Координация необходимых исследований может существенно ускорить их практическую реализацию. На важность участия заинтересованных сторон уже на ранних стадиях исследования при принятии решения о том, что именно следует изучать, обращает внимание С. Grill (Grill, 2021). Вовлечение научно-исследовательских и проектных институтов предусмотрено В.М. Полтеровичем при формировании консорциумов, призванных обеспечить разработку и реализацию проектов создания и/или внедрения новых технологий, выстраивание отечественных сетей добавленной стоимости (Полтерович, 2024; Polterovich, 2024).

Заключение

При прогнозировании и планировании структурных изменений в производстве и сфере исследований и разработок следует исходить из закономерностей технологического

развития экономики, проявляющихся, в частности, в формировании и обновлении технологических совокупностей (технологических укладов). По структурным сдвигам в инвестиционных потоках можно делать выводы о перестройке производства в связи с подъемом очередной длинной волны и становлением нового технологического уклада. Ориентация на динамику инвестиций в новейшие технологии при разграничении этих потоков и на эволюцию активности зрелых и только возникших отраслей отвечает инвестиционно-инновационной природе длинных волн.

Новые базисные технологии нередко отличаются тем, что они основываются на ранее не использовавшихся физических свойствах вещества. Доминирование ранее освоенных технологий широкого применения продолжается до тех пор, пока новые технологии выполняют вспомогательную роль. Такая роль проявляется в инвестировании в эти технологии со стороны зрелых отраслей. Когда возможности улучшения доминирующих технологий за счет внедрения элементов принципиально новой технологии близки к исчерпанию, происходит торможение такого рода инвестиций, активизируются поиски путей раскрытия потенциала новых технологий широкого применения на их собственной основе. Близится смена доминирующей технико-экономической парадигмы и доминирующего технологического уклада. После некоторого переходного периода ведущую роль в экономическом развитии начинают играть отрасли очередной длинной волны, а предшествующая волна перестает быть доминирующей. Как уже отмечалось, дефицит данных ограничивает возможности такого рода детального анализа для российской экономики (Сухарев & Ворончихина, 2021).

Радикальное обновление технологической базы производства характеризуется не только пульсирующим характером, проявляющимся в технологических революциях, но и немонотонностью, свойственной процессу обновления экономики на основе отдельной технологии широкого применения. Повышенное внимание заслуживает переходный период, приходящийся на середину подъема длинной волны. В этот период происходит

значительная переориентация экспансии такой технологии. С внедрения в уже развитые отрасли инновационная активность смещается на формирование технологических цепочек, в которых базисное качество новой технологии широкого применения получает реальное воплощение. Экономическое развитие подпитывается уже не столько синергией соединения старых и новых технологий, сколько синергией производств, выстроенных на базе новой технологии.

После реализации основного потенциала этой синергии на первый план выходят улучшающие инновации. В работе И.В. Анохова такая ситуация фигурирует как фаза научно-технологического сжатия, в связи с чем предлагается максимальное стимулирование предметно-прикладных исследований с одновременной консервацией структур, занимающихся фундаментальными исследованиями, и ориентацией их активности на следующую фазу оживления (Анохов, 2025). Снижение в это время запросов на фундаментальные исследования демонстрирует и сам бизнес, как показывает опыт США (рисунки 8). Тем не менее, бизнес не сворачивает полностью свои фундаментальные исследования, поскольку отставание в них трудно наверстать позднее. Задача государства, руководствуясь

долговременными интересами страны и будущими ее потребностями, – обеспечить поддержку таких исследований в период, когда практическое внедрение их даже перспективных результатов становится проблематичным.

Фазы длинной волны отличаются своими соотношениями между продуктовыми, технологическими, маркетинговыми и организационными инновациями. Поэтому государственная экономическая политика должна учитывать специфические свойства отдельных фаз длинной волны. Так, в период высокого спроса на продукцию новых отраслей существует риск перенакопления капитала в этих отраслях. С другой стороны, с насыщением экономики продукцией этих отраслей растет риск, что получаемые ими доходы могут способствовать формированию финансовых пузырей. Исследование закономерностей технологического развития необходимо как для прогнозирования инновационного обновления экономики, так и для снижения сопровождающих такое обновление рисков.

Конкурирующие интересы

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The author declares no conflict of interest.

Список источников/References

1. Анохов, И.В. (2025). Институты догоняющего и опережающего развития: организационное сопротивление, фазы научно-технического развития и проектирование будущих потребностей. *Экономика науки*, 11(2), 53–66. EDN: SCKPKI
Anokhov, I.V. (2025). Institutions of catch-up and advanced development: organizational resistance, phases of scientific and technological development, and designing future needs. *Economics of Science*, 11(2), 53–66. EDN: SCKPKI (in Russian)
2. Глазьев, С.Ю. (1993). *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. Владар.
Glazyev, S.Yu. (1993). *Theory of long-term technical and economic development*. Vladar. (in Russian)
3. Глазьев, С.Ю. (1990). *Экономическая теория технического развития*. Наука.
Glazyev, S.Yu. (1990). *Economic theory of technical development*. Nauka. (in Russian)
4. Глазьев, С.Ю., & Косакян, Д.Л. (2024). Состояние и перспективы формирования 6-го технологического уклада в Российской экономике. *Экономика науки*, 10(2), 11–29. EDN: GJOIYC, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29>
Glazyev, S.Yu., & Kosakyan, D.L. (2024). State and prospects of 6th technological mode in Russian economy. *Economics of Science*, 10(2), 11–29. EDN: GJOIYC (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29>
5. Глазьев, С.Ю., & Косакян, Д.Л. (2025). О развитии нового технологического уклада в экономике России в сравнении с передовыми странами. *Российский экономический журнал*, (4), 63–85. EDN: OWCJOD

- Glazyev, S.Yu., & Kosakyan, D.L. (2025). On the development of a new technological structure in the Russian economy in comparison with advanced countries. *Russian Economic Journal*, (4), 63–85. EDN: OWCJOD (in Russian)
6. Дементьев, В.Е. (1992). *Неравномерность научно-технического развития и его приоритеты. В Теоретические основы формирования долгосрочной научно-технической политики.* С. 25–43. ЦЭМИ АН СССР. Dementiev, V.E. (1992). *The unevenness of scientific and technical development and its priorities. In Theoretical foundations of the formation of long-term scientific and technical policy.* (pp. 25–43). CEMI Academy of Sciences of the USSR. (in Russian)
 7. Дементьев, В.Е. (2009). *Длинные волны экономического развития и финансовые пузыри.* Препринт # WP/2009/252. ЦЭМИ РАН. Dementiev, V.E. (2009). *Long waves of economic development and financial bubbles.* Preprint # WP/2009/252. CEMI RAS. (in Russian)
 8. Дементьев, В.Е. (2012). *Длинные волны в экономике: инвестиционный аспект.* Препринт # WP/2012/297. ЦЭМИ РАН. EDN: QTIFFV Dementiev, V.E. (2012). *Long waves in economics: an investment aspect.* Preprint # WP/2012/297. CEMI RAS. EDN: QTIFFV (in Russian)
 9. Куракова, Н.Г., Зинов, В.Г., & Цветкова, Л.А. (2017). Выбор научно-технологических приоритетов с потенциалом создания новых индустрий: система измеряемых индикаторов. *Экономика науки*, 3(3), 154–169. EDN: ZRRGCR, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2017-3-3-154-169> Kurakova, N.G., Zinov, V.G., & Tsvetkova, L.A. (2017). Choosing scientific-technological priorities with a potential for creating new industries: a system of measurable indicators. *Economics of Science*, 3(3), 154–169. EDN: ZRRGCR (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2017-3-3-154-169>
 10. Полтерович, В.М. (2009). Гипотеза об инновационной паузе и стратегия модернизации. *Вопросы экономики*, (6), 4–22. EDN: KGBFKH, <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2009-6-4-23> Polterovich, V.M. (2009). Hypothesis of the innovation pause and the modernization strategy. *Voprosy Ekonomiki*, (6), 4–22. EDN: KGBFKH (in Russian) <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2009-6-4-23>
 11. Полтерович, В.М. (2024). Формирование отечественных сетей добавленной стоимости. *Журнал Новой экономической ассоциации*, 3(64), 251–257. EDN: HSI5BA, https://doi.org/10.31737/22212264_2024_3_251-257 Polterovich, V.M. (2024). Formation of domestic value-added networks. *Journal of the New Economic Association*, 3(64), 251–257. EDN: HSI5BA (in Russian) https://doi.org/10.31737/22212264_2024_3_251-257
 12. Сухарев, О.С. (2012). *Управление экономикой. Введение в теорию кризисов и роста.* Финансы и статистика. Sukharev, O.S. (2012). *Economic management. Introduction to the theory of crises and growth.* Finance and Statistics (in Russian).
 13. Сухарев, О.С. (2021). Управление макроэкономическим развитием: структурный подход и обратные связи. *Наука и искусство управления. Вестник Института экономики, управления и права Российского государственного гуманитарного университета*, (1), 10–28. EDN: WGEZFF Sukharev, O.S. (2021). Management of macroeconomic development. Structural approach and feedback. *Science and Art of Management. Bulletin of the Institute of Economics, Management and Law of the Russian State University for the Humanities*, (1), 10–28. EDN: WGEZFF (in Russian)
 14. Сухарев, О.С., & Ворончихина, Е.Н. (2021). Теория технологических укладов в структурном анализе роста российской экономики. *Российский экономический журнал*, (1), 74–108. EDN: GTBHOT, <https://doi.org/10.33983/0130-9757-2021-1-74-108> Sukharev, O.S., & Voronchikhina, E.N. (2021). The theory of technological modes in the structural analysis of the growth of the Russian economy. *Russian Economic Journal*, (1), 74–108. EDN: GTBHOT (in Russian) <https://doi.org/10.33983/0130-9757-2021-1-74-108>
 15. Шумпетер, Й.А. (2008). *Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия.* Эксмо. Schumpeter, J.A. (2008). *Economic development theory. Capitalism, socialism and democracy.* Eksmo.
 16. Bresnahan, T.F., & Trajtenberg M. (1995). General Purpose Technologies: “Engines of Growth”? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83–108. EDN: HIMACP, [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T)
 17. Grill, C. (2021). Involving stakeholders in research priority setting: a scoping review. *Research Involvement and Engagement*, (7), 75. EDN: IQFDYS, <https://doi.org/10.1186/s40900-021-00318-6>
 18. Polterovich, V.M. (2024). Formation of domestic value-added networks. Working Paper No. 121661 MPRA. Retrieved December 11, 2025 from <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/121661>

Информация об авторе

Дементьев Виктор Евгеньевич – доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник лаборатории механизмов финансово-промышленной интеграции, Центральный экономико-математический институт РАН; ScopusAuthor ID: 57208227980, ORCID: 0000-0001-5612-3999 (Российская Федерация, 117418, Москва, Нахимовский пр-т, д. 47; e-mail: vedementev@rambler.ru).

Author

Victor E. Dementiev – Doctor of Economics, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher at the Laboratory of Mechanisms of Financial and Industrial Integration, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 57208227980, ORCID: 0000-0001-5612-3999 (47, Nakhimovsky Pr., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: vedementev@rambler.ru).

Поступила в редакцию (Received) 26.12.2025

Поступила после рецензирования 10.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 27.02.2026

ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ

УДК: 330.341.1

JEL: C13 O32 O33

EDN: KPSGYA

«Экономика технологий»: принципы развития и оценка потенциала

О.С. Сухарев

Институт экономики Российской академии наук, <https://ror.org/05qrfxd25>, Москва,
Российская Федерация; e-mail: o_sukharev@list.ru

Аннотация. В статье рассматривается относительно новое научное направление «экономика технологий», которое является частью более широкого направления «экономики научно-технического прогресса» и изучает закономерности появления, внедрения, эксплуатации, вывода и конкуренции технологий, а также процессы технологического замещения, дополнения и развития технологий. Цель исследования – определение основных принципов развития научного направления «экономики технологий» и собственно технологического развития, а также применение авторской доктрины «двух потенциалов» в рамках количественной оценки технологического потенциала при осуществлении технологического выбора. Методологию составляет теория технологического развития, «экономики технологий», доктрина «двух потенциалов» – текущего и перспективного. Результатом работы является набор принципов технологического развития и «экономики технологий» как исследовательского направления, а также подход к оценке технологического потенциала и методика осуществления выбора технологического решения при замещении импортной либо устаревшей технологии. Данный подход позволяет дать качественную оценку имеющегося набора базовых технологий в рамках конкретного технологического направления, вида деятельности или даже отрасли. При этом требуется учитывать и то обстоятельство, что даже один импортный элемент в рамках какой-либо технологии может сдерживать её развитие и формировать довольно высокую зависимость от внешних технических решений, а также не позволять придать ей статус полностью отечественной технологии. В связи с этим необходима качественная оценка содержания технологии, её дополнительных характеристик, обеспечивающая адекватность технологического выбора. Созданный в рамках данной статьи инструментарий существенно продвигает развитие «экономики технологий» как научного направления на теоретическом и методико-измерительном уровнях анализа. Показана методика сравнительной оценки технологий в сфере микроэлектроники с демонстрацией вариантов выбора в ситуации замещения импортной технологии и отказа от устаревшей технологии в пользу новой отечественной технологии.

Ключевые слова: «экономика технологий», технологический потенциал, принципы развития, технологичность, текущий и перспективный потенциал, технологии микроэлектроники, доктрина двух потенциалов

Информация о финансировании: Данное исследование выполнено без внешнего финансирования.

Для цитирования: Сухарев, О.С. (2026). «Экономика технологий»: принципы развития и оценка суверенитета. *Экономика науки*, 12(1), 49–64. EDN: KPSGYA

ECONOMICS OF KNOWLEDGE AND TECHNOLOGY

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

JEL: C13 O32 O33

EDN:KPSGYA

“Economics of technology”: principles of development and potential assessment**O.S. Sukharev**Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, <https://ror.org/05qrfxd25>, Moscow, Russian Federation; e-mail: o_sukharev@list.ru

Abstract. The paper considers a relatively new scientific direction “economics of technology”, which is part of a broader direction “economics of scientific and technological progress”, and studies the patterns of emergence, implementation, operation, withdrawal and competition of technologies, processes of technological substitution and addition, development of technologies. The purpose of the study is to determine the main principles of development of the scientific direction “economics of technology” and technological development itself, as well as the application of the author’s doctrine of “two potentials” in the framework of quantitative assessment of technological potential for making a technological choice. The methodology is the theory of technological development, “economics of technology”, the doctrine of “two potentials” – current and prospective. The result of the work is a set of principles of technological development and “economics of technology” as a research direction, as well as an approach to assessing technological potential and a methodology for choosing a technological solution when replacing imported or obsolete technology. It allows you to give a qualitative assessment of the existing set of basic technologies within a specific technological direction, type of activity or even an industry. Of course, it is necessary to take into account the fact that even one imported element within a technology can restrain its development and ensure a fairly high dependence on external technical solutions, as well as prevent it from being given the status of a completely domestic technology. In this regard, a qualitative assessment of the content of the technology, its additional characteristics is needed to ensure the adequacy of the technological choice. The tools created within the framework of this article significantly advance the development of the “economics of technology” as a scientific direction at the theoretical and methodological-measurement level of analysis. A methodology for comparative assessment of technologies in the field of microelectronics is shown, demonstrating the options for choosing in a situation of substituting imported and abandoning obsolete technology in favor of a new domestic technology.

Keywords: “economics of technology”, technological potential, principles of development, manufacturability, current and prospective potential, microelectronics technologies, two potential doctrine

Funding: This research received no external funding.

For citation: Sukharev, O.S. (2026). “Economics of technology”: principles of development and assessment of sovereignty. *Economics of Science*, 12(1), 49-64. EDN: KPSGYA

Введение

Современные достижения науки и техники формируют вектор социально-экономического развития (Анчишкин, 1986), а переход к новому мирохозяйственному укладу обусловлен формированием нового технологического уклада (Глазьев, 2018), причём не только шестого, но и перспективного седьмого, относительно которого редко сегодня ведётся полемика о том, каким он должен быть. Скорее всего, несмотря на прогресс в технологиях, вопросы ресурсной и экологической эффективности,

а также применение наилучших доступных технологий будут детерминировать современную повестку дня (Скобелев, 2020), поскольку технологическое развитие имманентно предполагает эффект экономии, вшитый в разработку новых способов воздействия на ресурсы и объекты. Эти способы всегда имеют экологические следствия, оказывая негативное влияние на окружающую среду. Поэтому оценку технологического суверенитета (независимости) и соответствующей политики вряд ли можно осуществить правдоподобно (Глазунова, 2024; Ponte et al.,

2023)¹, если не учитывать научный и технологический потенциал страны, позволяющий обеспечить решение задачи по достижению независимого развития в этой области (Сухарев, 2024, 2025).

«Экономика технологий» (Сухарев, 2024) как довольно новое научное направление² предполагает наличие самостоятельных принципов и исследовательских задач, решение которых позволяет продвинуться в области управления технологическим развитием, выработать меры технологической политики, а также институционально организовать экономику таким образом, чтобы обеспечить внедрение и разработку новых технологий как способов производства, преобразования ресурсов и изменения состояния объектов.

Важно обозначить принципы развития технологий и происходящих технологических изменений, выделяя принципы решения задач технологического выбора, а также развития научного направления «экономики технологий». Это направление представляет собой набор аккумулируемых (накапливаемых) знаний о происходящих явлениях в технологической области как специфическом объекте исследования, где процесс принятия решения не детерминирован материальной выгодой, или некой полезностью, имеющей утилитарное

содержание, как в области потребительского выбора. Технологический выбор может быть детерминирован необходимостью дальнейшего решения технических задач, сбережением природы (Ahmad et al., 2023), обеспечением независимости в дальнейшем развитии науки и техники и иными обстоятельствами. Кроме этого, значение имеет предмет и методы исследования – изучения наблюдаемых либо открываемых явлений в области технологических изменений (технологического прогресса). Объект исследования включает на макроуровне технологические уклады и «экономику знаний», представленную в виде самостоятельного сектора хозяйственной системы, на мезоуровне – региональные и территориальные системы, использующие те или иные технологии, и на микроуровне – корпорации и фирмы, осуществляющие технологические изменения различных видов и назначения. На различных уровнях рассмотрения главное усилие направлено на анализ собственно технологий по ядру или периферии, оценку происходящих изменений, способов совершенствования, технологического замещения (Chaturvedi, 2023; Wang & Lin, 2021) или дополнения, а также обоснование управленческих решений в каждом конкретном случае.

Предметом исследования «экономики технологий» (Сухарев, 2024) выступают экономические и управленческие отношения между различными задействованными субъектами по поводу создания (генерации), ввода в эксплуатацию, и вывода из неё, совершенствования технологий как способов производства и методов воздействия на различные объекты или изменения их состояния, а также принятия решений (данное направление охватывает разнообразные технологии). Методология этого научного направления охватывает широкий класс методов экономического и технико-экономического анализа, модели инновационного роста, методы измерения технологического потенциала и суверенитета (Сухарев, 2025). Вместе с тем данное поле анализа требует дальнейших усилий, как и сфера принятия решений по стимулированию научно-технологического прогресса, что подтверждается многочисленными исследованиями. В частности,

¹ Так в исследовании А. Понте с соавторами (Ponte et al., 2023) акцентируются два вопроса: доступ стран и фирм к новым технологиям, и способы преодоления стратегических зависимостей, чтобы остаться конкурентоспособными, а точнее – нарастить конкурентоспособность. Авторы предлагают агрегатную метрику – индекс технологического суверенитета (TSI), который был подвергнут аргументированному критическому осмыслению в ряде работ российских авторов (Сухарев, 2024; Глазунова, 2024). Хотя применительно к отдельно взятой технологии либо технологическому направлению (например, рынку мобильной связи) такая агрегация вполне допустима, хотя и мало что проясняет, поскольку важен анализ отдельных элементов этого индекса и отдельных технологических возможностей по ядру и периферии, а также учёт технологического потенциала – текущего и перспективного (Сухарев, 2025). Низкий суверенитет по технологиям в области мобильной связи 5G авторы объясняют нехваткой человеческого капитала и слабым развитием аутсорсинга. Иными словами, речь идёт о стратегической зависимости, поскольку преодолеть указанные факторы быстро не представится возможным, хотя в исследовании и отмечаются потенциальные возможности для этого.

² Экономику технологий можно рассматривать как составную часть более широкой области – «экономики научно-технологического прогресса», но, в силу специфики самих технологий как объекта исследования, выявляются новые особенности и методы функционирования и управления субъектами, применяющими те или иные технологии (Сухарев, 2024)

можно создавать патентоспособные технологии в производстве, активизируя роль университетских исследований, но остаётся не вполне ясно, насколько новые патенты на изобретения позволяют оценить созданное знание (Acosta et al., 2020).

Исследование корреляционной связи между «экономикой знаний» и рядом макроэкономических показателей (затраты на НИОКР, численность научных кадров, темп роста ВВП и его величина на душу населения, индекс человеческого развития и факторная производительность) показало, что для стран ОЭСР (США, Канада, Франция, Германия, Япония, Южная Корея) значимая связь между затратами и численностью исследователей выявляется только у двух стран. По другим показателям сопоставимой картины для рассмотренных государств не наблюдается (Mégnybêto, 2018). Например, внедрение технологий искусственного интеллекта для модернизации энергетической структуры китайской экономики показало наличие U-образной связи, то есть, имелся участок, на котором влияние технологий ИИ на модернизацию было негативным. При этом общий результат зависел от региона страны, а государственные инвестиции в науку и технологии существенно смягчали установленную в исследовании U-образную связь, описывающую применение технологий ИИ (Lee & Yan, 2024).

Развитие интеллектуального капитала фирм детерминирует открытые инновации (Barrena-Martínez et al., 2020), на которые воздействуют и формы защиты интеллектуальной собственности, то есть институциональный режим организации «экономики технологий» (Grimaldi et al., 2021; Сухарев, 2025). Однако различные элементы интеллектуального капитала могут по-разному влиять на производительность (Oppong & Pattanayak, 2019).

Приведенные примеры различных исследований подтверждают неоднозначность, высокую сложность и даже противоречивость развития технологических областей в разных странах, а также высокую детерминацию от исходных условий. Даже высокий темп технологических изменений может не отразиться на темпе экономического роста (ВВП страны), как это наблюдалось в эпоху первой

промышленной революции и получило название «парадокса быстрой индустриализации» (Crafts, 2005). В качестве причин обычно указывают незначительную стоимость полезного знания и внутреннюю замкнутость инновационной системы. Однако представляется, что более значимыми факторами были невысокая эффективность технологий, ограниченность их распространения и тиражирования, скромные эффекты масштаба.

В настоящее время наблюдается так называемый эффект «двойной циркуляции» (Wu & Chen, 2023), сводимый к взаимному усилению изменений на уровне университетов, генерирующих новое технологическое знание, и на уровне внедрения новых технологий в производство. С одной стороны, это обеспечивает усиление потоков научно-технической информации, а с другой – способствует генерации и внедрению нового технологического знания.

Суммируя, отметим, что исследования дают различные многочисленные аспекты технологического развития – от создания до применения и конкуренции в области технологий, но без оценки их потенциала. При этом не учитывается, что потенциал задаётся как текущими возможностями эксплуатации технологической базы, так и возможностями, которые могут возникнуть, но требуют дополнительных оценок и измерений (Сухарев, 2025). В итоге не формируется полноценная картина причин зависимости в области технологий, что накладывает ограничения на государственные решения в сфере научно-технологической политики (Amann, 2002; Bassens & Hendrikse, 2022). Суверенитет в технологиях предполагает также суверенитет в области науки и образования, финансов и что наиболее важно – в принятии правительственных решений (Edler et al., 2023; Сухарев, 2025).

Общим результатом высокой скорости технологических изменений становится повышение уровня автоматизации многочисленных процессов (Erebak & Turgut, 2021; Eum & Lee, 2022), что порождает различные эффекты адаптации и модели функционирования систем «человек-машина», что также составляет тематику изучения в рамках «экономики технологий».

Исследование Стефано Магистретти с соавторами (Magistretti et al., 2020) подтверждает, что генерация спроса и предложения на новые технологии происходит с разной интенсивностью, но перманентно. Однако природа и механизм этого процесса остаются неясными, как и вопрос относительно разработки новых технологий и управления их внедрением и совершенствованием. Известно, что время разработки сокращается, а скорость изменений – растёт, но у этих двух процессов имеется объективный предел. Превосходство в технологиях детерминировано новизной и экономией, природа которых пока не раскрыта. Стандартизация технологий и институтов их развития в настоящее время находится на низком уровне, однако все же они влияют на появление новых технологий, что составляет задачу для дальнейших исследований (Jiang et al., 2018). Очевидно следующее: кто первым сгенерирует институты учёта и измерения технологий, создавая в ближайшем будущем и стандарты, тот и будет контролировать процессы и занимать ведущие позиции в области «экономики технологий» как новой эры современного общественного развития, основанной на достижениях научно-технического прогресса, реализующей во всё большей мере комбинаторный принцип получения знаний и новых результатов.

Таким образом, вырисовывается новая область для исследования процессов изменения технологий – «экономика технологий», и целью настоящей работы является определение базовых принципов этого научного направления и развитие доктрины «двух потенциалов» технологического развития (Сухарев, 2025), с формированием методологии оценки качества по рассматриваемому набору сравниваемых технологий из одного технологического направления. Это позволит в будущем сформировать методологию оценки и технологического суверенитета, и потенциала, и ввести новые учётно-измерительные единицы и процедуры в рамках статистического измерения технологий и технологического развития. Методологию составляет структурный и таксономический анализ, эмпирические обобщения. Для достижения цели следует решить две основные

задачи. Во-первых, сформулировать основные принципы научного направления «экономики технологий», охарактеризовать её значимые характеристики и, во-вторых, дать общую методологию оценки технологического потенциала согласно авторской доктрине «двух потенциалов» – текущего и перспективного. Далее перейдём к последовательному решению указанных задач.

Методология исследования «Экономика технологий»: основные принципы

«Экономика технологий» как научное направление предполагает формулировку двух групп принципов. Во-первых, это некие позиции или положения, которые имманентно присущи и получены только в рамках данного направления, причём обозначают как методы исследования, возможности поисковой работы, так и формулировку новых задач для решения, открытие новых закономерностей, то есть, составляют некую исследовательскую базу. Во-вторых, это принципы, характеризующие технологическое развитие как своеобразный объект исследования в рамках «экономики технологий». Следует отметить, что первая группа принципов совсем не означает отрицания базовых подходов в стандартном экономическом анализе. Она лишь конкретизирует применение этих методов в силу специфического объекта исследований – технологий, и предмета исследований – складывающихся отношений при создании, внедрении, конкуренции технологий. Именно особенности объекта и предмета изучения определяют следующие базовые принципы поисковой работы в рамках «экономики технологий»:

1. В качестве критерия анализа и принятия решения (управления) не действуют рационалистические критерии. Многокритериальность и разнонаправленность решений и технологического поведения составляют специфику самого экономического анализа технологического развития.
2. Высокая асимметрия информации по поводу разработки и внедрения технологий, научного поиска, предшествующего

созданию технологий, а также сложность и непредсказуемость предметных работ, которые могут вообще не завершиться созданием технологии, как и проводимые НИР в течение довольно длительного времени.

3. Отсроченная ценность знаний и технологий, которая со временем может резко увеличиться, а может и не возрасти либо снизиться. Это создаёт уникальность выбора и принятия решений в пользу того или иного технологического варианта. В силу указанного обстоятельства классические критерии эффективности перестают действовать и, например, технология, окупаемая через десять или более лет, может быть внедрена в силу значимых перспектив её использования (в частности, речь об атомной энергетике).
4. Необходимость управления не по принципу «цели – инструменты», хотя он не отрицается, а по принципу «распределённого управления», когда инструменты и решения в своём действии сразу охватывают набор целей, факторов развития, элементов экономической и технологической системы (цепочки).
5. При создании технологии, а также при проведении НИОКР для этой задачи утилитаристская концепция поведения агентов не применима, принцип извлечения выгоды не действует. Действует принцип «наслаждения результатом», получения нового знания либо способа, который обладает высоким совершенством либо характеристиками, которые в будущем приведут к эффектам экономии. Текущая выгода и полезность перестают быть критерием принятия решения, выдвигая на первый план принцип экономии, технологичности, решение научной или технической задачи. Тем самым, критерии, ориентированные на прибыль или количественный и узкоутилитарный результат, не могут применяться в научной и технологической области в чисто экономическом виде. «Экономика технологий» не предоставляет утилитарный набор критериев, вместо этого в каждом конкретном

случае применяется соответствующий ситуации подход, учитывающий особенности условий и требований в рамках траектории технологического развития. Например, в определенных условиях отказ от импортной технологической зависимости как критерий может иметь большее значение, чем показатели эффективности конкретной технологии.

Принципы технологического развития имеют более широкий набор и представлены в *таблице 1*, где приведена формулировка каждого принципа и раскрыто его краткое содержание. Именно наличие указанных свойств технологического развития определяет актуальность приведенных выше пяти принципов экономического анализа в рамках «экономики технологий».

Таблица 1 подчёркивает не только сложность самого технологического развития и реализации достижений науки в области техники и технологий, но показывает вместе с выше приведёнными пятью принципами «экономики технологий», насколько трудна исследовательская область и постановка многих задач, которые проблематично решить без развертывания соответствующей системы измерительно-учётных процедур по технологиям и их развитию (Сухарев, 2024, 2025). Отметим, что в настоящее время отсутствуют единая система учёта технологий и технологического развития, выверенная система показателей, характеристик, а также общие стандарты в этой области. Тот, кто развернёт такую работу, получит конкурентные преимущества институционального свойства.

В частности, важно измерять уровень технологического развития или технологичность. Здесь могут быть использованы несколько магистральных подходов³.

Во-первых, затратный метод, позволяющий оценить каждый релевантный показатель, характеризующий экономию от применения технологии, например, материалоёмкость (отношение объёма материалов по стоимости

³ Здесь намеренно не излагаются индексные или балловые (экспертные) подходы, как хорошо известные, популярные, но малоинформативные, поскольку они способны скрадывать подлинное технологическое развитие. Излагаем лишь методы оценки прямых счётных показателей и характеристик.

Таблица 1. Принципы технологического развития для анализа изменений
Table 1. Principles of technological development for analyzing changes

№	Формулировка принципа	Краткая характеристика
1	закономерного развития технологий	Действуют открытые законы и принципы математики, физики, химии, биологии, инженерных и других наук
2	неоднородности (сложной диверсификации)	Технологии и технические решения неоднородные, их диверсификация может приводить не к снижению, а повышению сложности и рисков применения результатов
3	неопределённости и разнообразия	Высокая степень незнания применения той или иной новейшей технологии, последствия становятся ясны не сразу и не всегда в полном объёме. Может быть высокое разнообразие вариантов технических решений
4	ложного, исправляющего и улучшающего решения	В области техники и технологий могут приниматься ложные решения, которые впоследствии можно исправить. Также технологическая область порождает улучшенные технологии и технические решения
5	жизненного цикла	Развития каждой технологии, а также технологического направления подчинено закономерности «жизненного цикла» от создания до выбытия и утилизации либо коренной модернизации с переходом на новый уровень эксплуатации
6	развития по нескольким сопряжённым направлениям	Даже в рамках одного технологического направления возможно параллельное движение в силу разнообразия технологических вариантов, достигаемых по технологическому ядру и периферии (набор ядер и периферий)
7	раздельности эволюционных изменений технологии по ядру и периферии	Речь о разноплановых изменениях, затрагивающих базовые позиции технологий – ядро, которые являются точными и неизменными с точки зрения науки, но возможно их изменение в силу открытия новых фактов и получения решений. А также изменения, причём более быстрые и масштабные происходят по периферии, которая имманентно гибка и предназначена для доработки и совершенствования технологии
8	измеряемой эффективности применения	Эффективность применения технического решения или технологии может быть оценена количественно. Важен лишь оцениваемый критерий и вид эффективности, а также возможные потери при применении решений и технологий, величина экономии ресурса
9	технологичности	Технические решения и создаваемые технологии призваны либо ускорить процесс, либо сэкономить ресурсы различного вида и назначения. Для одних технологий наблюдается экономия, для других – нет. Важно получить результат при меньшем объёме общего ресурса, либо получить больший результат при том же используемом объёме, что и является критерием технологичности, заключённым в этом принципе
10	включения технологии в более сложные технологические комплексы (уклады)	Ряд технологий, в том числе и новых, является частью более сложных технологических цепочек, формирующих воспроизводственный контур в экономической системе. Это включает как отечественные, так и импортные решения, которые сопрягаются между собой. Действуют процессы замещения и дополнения, которые усложняют не только измерение технологий и их развития, но и анализ

*Источник: составлено автором
 Source: compiled by the author*

к величине ВВП), энергоёмкость (отношение потребляемой или вырабатываемой энергии к ВВП⁴) или электровооружённость труда (отношение мощности применяемых машин к общей численности занятых, то есть электрическая мощность машин на одного занятого). Также может быть дана оценка доли затрат на цифровизацию или внедрение новых технологий

в общей величине затрат (то же справедливо относительно процесса механизации и автоматизации производства).

Во-вторых, методы измерения уровня механизации и автоматизации труда, сводимые к оценке численности персонала охваченного автоматизированным⁵ либо механизированным трудом. Аналогично оценивается уровень

⁴ Является важным показателем и условием экономического роста.

⁵ В частности, Я.Б. Кваша вводил показатель «кибернетической автоматизации» – отношение мощности электрических машин к общей величине потребляемой электрической мощности.

цифровизации. В рамках этого подхода уровень цифровизации (С) или уровень механизации (М) определяются отношением числа занятого персонала, охваченного цифровыми технологиями или механизацией, к общей численности занятых в экономике или её секторе. Уровень технологичности (Т) в таком случае может быть оценен как отношение числа занятых, освоивших и применяющих новые технологии, к общей численности занятых.

В-третьих, оценку уровня механизации, автоматизации, цифровизации можно давать отношением времени выполнения работы с применением механизмов, автоматов или цифровых технологий к общей величине времени исполнения работы без этих устройств. Применительно к уровню технологичности возможен вариант оценки как отношение времени работы на новейшей технологии ко времени ее выполнения с использованием прежних технологий (устаревающих или старых).

В-четвёртых, модельный подход, при котором целевой показатель, в частности, технологичность (U), задается при помощи мультипликативной модели, например:

$$U = k m^a e^b \quad (1),$$

где m – материалоемкость,
 e – энергоёмкость.

Аналогично формуле (1) можно представить и другие модели технологичности, по формулам (2)–(3):

$$U = g e^a M^r C^w \quad (2),$$

где e – электроёмкость,

M – уровень механизации, определяемый согласно единообразному методу с уровнем цифровизации (С).

Остальные величины – параметры модели.

$$U = h e^a M^r C^w T^y \quad (3),$$

где T – масштаб технологического обновления, измеряемый долей затрат на новые или новейшие технологии в общей величине технологических инноваций (затрат на обслуживание технологий).

Показанные варианты мультипликативных моделей (1), (2), (3) не означают, что модельный подход сводится только к мультипликативным

функциям. Безусловно, возможны разные комбинации, но он должен обеспечить правдоподобную и проверяемую оценку технологичности (технологического уровня), притом сопоставимую, что зависит и от единства измерения, и от применяемых показателей, а также от вида самой модели.

В-пятых, определение корреляционных связей между релевантными параметрами, характеризующими уровень технологического развития (технологичность). Например, изучается связь между производительностью труда и цифровизацией или электровооружённостью труда. О возможном «парадоксе производительности», который точнее было бы определить как некую «ловушку эффективности», только в силу роста электрификации, а не цифровизации (компьютеров), писал ещё в 1960-х гг. Я.Б. Кваша⁶. Предположим, что это имманентное свойство многих либо отдельных технологий, когда их внедрение и распространение сопровождается ростом затрат, скрадывая эффект роста производительности. И относиться это явление может не только и не столько к цифровым технологиям, но и другим видам технологий.

Помимо измерений, ещё одна особо важная задача – это получение достоверного прогноза в области технологий, а также формирование технологической политики. В области классической макроэкономической политики не действует принцип «цели – инструменты», демонстрируя ограничение применения тех или иных инструментов, подчинённых достижению конкретных целей и требует «распределённого управления». В отношении технологий, где присутствует не меньшая сложность связей и задач развития, которые детерминируются макроэкономическими условиями, и которые сами являются объектами восприятия тех или иных применяемых инструментов, сохраняется указанный вывод относительно необходимости учёта распределяющегося влияния. Это касается не только инструментов технологической политики, но и иных видов политики,

⁶ См. Кваша, Я.Б. (2003). *Избранные труды. В 3-х Т. Том 1: Методологические основы статистического анализа. Увеличение доли технологической электроэнергии и рост электровооружённости труда не сопровождался равнозначным ростом производительности труда (обнаружен эффект в США)*, с. 330. Наука.

а также условий и результатов, определяемых технологической структурой. Сценарное прогнозирование в технологической области требует качественной постановки задач и таких же решений, сравнительного анализа технологического выбора, без которого оно вряд ли будет успешным во всех случаях (возможны случайные совпадения или очевидные перспективы отдельных научно-технологических направлений и траекторий развития).

На *рисунке 1* показаны функции изменения результатов в зависимости от исходных условий (сценариев развития) и действующего набора инструментов политики. Обратим внимание, что условия $\{X\}$ при применении набора инструментов $\{Z\}$ формируют некую траекторию результатов $R = f(Y)$, (Y – это структура результатов). Если же условия иные, например, $\{A\}$, то, при наборе инструментов $\{C\}$ функция результатов во времени будет $R = h(B)$.

Согласно принципу «цели – инструменты», число инструментов в каждом случае должно быть не меньше числа целей развития, которые можно обозначить как результаты (некое множество результатов), представив обобщённую функцию, отражаемую на *рисунке 1*. На практике, каждый инструмент может воздействовать на совокупность целей развития и давать различные результаты, тем самым демонстрируя эффект «распределённого управления», а не жёсткую привязку к цели либо

результату. Отметим, что различные наборы инструментов, применяемые в разных исходных условиях, могут сформировать такую обобщённую траекторию динамики результатов, что обнаруживается точка E , в которой различные условия и такие же наборы инструментов дают один и тот же результат, а именно агрегат, отражаемый обобщённой функцией R на *рисунке 1*. Получается, что левее точки E наиболее полезны результаты $\{Y\}$, получаемые при условиях $\{X\}$ и наборе инструментов $\{Z\}$, а правее точки E , с позиции результата, ценность имеют условия $\{A\}$ результаты уже $\{B\}$ при структуре инструментов $\{C\}$.

Сценарный подход не позволяет увидеть этого нюанса, как и перехода в точке E от одного сценария к другому, поскольку он исходит из статичности условий, и что ещё важнее – набора применяемых инструментов, что не является правдоподобным. Следует учитывать, что изменение инструментов политики, как и технологического разнообразия и потенциала, должно быть встроено в сценарий как изменяемое условие. Тем самым, при использовании прогнозной модели (например, методе «затраты – выпуск») каждый раз стоит вводить набор условий и привязанных к ним инструментов политики, определяя чувствительность к ним релевантных параметров модели – элементов совокупного спроса и выпуска, которые являются базовыми в рамках

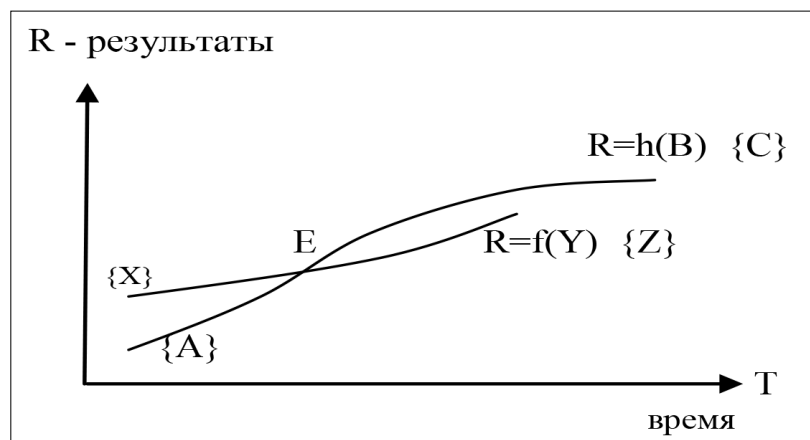


Рисунок 1. Результаты, условия, инструменты влияния

Figure 1. Results, conditions, instruments of influence

Источник: составлено автором

Source: compiled by the author

указанного метода получения прогноза. Это особенно важно при получении оценок в области прогноза технологического развития, поскольку его невозможно дать по изменению затрат (прямых или каких-либо ещё), а также параметрам спроса и предложения. Критерии технологического выбора, а также сам технологический уровень (технологичность) не детерминируются исключительно затратами.

Набор инструментов управления, влияющих на технологии, довольно обширный, разветвлённый, как и технологическая диверсификация, с ростом которой риски могут не уменьшаться, а, наоборот, возрастать⁷. Поэтому выбор в точке E и её непосредственной близости не является предопределённым. Он требует ввода однозначного критерия принятия решения, ошибка по поводу которого может привести к совершенно непредсказуемой динамике затрат и иных показателей. При этом и отсутствие ошибки может также создать вариант динамики, не являющийся показательным для самого осуществлённого выбора. Это свойство выступает ещё одной специфической характеристикой технологического развития и управления им.

Таким образом, различные наборы технологий могут привести экономику как систему к весьма похожим эффектам развития, что затрудняет выделение наилучшей технологической структуры, в частности, в точке E, как это свойственно и для инструментов проводимой политики, структура применения которых во многом отражает влияние технологической структуры на развитие. В реальности ситуация ещё сложнее, поскольку применяемые инструменты влияют не только на результаты, но и на появление технологий, а также на процессы технологического замещения и дополнения. Многое определяется режимом инвестирования развития и управления.

⁷ Этот эффект был показан подробно на оптимизационных моделях в авторской работе «Теория реструктуризации экономики» (2016), когда с ростом диверсификации системы риск мог возрастать, что происходило за счёт соответствующего перераспределения ресурсов между элементами системы, при появлении нового элемента (комбинации). Следовательно, диверсификация (системы или вложений инвестиций) далеко не всегда может рассматриваться в качестве метода понижения риска.

Перенос сценарного прогноза в технологическую сферу, а также применение оценок прямых затрат при измерении технологических сдвигов существенно искажают картину технологических изменений, не позволяя получить релевантную информацию. Более того, помимо измерения в области технологий необходима и качественная оценка процесса, следовательно, анализ содержания технологии и её потенциала развития также важен. Последнее может быть осуществлено при использовании технологии искусственного интеллекта (Wang & Lan, 2007).

Идея, что прогнозы могут быть улучшены за счёт комбинации методов прогнозирования, на наш взгляд, является крайне ограниченной. Например, технологическое замещение не является заданным либо детерминируемым некой прогнозной моделью – его невозможно предсказать, поскольку оно зависит даже от того, происходит процесс по ядру или по периферии, сопровождается ли он неким дополнением или расширением функционала самой технологии. Критерий замещения не единственный, что актуализирует задачу выбора согласно множественному набору критериев. Это аналогично тому, как правительство применяет набор инструментов для перевода системы из одного состояния в другое исходя из начальных условий, задаваемых сценарием. Если же условия изменились в силу применяемых инструментов, либо изменилась сила и набор самих инструментов, то в заданное состояние система может не перейти. Она окажется в ином состоянии, для которого потребуются и иной набор инструментов. Схожая или даже более высокая сложность существует и в технологической области.

Траектория технологического развития в сильной степени зависит от текущего и перспективного потенциала в области технологий (Сухарев, 2025). Таблица 2 содержит общее описание этих двух основных типов технологического потенциала и методов их оценки. Она специально не включает методы экспертной и балловой оценки как наиболее ограниченные, поскольку помимо собственно оценки релевантного параметра требуется взвешивать отдельные его элементы, что не позволяет

Таблица 2. Типы технологического потенциала и методы оценки
Table 2. Types of technological potential and assessment methods

Тип техноло-гического потенциала	Характеристика	Методы (не балловой) оценки
Текущий	Составляет уже состоявшееся применение технологий и техники в сложившемся режиме развития экономики	Методы оценки должны измерять фактическое применение технологий. В частности, в качестве прямого показателя можно брать число внедрённых патентов от общего числа заявок либо зарегистрированных заявок, либо отношение затрат на технологические инновации к добавленной стоимости в данном виде деятельности
Перспективный	Составляет потенциальную возможность применения техники и технологий, не задействованных на момент оценки и анализа	Методы оценки должны измерять возможности, либо их расширение. Так, в качестве одного из возможных показателей можно использовать отношение не внедрённых патентов к общему их числу. Также возможно использовать отношение числа разработанных передовых к уже используемым передовым технологиям (такой учёт уже ведётся Росстатом)

*Источник: составлено автором
 Source: compiled by the author*

преодолеть субъективность (Глазунова, 2024; Сухарев, 2024).

Оба рассматриваемых типа технологического потенциала зависят от уровня развития науки и техники, образования, инженерных школ, а также собственно производства, включая его инфраструктуру и информационные системы. Они во многом детерминируют друг друга, усиливают влияние, обеспечивая определённый уровень технологичности экономической системы. Под технологичностью (технологическим уровнем⁸) понимается системное свойство функционирования объекта в экономике, обеспечивающее увеличение выпуска благ при неизменном объёме ресурсов или сохранение объёма выпуска при снижении затрат ресурсов (базовое условие экономии). Если речь о технологиях воздействия, то свойство экономии проявляется как сокращение затрат времени, в том числе на принятие и реализацию решений, создание наиболее удобных режимов и условий функционирования, что в конечном счёте приводит к указанному базовому условию экономии.

Каждый тип технологического потенциала может определяться для конкретной отрасли, вида деятельности, а также отдельно

рассматриваемого технологического направления, где существуют незадействованные возможности и текущее применение уже внедрённых патентов и технологий. Так же, как агрегация нежелательна для оценки технологического суверенитета в целом, она вряд ли сильно целесообразна в области измерения технологического потенциала и технологического развития (Сухарев, 2024, 2025). Плюсы и минусы агрегатного подхода разбирались подробно в ранних авторских публикациях.

В следующем разделе приведем один из вариантов сравнительной методики, обеспечивающий технологический выбор по параметрам технологий на примере технологии для производства фотоэлектрических преобразователей в микроэлектронике.

Обсуждение результатов. Технологический выбор: метод оценки

Выбор технологии при вытеснении импортной технологии или замене, устаревшей на новую, представляет собой сложный процесс. Обобщая сказанное выше, покажем, как не просто осуществить этот выбор технологии. Анализ обратим к технологии формирования аморфных плёнок диффузантов на кремниевых пластинах для производства фотоэлектрических преобразователей в микроэлектронике. В таблице 3 приведен список применяемых технологий и их примерные (средние) параметры. Далее

⁸ В данном случае оба понятия отождествляются. Технологичность используется как характеристика, а «технологический уровень» – как измерительная и оценочная категория. В целом, их использование связано с удобством применения в анализе.

Таблица 3. Виды технологий формирования аморфных плёнок диффузатов на кремниевых пластинах и их основные характеристики

Table 3. Methods for depositing amorphous dopant films on silicon wafers and their key characteristics⁹

Метод нанесения жидких композиций	Относительные затраты (по сравнению с первым методом)	Средняя минимальная толщина покрытия, мкм	Средний разброс толщины плёнки, +/-%	Средняя производительность, пластин/час
1. Окунание в жидкую композицию	1,00	50,00	62,5	180
2. Газовая форсунка распыления	1,50	40,00	50,0	300
3. Механическое распыление (высокооборотная крыльчатка)	1,75	22,50	40,0	300
4. Центрифуговое (капельное) нанесение (импортная)	1,70	15,00	30,0	240
5. Ультразвуковое (акустическое, газо-акустическое) распыление с естественным осаждением	0,75	3,00	20,0	90
6. Ультразвуковое распыление с электростатическим осаждением в в/в поле	2,50	0,47	10,0	540

Источник: составлено автором
Source: compiled by the author

рассмотрим наиболее характерный пример выбора⁹ технологии.

Позиции 1–4 таблицы 3 представлены газо-механическими способами распыления и нанесение жидких композиций на поверхность с целью получения плёнок. В этих методах применяются закон гравитации, контактного сцепления и сила инерции истечения газа и механическим вращением. Объём наносимого на поверхность вещества не регулируется в силу физики процессов и высокой зависимости от многочисленных иных факторов среды. Пятая технология представляет собой распыление при помощи ультразвука, что даёт высокую дисперсность аэрозоля. Шестая технология генерирует частицы аэрозолей наноразмерной величины, обеспечивая их заряд и тем самым направленное осаждение. Этим достигается самый низкий разброс и толщина слоя (за счёт прижатия пластины и недопущения попадания частиц на оборотную её сторону). Заполнение рельефа наблюдается только у шестой технологии, что отражается в показателях точности и толщины слоя. Данная технология является самой дорогой, но и наиболее производительной (см. таблицу 3).

Первая и вторая технологии могут рассматриваться как отдельные способы воздействия на объект. Третья и четвёртая (таблица 3) технологии имеют общее ядро – это механическое распыление, но периферия представлена для третьей технологии – крыльчаткой, для четвёртой – центрифугой (Сухарев, 2024). Пятая и шестая технологии также имеют общее, но иное ядро – ультразвуковое распыление, а вот периферии различаются: у пятой технологии – гравитационное осаждение под собственным весом, у шестой – электростатическое осаждение.

Обозначим четвёртую технологию как импортную, которую нужно заместить, и рассмотрим метод сравнительного анализа по приведённому списку технологий согласно авторской работе (Сухарев, 2025, с. 122–123), при этом изменяя критерий оценки качества (TS_K) и определяя его следующим образом¹⁰:

$$TS_K = (K_M / K_L)^{1/2} \quad (4),$$

где K_M , K_L – соответственно коэффициенты оценки качества по набору показателей,

⁹ Структура выбора и природа конкуренции и выбора по различным технологическим решениям могут отличаться, но содержание предлагаемого подхода остаётся неизменным, представленным здесь.

¹⁰ В отличие от общего показателя качества технологической системы (суверенитета), приведенного в указанной работе автора, и определяемого как произведение отдельных показателей, каждый из которых означает улучшение качества с ростом параметров (K_M) и улучшение качества с уменьшением параметров (K_L).

увеличение и уменьшение которых будет означать рост качества технологии.

Они определяются согласно работе (Сухарев, 2025, с. 123) формулами (5) и (6):

$$K_M = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M q_{ik} \quad (5),$$

$$K_L = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L q_{ik} \quad (6),$$

где N – это число сравниваемых технологий (при сравнении попарно¹¹ N = 1),

$q_i = S_{oi} / S_{ii}$ представляет собой отношение конкретного параметра, например, отечественной (S_{oi}) к импортной (S_{ii}) технологии, либо новой отечественной к устаревшей технологии.

Учтём, что все параметры означают улучшение при уменьшении значения, за исключением одного – средней производительности (пластин в час) (см. таблицу 3, правый столбец). Рассчитаем критерий попарно по формулам (5), (6), относительно импортной (четвёртой) технологии по трём параметрам, уменьшение которых даёт лучший результат, и отдельно по одному параметру, увеличение которого означает лучший результат (производительность технологии). Далее найдём общий критерий согласно формуле (4) и оценим полученный результат согласно таблице 4 и рисунку 2.

Таблица 4. Рассчитанные коэффициент качества и общий показатель сравнительного качества технологий – TS_K

Table 4. Calculated quality coefficient and overall indicator of comparative quality of technologies – TS_K

Номер технологии по таблице 3	K_L	K_M	K_M/K_L	TS_K
1	2,000	0,750	0,375	0,612
2	1,740	1,250	0,718	0,847
3	1,287	1,250	0,970	0,980
5	0,436	0,375	0,860	0,927
6	0,610	2,250	3,680	1,920

Источник: расчёты по таблице 3 и формулам (4) – (5) относительно технологии № 4 / *Source:* calculations according to table 3 and formulas (4) – (5) relative to technology No. 4

Источник: составлено автором / *Source:* compiled by the author

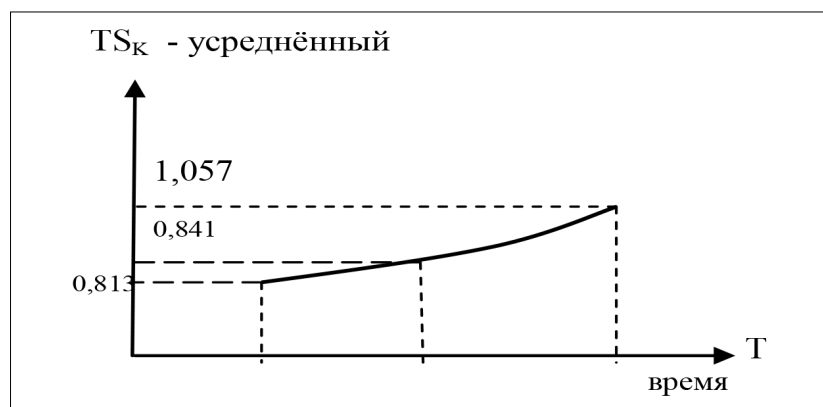


Рисунок 2. Динамика усреднённого показателя качества TS_K для технологий (1–3) (1–3, 5) и (1–3, 5–6) по таблице 3 и 4

Figure 2. Dynamics of the average quality indicator TS_K for technologies (1–3) (1–3, 5) and (1–3, 5–6) according to tables 3 and 4

Источник: составлено автором / *Source:* compiled by the author

¹¹ Каждая из технологий таблицы 3 сравнивается по параметрам импортной технологии – позиции 4 таблицы 3 в первом столбце.

Из таблицы 2 видно, что наилучший результат по параметрам, меньшая величина которых означает лучший исход, среди отечественных технологий имеет шестая технология (таблица 3), однако она является самой дорогой. По параметру, большая величина которого означает лучший исход (производительность), шестая технология также занимает лучшие позиции, что отражается на итоговом показателе TS_K . Импортная технология № 4 в таблице 3 явно превосходит первые три технологии (позиции 1–3, таблица 3), немного уступая по производительности второй и третьей технологиям, но существенно уступая первой технологии по себестоимости. Пятая технология (отечественная) существенно превосходит импортную по себестоимости и другим двум параметрам, но уступает ей почти в 3 раза по производительности. Шестая технология превосходит импортную по всем параметрам, в том числе в 2 раза по производительности и цене (см. таблицу 3).

Если в исходной точке имеются первые три технологии и четвёртая импортная, то она превосходит первые три и значение имеет охват её применения. Показатель качества набора из трёх технологий составляет $TS_K = 0,813$. При добавлении пятой, а затем и шестой технологии, изменится показатель качества, что отражает рисунок 2 – показатель возрастёт за счёт включения более качественных технологий. Если доли охвата остаются статичными, а показатель определяется с поправкой на охват технологии, то его изменение требует учёта изменения охвата, и тогда даже при вводе более совершенной технологии, но с низким её охватом, общий показатель может не расти, а даже и понизиться.

Можно взвешивать показатель качества TS_K по охвату распространения технологии, измеряемому долей от общего числа субъектов сектора или отрасли, технологического направления, где применяются указанные технологии. Пересчёт показателя при улучшении технологии, модернизации ядра или периферии, а также изменение охвата с вытеснением импортной и занятием её места, будут приводить к росту итогового значения показателя. Аналогично коэффициент в числителе

формулы (4): его увеличение означает рост показателя и повышение качества, тогда как уменьшение коэффициента в знаменателе формулы означает улучшение качества и увеличение значения показателя.

Согласно полученному расчёту, вытеснять импортную технологию под номером № 4 (таблица 3) по общему показателю качества (см. таблицу 4) следует за счет технологии № 3 либо № 6 как наиболее совершенной, для которой самым важным ограничителем выступает себестоимость, то есть, – цена применения технологии (инвестиции в её развёртывание), но не пятой, более дешёвой, но и менее производительной.

Отсюда вытекает важный вывод: технологический выбор не является предопределённым, он зависит от множества критериев, конкретной ситуации применения или ожидаемого использования технологии, а также степени связности технологий, числа импортных аналогов и многих других условий функционирования производства, где технологии применяются. Представленный метод является одним из возможных методов оценки технологий. Он обладает сильными преимуществами, так как лишён субъективных оценок экспертов и выставления баллов. Вместе с тем, данный метод имеет и ограничение, поскольку равнозначно подходит к различным параметрам, характеризующим технологию, хотя при выборе может оказаться что для производителя что-то более важно (например, цена или производительность, либо иной технико-технологический параметра), нежели остальные. Вместе с тем, таблицы 3–4 составляют общую карту предпочтений, на которую могут быть наложены добавочные критерии технологического выбора, что составляет самостоятельную задачу в рамках «экономики технологий» как научного направления, способного создавать набор необходимых методик и методов измерения.

Заключение

Подводя итог проведенному исследованию, сформулируем основные результаты.

Во-первых, в статье сформулированы основные принципы научного направления «экономики технологий», определяемые в его

рамках принципы технологического развития, а также подходы к измерению технологического развития и доктрина «двух потенциалов» (текущего и перспективного), на базе которой можно исследовать динамику технологичности (технологического уровня), определяя качество и перспективы оценки технологического суверенитета страны.

Во-вторых, измерение технологического развития и уровня технологичности требует рассмотрения двух потенциалов – текущего и перспективного в области технологий. Кроме того, необходима оценка качества технологий и технологического суверенитета, которая может быть дана на основе предлагаемого метода как в координатах «импортные – отечественные технологии», так и в координатах «новые – старые» технологии.

Таким образом, «экономика технологий» как научное направление исследований имеет собственный исследовательский аппарат, принципы развития, в том числе и открытые им принципы технологический изменений. В рамках этого направления могут и должны создаваться методы измерения и оценки показателей, с помощью которых можно выстраивать анализ и предлагать инструменты экономической и научно-технической политики развития.

Конкурирующие интересы

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The author declares no conflict of interest.

Список источников/ References

1. Анчишкин, А.И. (1986). *Наука, техника, экономика*. Экономика. Anchishkin, A.I. (1986). *Science, technology, economics*. *Economica*. (in Russian)
2. Глазунова, В.В. (2024). Измерение технологического развития и суверенитета. *Экономика науки*, 10(3), 22–33. EDN: PCMQAV, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-3-22-33>
 Glazunova, V.V. (2024). Measuring technological development and sovereignty. *Economics of Science*, 10(3), 22–33. EDN: PCMQAV (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-3-22-33>
3. Глазьев, С.Ю. (2018). *Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах*. Книжный мир. EDN: VQDBYV.
 Glazyev, S.Yu. (2018). *Leap into the Future. Russia in the new technological and world-economic orders*. Knizhny Mir. EDN: VQDBYV (in Russian)
4. Скобелев, Д.О. (2020). Наилучшие доступные технологии: опыт повышения эффективности ресурсной и экологической эффективности производства. АСТ.
 Skobelev, D.O. (2020). *Best available technologies: Experience in improving the efficiency of resource and environmental efficiency of production*. AST (in Russian)
5. Сухарев, О.С. (2024). «Экономика технологий» как направление науки: ретроспектива и перспектива. *Экономика науки*, 10(1), 41–53. EDN: ASECXX, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-1-41-53>
 Sukharev, O.S. (2024). “Economics of technology” as a field of science: Retrospective and prospective aspects. *Economics of Science*, 10(1), 41–53. EDN: ASECXX (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-1-41-53>
6. Сухарев, О.С. (2025). *Научно-технологический потенциал и промышленная политика*. Финансы и статистика.
 Sukharev, O.S. (2025). *Scientific and technological potential and industrial policy*. Finance and Statistics.
7. Acosta, M., Coronado, D., Leyn, M.D., & Moreno, P.J. (2020). The production of academic technological knowledge: An exploration at the research group level. *Journal of Knowledge Economy*, 11, 1003–1025. EDN: HHHOMS, <https://doi.org/10.1007/s13132-019-0586-9>
8. Ahmad, N., Youjin, L., Žiković, S., & Belyaeva, Zh. (2023). The effects of technological innovation on sustainable development and environmental degradation: Evidence from China. *Technology in Society*, 72, 102184. EDN: HDDSEA, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102184>
9. Amann, E. (2002). Globalisation, industrial efficiency and technological sovereignty: Evidence from Brazil. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 42(5), 875–888. EDN: DWVQNR.
10. Barrena-Martínez, J., Cricelli, L., Ferrándiz, E., Greco, M., & Grimaldi, M. (2020). Joint forces: Towards an integration of intellectual capital theory and the open innovation paradigm. *Journal of Business Research*, 112, 261–270. EDN: HMBCOV, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.029>
11. Bassens, D., & Hendrikse, R. (2022). Asserting Europe’s technological sovereignty amid American platform finance: Countering financial sector dependence on Big Tech? *Political Geography*, 97, 102648. EDN: SVNPFM, <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2022.102648>

12. Chaturvedi, T. (2023). How corporate development activities resolve the legitimacy-adaptation dilemma: A case study in technological substitution. *Journal of Business Research*, 164, 113983. EDN: FNEUYH, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113983>
13. Crafts, N. (2005). The First Industrial Revolution: Resolving the Slow Growth/Rapid Industrialization Paradox. *Journal of the European Economic Association*, 3(2–3), 525–534.
14. Edler, J., Blind, K., Kroll, H., & Schubert, T. (2023). Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means. *Research Policy*, 52(6), 104765. EDN: JFINLC, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2023.104765>
15. Erebak, S., & Turgut, T. (2021). Anxiety about the speed of technological development: Effects on job insecurity, time estimation, and automation level preference. *The Journal of High Technology Management Research*, 32(2), 100419. EDN: WKTXLW, <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2021.100419>
16. Eum, W., & Lee, J. – D. (2022). The co-evolution of production and technological capabilities during industrial development. *Structural Change and Economic Dynamics*, 63, 454–469. EDN: EZJKQU, <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2022.07.001>
17. Grimaldi, M., Greco, M., & Cricelli, L. (2021). A framework of intellectual property protection strategies and open innovation. *Journal of Business Research*, 123, 156–164. EDN: RKBHSE, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.043>
18. Jiang, H., Zhao, S., Zhang, S., & Xu, X. (2018). The adaptive mechanism between technology standardization and technology development: An empirical study. *Technological Forecasting and Social Change*, 135, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.015>
19. Lee, Ch., & Yan, J. (2024). Will artificial intelligence make energy cleaner? Evidence of nonlinearity. *Applied Energy*, 363, 123081. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123081>
20. Magistretti, S., Dell’Era, Cl., & Verganti, R. (2020). Searching for the right application: A technology development review and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119879. EDN: XQPLHS, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119879>
21. Mègnigbèto, E. (2018). Correlation between transmission power and some indicators used to measure the knowledge-based economy: Case of six OECD countries. *Journal of Knowledge Economy*, 9, 1168–1183. EDN: JRNNZC, <https://doi.org/10.1007/s13132-016-0408-2>
22. Oppong, G.K., & Pattanayak, J.K. (2019). Does investing in intellectual capital improve productivity? Panel evidence from commercial banks in India. *Borsa Istanbul Review*, 19(3), 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2019.03.001>
23. Ponte, A., Leon, G., & Alvarez, I. (2023). Technological sovereignty of the EU in advanced 5G mobile communications: An empirical approach. *Telecommunications Policy*, 47(1), 102459. EDN: ITPYRG, <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102459>
24. Wang, Ch.-H., & Lin, H.-Ch. (2021). Competitive substitution and technological diffusion for semiconductor foundry firms. *Advanced Engineering Informatics*, 48, 101254. EDN: DGRHHU, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101254>
25. Wang, M.-Y., & Lan, W.-T. (2007). Combined forecast process: Combining scenario analysis with the technological substitution model. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(3), 357–378. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.08.002>
26. Wu, L., & Chen, W. (2023). Technological achievements in regional economic development: An econometrics analysis based on DEA. *Heliyon*, 9(6), e17023. EDN: TDRQJE, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17023>

Информация об авторе

Олег Сергеевич Сухарев – доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник Центра институтов социально-экономического развития Института экономики РАН, профессор кафедры «Теория и методология государственного и муниципального управления» факультета государственного управления МГУ, SPIN-код РИНЦ: 9463–8370, Scopus Author ID: 56736819100, ORCID: 0000-0002-3436-7703 (Российская Федерация, 217418, г. Москва, Нахимовский проспект 32; e-mail: o_sukharev@list.ru www.osukharev.com).

Author

Oleg S. Sukharev – Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher of the Center for Socio-Economic Development Institutes of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Theory and Methodology of State and Municipal Administration, Faculty of Public Administration, Moscow State University, Scopus Author ID: 56736819100, ORCID: 0000-0002-3436-7703 (32, Nakhimovsky pr., Moscow, 217418, Russian Federation; e-mail: o_sukharev@list.ru; www.osukharev.com).

Поступила в редакцию (Received) 20.11.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 13.01.2026

Принята к публикации (Accepted) 11.02.2026

ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ

JEL: O33; O14

УДК: 338.45:621, 311.21

EDN: KBUNPT

Экономика технологий: эффективность, технико-экономические проблемы и особенности автоматизации в машиностроении

А.П. Кузнецов

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, <https://ror.org/00pb8h375>,
Москва, Российская Федерация; e-mail: apk_53@mail.ru

Аннотация. В статье с позиции методологии экономики технологий рассматриваются особенности формирования и обеспечения требуемого уровня автоматизации как машиностроительных производств, так и составляющих их функциональных систем. Выполнен анализ развития уровней автоматизации в парадигме технологических укладов и промышленных революций. Целью настоящего исследования является методологическое изучение и обоснование методов повышения эффективности и уровня автоматизации технологического оборудования, процессов, производств и предприятий. Методология изучения технологий и производств как энергоинформационной системы преобразований даёт возможность проводить обоснование форм и видов автоматизации в машиностроении на технико-экономическом уровне формирования их структур и типов взаимодействия. Приведён анализ содержания и сути показателей уровня автоматизации и методов оценки, представлены и обоснованы предложения по методологии изучения направлений эффективности автоматизации. Обоснованы и приведены примеры соотношений количественных оценок и эффектов изменения производительности и уровней значимости автоматизации для нового вида технологии и изменения составляющих времени технологического процесса.

Ключевые слова: экономика, технологии, машиностроение, автоматизация, эффективность

Информация о финансировании: Исследование выполнено без внешнего финансирования.

Для цитирования: Кузнецов, А.П. (2026). Экономика технологий: эффективность, технико-экономические проблемы и особенности автоматизации в машиностроении. *Экономика науки*, 12(1), 65–85. EDN: KBUNPT

ECONOMICS OF KNOWLEDGE AND TECHNOLOGY

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

JEL: O33; O14

EDN: KBUNPT

Economics of technology: efficiency, technical and economic problems and features of automation in mechanical engineering

A.P. Kuznetsov

Bauman Moscow State Technical University, <https://ror.org/00pb8h375>, Moscow, Russian Federation;
e-mail: apk_53@mail.ru

Abstract. This article examines the development and maintenance of the required level of automation in both mechanical engineering production and the functional systems that comprise them, using the methodology of technology economics. The article analyzes the evolution of automation levels within the paradigm of technological paradigms and industrial revolutions. The purpose of this study is to methodologically examine and substantiate methods for increasing the efficiency and level of automation of technological equipment, processes, production facilities, and enterprises. The methodology for studying technologies and production facilities as an energy-

information system of transformations makes it possible to substantiate the forms and types of automation in mechanical engineering at the technical and economic level of their structure and interaction types. The article analyzes the content and essence of automation level indicators and assessment methods, and presents and substantiates proposals for a methodology for studying automation efficiency trends. Examples of the relationships between quantitative assessments and the effects of productivity changes and automation significance levels for a new type of technology and changes in process time components are substantiated and provided.

Key words: economics, technology, mechanical engineering, automation, efficiency

Funding: This research received no external funding.

For citation: Kuznetsov, A.P. (2026). Economics of technology: efficiency, technical and economic problems and features of automation in mechanical engineering. *Economics of Science*, 12(1), 65–85. EDN: KBUHPT

ВВЕДЕНИЕ

В современной экономической истории можно выделить пять последовательно сменяющихся друг друга длинных волн, называемых обычно по соответствующим им ключевым технологиям (Глазьев, 2012, с. 28; Глазьев, 2016, с. 21). В процессе экономической эволюции научно-технический прогресс, вклад которого в прирост ВВП передовых стран достигает 90%, обеспечивает поступательное развитие производительных сил и последовательный рост производительности труда и эффективности производства.

Учитывая большое количество видового разнообразия производимых изделий и их постоянный рост, в работе (Глазьев & Косакян, 2024, с. 15) особо указывается, что за разными продуктовыми позициями могут скрываться одни и те же технологии в разнообразных пропорциях и условиях применения.

В концепции сформулированного научного направления «экономика технологий» (Сухарев, 2024) отмечается, что в рамках анализа закономерностей научно-технологического развития на уровне микро- и мезоэкономических исследований и оценок необходимо разрабатывать методы достижения эффективности и производительности как на уровне отдельных технологий, так и на уровне предприятий или отраслей, что даёт возможность учёта их технологической специфики и особенностей, а на макроэкономическом уровне – анализа технологического развития на основе методов технологических укладов (Сухарев, 2025).

Технология представляет собой «обусловленные состоянием знаний и общественной эффективностью способы достижения целей, поставленных обществом» (Лем, 1968, с. 23).

А характеристика организационно-технологического принципа объединения сущностей позволила классифицировать этапы развития промышленного производства в виде наименований 1-й, 2-й, 3-й и 4-й промышленных революций (Шваб, 2016).

На всех этапах своего развития человечество стремилось создать орудия и механизмы, облегчающие труд. Станок – это машина, в которой полностью механизированы энергетические процессы и не полностью – информационные. Чтобы его превратить в автомат, надо дополнительно механизировать измерение изделия и механизировать процесс сравнения его фактических размеров с заданными. Иными словами, необходимо полностью механизировать все участки системы управления, включая участок, на котором происходят сбор и обработка информации непосредственно в процессе работы системы (Кобринский, 1967).

Автоматизация рассматривается как время, которое занимают функции человека в процессе производства. Автоматизация не является новой тенденцией, а представляет собой стремление избавиться от рутинного труда и занимает умы человечества, наверное, столько, сколько существуют потребности людей.

Приведем ряд дефиниций понятия «автомат» и автоматизация, определяющих саму логику их значения:

- «Автоматизированной машиной или машиной-автоматом мы называем машину, в которой механизированы также и операции управления» (Артоболевский, 1949);
- «Автомат – агрегат, представляющий собой систему механизмов и устройств

(электронных, электрических, пневматических, гидравлических), в которой полностью механизированы, то есть выполняются без непосредственного участия человека, процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации» – введен в 1962 г. академиком И.И. Артоболовским и профессором А.Е. Кобринским (Корендяев и др., 2006);

- «Автоматами» называются станки, осуществляющие обработку деталей с полностью автоматизированным циклом, для повторения которого не требуется вмешательство человека» (Богуславский, 1961);
- «Автоматизация есть совокупность мероприятий по разработке технологических процессов и созданию высокопроизводительных автоматически действующих средств производства, обеспечивающих непрерывный рост производительности труда на основе осуществления производственных

процессов без непосредственного участия человека» (Шаумян, 1961).

Наибольшая степень автоматизации в настоящее время достигается на автоматических линиях массового производства, а также в гибких производственных системах. Эти системы были разработаны для автоматического изготовления ряда различных деталей в рамках определенных семейств деталей, что является существенным ограничением для всеобъемлющей автоматизации и особенно в машиностроении.

В таком контексте изучения предлагаются градации этапов автоматизации (рисунк 1) для обеспечения потребностей, и достижения наивысших значений показателей с наилучшей эффективностью и производительностью, а уровень и степень автоматизации последовательно проходят этапы освобождения и/или дополнения функций к участию человека. Закономерности изменения, достигаемого удельного нормируемого уровня физических значений энергии (Э), материалов и скорости достижения из требуемых свойств (М),

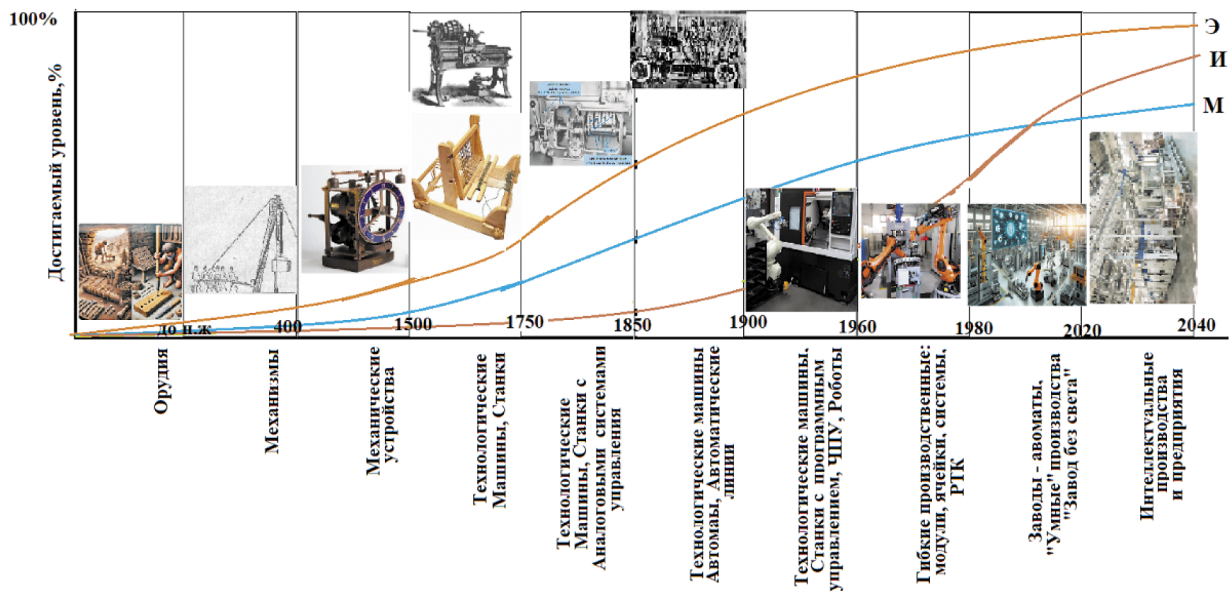


Рисунок 1. Этапы автоматизации и достигаемый уровень эффективности процессов трансформации энергии (Э), скорости изменения свойств преобразуемого материала (М), информации в процессах производства (И)

Figure 1. Stages of automation and the achieved level of efficiency of the processes of transformation of energy (E), rate of change of the properties of the converted material (M), information in production processes (I)

Источник: разработано автором
 Source: developed by the author

информации в управлении процессами и производств (И) приведены в работах (Кузнецов, 2024; Кузнецов, 2025a).

Из этого следует, что функции, которые выполняет человек, являются неотъемлемой частью производственной системы и в течение её развития переходят от самых простых функциональных видов воздействия, контроля и управления до максимально полного освобождения человека от этих функций.

Целью настоящего исследования является обоснование методов достижения эффективности и уровня автоматизации технологического оборудования, процессов, производств и предприятий. Для достижения поставленной цели разработана методология изучения технологий и производств как энергоинформационной системы преобразований, что даёт возможность проводить обоснование форм и видов автоматизации в машиностроении на технико-экономическом уровне формирования и особенностей их структур и типов взаимодействия.

Технико-экономические проблемы автоматизации

Важным аспектом в направлениях повышения производительности труда является осознание того, что, как указывал К. Маркс, не «...всякое вообще изменение в процессе труда, сокращающее рабочее время, общественно необходимое для производства данного товара, так что меньшее количество труда приобретает способность произвести большее количество потребительной стоимости» (Маркс & Энгельс, 1960, с. 325).

В 2025 г. Международная организация труда (МОТ) опубликовала статистические данные¹ о производительности труда, измеряемой как объём производства на единицу затраченного труда и выражаемой в ВВП на одного занятого или на один отработанный час, позволяющие оценивать уровень производительности труда в разных странах, в том числе в России. По этому показателю Россия заметно отстает от большинства развитых государств, а в рейтинге

производительности труда МОТ Россия находится в конце пятого десятка стран-участниц. Производительность труда в России сейчас оценивается в пять-шесть раз ниже, чем в Германии или США, в которых высока степень роботизации производства.

Показатель производительности труда определяется не только уровнем автоматизации, так как эффективность автоматизации не тождественна уровню автоматизации и требует соответствующей оценки и методов. Иначе можно прийти к *парадоксальному выводу* – *производительность труда* в виде объёма продукции на одного работающего на максимально автоматизированных предприятиях, например, на заводах-автоматах или «заводах без света» (на которых люди отсутствуют) *должна составлять бесконечно большую величину*. В этом и состоит «парадокс» *автоматизации*, так как элементы автоматизации – это не только роботы и иные подобные организационно-технико-технологические составляющие, которые освобождают человека от многих функций в процессе производства продукции. Экономические аспекты «парадокса» автоматизации и роста производительности и, в частности, такого показателя, как полная факторная производительность (англ. – total factor productivity) рассматривались в работе М.В. Дубовик и С.Г. Дмитриева (Дубовик & Дмитриев, 2023).

По данным Росстата, в 2024 г. объём выпуска машиностроительной продукции превысил 17 трлн. руб. (объём ВВП – 201 трлн. руб.), при работающих 439 тыс. чел. – абсолютный рекорд за последние 30 лет².

Важнейшими машиностроительными отраслями промышленности являются: авиационная, судостроение, автомобилестроение, железнодорожное машиностроение, оборонно-промышленная, ракетно-космическая, энергетическое машиностроение, сельскохозяйственное машиностроение, двигателестроение, нефтегазовое машиностроение, химическое, станкостроение, приборостроение и электротехническая, подшипниковая и оптико-механическая.

¹ Международная организация труда (2025). <https://ilostat.ilo.org/topics/labour-productivity/> (дата обращения: 15.01.2026).

² Промышленное производство в России. (2025). Росстат. <https://www.rosstat.gov.ru/folder/210/document/13225> (дата обращения: 15.01.2026).

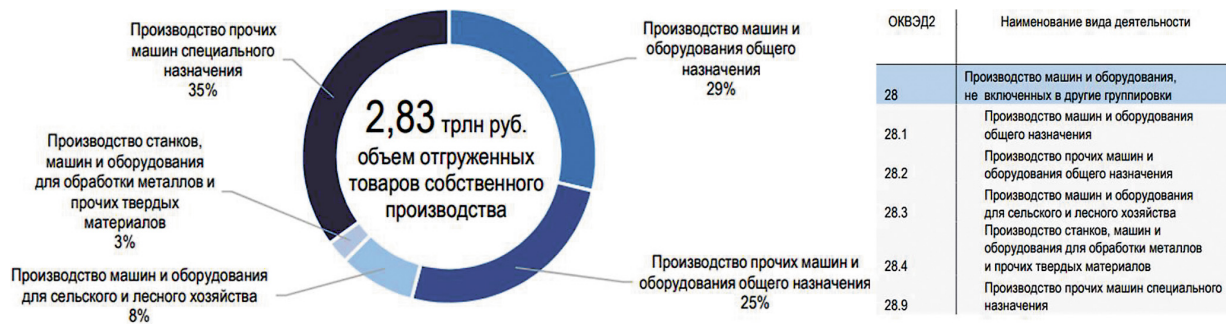


Рисунок 2. Долевые соотношения долей производства машин и оборудования
Figure 2. Share ratios of production shares of machinery and equipment

Источник: (Лола и др., 2025)
Source: (Lola et al., 2025)

Производство машин и оборудования, по данным Росстата³, в 2024 г. составило 3,084 трлн. руб. При этом фундаментом развития всех машиностроительных отраслей является станкостроение, объём производства которого в 2024 г. составил 101,8 млрд. руб. (работающих – 42 тыс. чел., из них в производстве металлообрабатывающих станков – 9,2 тыс. чел.), из которых 54,7 млрд. руб. приходится на долю металлообрабатывающих станков (работающих – 9,2 тыс. чел.). Только около 40 предприятий и организаций специализируются на производстве станков, машин и оборудования для обработки металлов и других твердых материалов из числа организаций, специализирующихся на производстве машин и оборудования, не включённых в другие группировки. Повышение суверенитета и научно-технического уровня предприятий машиностроительного комплекса – одно из ключевых направлений их деятельности. Вклад машиностроительных отраслей в соответствии с ОКВЭД2 и их долевые соотношения приведены на рисунке 2.

Современные машиностроительные производства, виды которых приведены выше, используют в своих организационно-технологических частях производства предприятия, созданные и в основном серийно выпускающие станки и технологическое оборудование (частично специализированные или специальные), конструктивные и типовые

ряды которых в настоящее время реализуют технологии, их принципы и методы, отраженные в классификациях (таблица 1), и формируются с учетом требований потребителей. Это также обеспечивает множество вариантов их структурно-организационного построения, сформированных разными факторами управления в виде комплексов, систем с различной долей человеческого функционала. При этом, как следует из данных рисунка 2, доля таких машин и оборудования составляет около 3% общего производства машин и оборудования или 0,05% ВВП России (лучшие показатели: Япония – 0,33% ВВП, Германия – 0,27% ВВП, Китай – 0,15% ВВП) (Кузнецов, 2025b).

Приведенные данные о скорости изменения технико-технологических характеристик обуславливают необходимость достаточно высокой скорости замены оборудования, которое технически, технологически и морально устаревает и снижает, в том числе, конкурентоспособность, что напрямую определяет технико-экономические показатели производств и, в первую очередь, их производительность и эффективность. В качестве примера приведём динамику частоты замены оборудования в 1950–2020 гг. (рисунк 3).

Приходится констатировать, что в СССР коэффициент обновления фондов машиностроительных предприятий в 70-х гг. составлял 12,7%, в 1985 г. он снизился до 6,6%, а к 1998 г. – до 0,4%. Несмотря на то, что позднее отмечался рост темпов обновления, достичь значений времён СССР отрасли пока не удалось.

³ Промышленное производство в России. (2025). Росстат. <https://www.rosstat.gov.ru/folder/210/document/13225> (дата обращения: 15.01.2026).

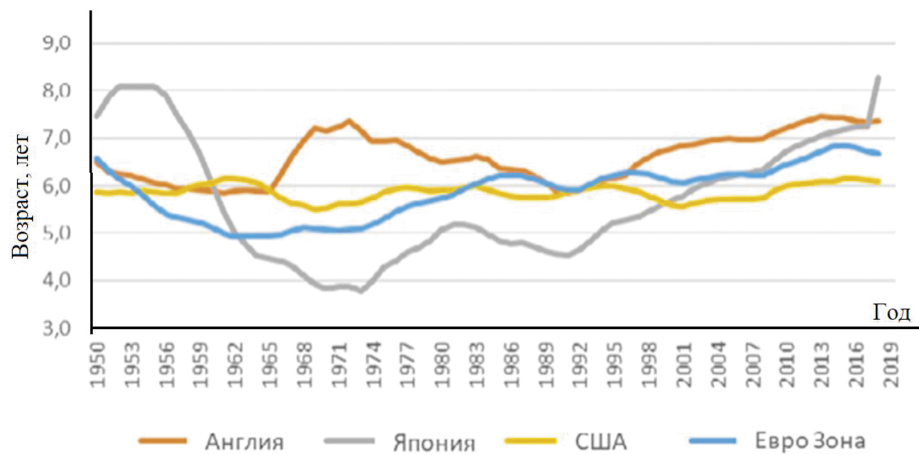


Рисунок 3. Средний возраст основных средств производства
Figure 3. Average age of productive assets

Источник: (Попов, 2021)
Source: (Popov, 2021)

Кроме направления автоматизации, создание технологий на новых физических принципах и совершенствование существующих до уровня максимально достижимых физических пределов (Кузнецов, 2024) для повышения производительности являются одной из существенно значимых задач. Развитие знаний о процессах, технологиях, методах трансформации материалов, энергии и информации, как отмечалось, базируется в настоящее время на созданных классификациях (таблица 1) и закономерностях формирования технологий и методов, реализуемых всеми машиностроительными предприятиями в разных пропорциях и объёмах применения, что определяется факторами объекта производства и иными составляющими.

Это позволяет судить о множестве возможных вариантов построения производственных систем (Кузнецов, 2024) и, следовательно, возникают задачи не только их выбора, но и оценки показателей производительности и эффективности для принятия оптимальных или рациональных решений в области создания, модернизации, развития и исследований.

Методология. Особенности автоматизации и методов их оценки

Автоматизация может дать необходимый эффект только тогда, когда основные производственные процессы и технические системы

проектируются с учетом требований автоматизации. Таким образом, одной из существующих задач является разработка методов оценки и обоснования направлений комплексной автоматизации производства, систематизация и обобщение которых приведены в таблице 2.

Эффективность автоматизации обусловлена несколькими источниками. Одним из них является увеличение производительности самого оборудования, так как известно, что наибольший эффект получается при переходе к новому высокопроизводительному технологическому процессу, но и при автоматизации на существующей базе оборудования может увеличивать производительность на 1–5%, иногда и больше. Вторым источником эффективности является экономия материалов и энергии. Третьим комплексным источником эффективности является уменьшение «неупорядоченности» производства за счет движения информации о ходе производственного процесса и ее использования для управления.

Не существует простого и однозначного способа сделать автоматизацию ориентированной на человека, применимой во всех областях и видах работ. Различные процессы и области производств по-разному расставляют приоритеты в отношении гибкости, скорости и других характеристик, что требует особого внимания к выбору подходящего типа автоматизации.

Таблица 1. Характеристики и принципы классификация технологий и технологических процессов
Table 1. Characteristics and principles of classification of technologies and technological processes

Классификация	Принцип классификации	Критерий классификации
Стандарт. DIN8580 Производственные процессы. Термины и классификация. (Германия), 1963,1974,1985,2003,2020,2022 гг.	6 групп процессов (154 технологии или метода) обработки: – первичное формообразование (27 методов); – пластическое формообразование (20 методов); – отделение материала (39 методов); – соединение (31 метод); – нанесение покрытий и финишная обработка (19 методов); – изменение свойств материала (18 методов).	Формообразование Изменение свойства материалов
Де Гармо (E. Paul DeGarmo, J T. Black, Ronald A. Kohser), (США), 1984 г.	7 групп процессов (технологий) обработки: – литье или прессование; – формоизменение или резка; – обработка (удаление материала); – термообработка; – финишная обработка; – сборка; – контроль.	Литье Формоизменение Свойства материала
Тодд (Todd R.H., Allen K., Altling L.), (США), 1993 г.	6 групп процессов формообразования: – уменьшение массы; – тепловое уменьшение массы; – химическое уменьшение массы; – сохранение массы; – объединение; – соединение. 4 группы процессов обработки поверхности: – упрочнение; – размягчение; – подготовка поверхности; – нанесение покрытий.	Форма: Изменяется; Не меняется.
Национальный исследовательский совет NRC, (США), 1995 г.	5 групп физических процессов: – изменения массы; – фазовых изменений; – структурных изменений; – деформирования; – объединения.	Физическое изменение
Эшби М.Ф. (M.F. Ashby), (Великобритания), 2005 г.	4 группы процессов (технологий) обработки: – процессы первичного формообразования; – процессы вторичного формообразования; – соединение; – финишная обработка.	Последовательность процессов преобразования материала
Калпакян (Kalpakjian S, Schmid S.R.), (США), 2009 г.	6 группы процессов (технологий) обработки: – литье – формование и формообразование – обработка (механическая) – соединение – отделка – микро- и нанообработка	Первичные и вторичные процессы
Кузнецов А.П. (Kuznetsov A.P.), (Россия), 2015 г.; Кузнецов А.П., Кориат Г-И. (Kuznetsov A.P., Koriath H.-J.), (Россия, Германия), 2018 г.	Физические явления, эффекты, процессы, структура взаимодействий видов и форм материи, энергии и информации: – Классы (группы) технологий – 8; – Виды возможных технологических процессов (методов) – 142980.	Изменения массы, размеров, формы, объема свойств, структуры и состояний материалов

Источник: разработано автором
 Source: developed by the author

Таблица 2. Методы оценки производительности труда и технико-экономических показателей автоматизации**Table 2.** The methods for assessing labor productivity and technical and economic indicators of automation

Автор, год	Функция, зависимость	Параметры
Кобб Ч., Дуглас П., 1928 г.	$Y = A \cdot K^\alpha \cdot L^\beta$	Y – Объем выпуска; K – Количество капитала; L – Количество труда; A – коэффициент пропорциональности; α, β – Показатели степени ($\alpha + \beta = 1$)
Шаумян Г.А., 1967 г., 1973 г.	$A = \frac{W}{T} = \frac{Q_e \cdot N}{T}$; $A = \frac{Q_e \cdot N}{T} = \frac{Q_e \cdot N}{T_p + N(T_h + T_v)}$; $A_h = \frac{Q_e}{T_h}$; $A = A_h \cdot \frac{1}{(k/N) + m + 1}$; $T = T_p + N \cdot (T_h + T_v) =$ $= T_h \cdot [\frac{T_p}{T_h} + N \cdot (\frac{T_v}{T_h} + 1)] =$ $= T_h \cdot [k + N \cdot (m + 1)]$	$A[\frac{шт.}{чел. \cdot час}, [\frac{шт.}{руб.}], [\frac{руб.}{руб.}]$ – Производительность труда; Q_e – Годовой объем выпуска; A_h – Производительность живого труда; $k = T_p / T_h$ – Коэффициент технической вооруженности живого труда; $m = T_v / T_h$ – Коэффициент энергоматериалоёмкость живого труда; W – Годовой выпуск за срок службы; N – Срок службы техники; T – Суммарные трудовые затраты для выпуска продукции; T_p – Единовременные затраты для выпуска продукции (машин, оборудование, сооружения ...); T_h – Затраты живого труда (рабочая сила); T_v – Затраты прошлого труда (предметы труда: материалы, инструменты, энергия...)
Трапезников В.А., 1971 г., 1983 г.	$b = a \cdot \sqrt{Y \cdot \Phi}$	b – Производительность труда (выработка, руб./чел.); Φ – Фондовооруженность, руб./чел.; Y – Уровень знаний, руб./чел.; a – коэффициент
Кохно Н.П., 1998 г.	$\Pi = \frac{Q}{T}; Y = \frac{Q}{T_{жс}} \cdot \frac{Q}{T_n}$; $Q = (\sqrt{\frac{Q}{T_{жс}} \cdot \frac{Q}{T_n}}) \cdot \sqrt{T_{жс} \cdot T_n} =$ $= \sqrt{Y} \cdot \sqrt{T_{жс} \cdot T_n} = Y^{0,5} \cdot T_{жс}^{0,5} \cdot T_n^{0,5}$	Π – Производительность труда; Q – Выпуск продукции T – Затраты (издержки) труда; $T_{жс}$ – Объемные, на весь выпуск Q , издержки живого труда; T_n – Объемные, на весь выпуск Q , издержки прошлого труда; Y – Уровень технологии равен произведению производительностей живого и прошлого труда.
Денисов И.В., 2008 г.	$MFP = \frac{VA}{C} = \frac{VA}{t \cdot (W \cdot n + D)}$	MFP – многофакторная производительность; VA – Добавленная стоимость; C – Совокупные издержки (затраты) на ед. продукции; t – Кол-во ед. времени на ед. продукции; W – Зарплата в час; n – количество работников, необходимых для изготовления продукции; D – Величина стоимости потребления основного капитала, переносимого на единицу продукции в час (амортизация);
Методика Минэкономразвития России, Приказ от 18.12.2018 г. № 748	$ПТ = ДС/Числ$	$ПТ$ – Производительность труда; $ДС$ – Добавленная стоимость; $Числ$ – Численность
Nakajima S., 1980 г.; ГОСТ Р ИСО 22400 «Системы промышленной автоматизации и интеграция».	Показатели 4-х категорий: – управление производственными операциями; – управление операциями технического обслуживания;	– Параметрами являются показатели времени в моделях взаимосвязи процессов и операций. – Производительность: показатели, выражаемые через объем произведенной в рамках заказа продукции и фактическое время его выполнения; – Производительность работника;

Автор, год	Функция, зависимость	Параметры
Ключевые технико-экономические показатели (KPI) для управления производственными операциями. Часть 1. Общие положения, понятия и терминология. Часть 2. Определения и описания», 2014 г., 2019 г.	<ul style="list-style-type: none"> – управление качеством; – управление операциями с товарно-материальными запасами. <p>Типы показателей:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Использование (utilization); – Производительность (efficiency); – Эффективность (effectiveness); <p>Состоят из 36 показателей, в том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Производительность работника; – Производительность; – ОЕЕ-индекс = Эксплуатационная готовность * Показатель эффективности деятельности * Коэффициент готовой продукции 	<p>характеризует взаимосвязь между фактическим временем работы персонала, связанным с производственными заказами, и фактическим временем нахождения персонала на рабочем месте;</p> <ul style="list-style-type: none"> – ОЕЕ-индекс характеризует показатели эксплуатационной готовности (доступности) рабочей операции, эффективности рабочей операции и коэффициента качества, которые объединены в единый показатель; – Эффективность – выражаемое в виде планового времени работы на единицу продукции, умноженного на объем произведенной продукции и деленного на фактическое время производства; – Техническая эффективность рабочей операции – это соотношение между фактическим временем производства и суммой фактического времени производства и фактического времени его задержки

*Источник: разработана автором
Source: developed by the author*

В области определения уровней автоматизации проведено множество исследований, рассматривающих различные аспекты. Так в работе (Frohм, Stahre, Winroth, 2008) приведена методология, фактически являющаяся во многом качественной оценкой уровня автоматизации (Level of automation, LoA) на основе сущности в заданной шкале, содержащей признак автоматизации на каждом из представленных 7 уровней (рисунки 4). Уровни рассматриваются как система координат (или матрица) уровней механизации и информационного (когнитивного) уровня участия человека. Данный принцип исходит из общепонятного определения автоматизации – как роли и участия человека в процессе производства. Методы анализа и обобщение шкалирования уровня автоматизации производств приведены в работе Ю.Б. Кузьмина (Кузьмин, 2020).

Кроме этого, в отечественной практике известны следующие научно-методические работы и документы, устанавливающие подходы к оценке степени и уровня автоматизации производств:

- Методические указания, утвержденные ГКНТ 07.08.1985 г. № 425, в которых приведена классификация машин, состоящая из 8 видов (уровней), основанная на замещаемых машинами рабочих функций на каждом уровне;

- ГОСТ 23501.108–85, устанавливающий оценку и обоснование уровня автоматизации цифровых информационных автоматизированных систем проектирования и управления, где указаны три уровня автоматизации и производительности;
- ГОСТ 23004–78, в котором установлены 10 ступеней и 10 категорий автоматизации технологических процессов в соответствии с ГОСТ 14.309–74.

Всё вышеприведенное указывает на различие терминологии, а следовательно, на различия в понимании и применении параметров и характеристик для анализа и оценок самого термина автоматизация и её различных сущностей, за исключением концептуального образа.

В отечественных и зарубежных работах таких учёных, как Г.А. Шаумян, И.И. Артоболевский, С.И. Артоболевский, Б.Л. Богуславский, В.Л. Кошкин, Л.И. Волчкевич, А.И. Дашенко, Ю.М. Соломенцев, J. Bright, G.H. Amber, P.S. Amber, T.B. Sheridan, M.R. Endsley, H. Kern, M. Schumann, R. Parasuraman, M.P. Groover, C. Duncheon, A. Fasth, J. Frohm, начиная с 1928 по 2025 гг., приведены исследования вопросов автоматизации как технических и технологических машин, производственных систем (таблица 2), так и вопросы экономических проблем автоматизации. Однако вопросы развития

Уровень автоматизации	Механика и оборудование	Информация и управление
1	Полностью ручной – инструменты не применяются, только мышечная сила работника	Полностью ручной – Пользователь формирует собственное понимание ситуации и разрабатывает план действий, опираясь на свой предыдущий опыт
2	Стационарный ручной инструмент – ручная работа с применением ручного стационарного инструмента. Например, отвертка	Принятие решения – пользователь получает информацию о том, что нужно сделать или о том как выполнить задание. Например заказ, производственное задание
3	Гибкий ручной инструмент – ручная работа с использованием гибкого инструмента. Например, разводной ключ	Обучение – исполнитель получает инструкцию о том, как можно выполнить задание. Например, руководство, инструкция
4	Автоматизированный ручной инструмент – Ручная работа с автоматизированным инструментом. Например, гидравлический болтоверт	Вопросы и уточнения – технологические вопросы выполнения, если они отклоняются от того, что принято технологически выполнимым. Например, контроль, проверка (верификация) перед исполнением
5	Стационарный станок / рабочая станция – Автоматическая работа станка, предназначенного для решения определенной задачи. Например, токарный станок	Наблюдение (надзор) – технология информирует пользователя о проблеме и обеспечивает, направляет на выполнение задачи. Например сигнал тревоги
6	Гибкий станок / рабочая станция – автоматизированная работа станка, который может перестраиваться на выполнение другого задания. Например, станок с ЧПУ	Вмешательство – технология берет на себя управление и корректирует выполнение действий, если процесс технологический отклонится от допустимого требования. Например, термостатирование
7	Полностью автоматический – полностью автоматическая работа. Машина самостоятельно решает все возникающие отклонения и проблемы. Например, автономные системы	Полная автоматизация – вся информация и управление выполняются технологией. Пользователь никогда не участвует в процессе. Например, автономные (самоуправляемые) системы

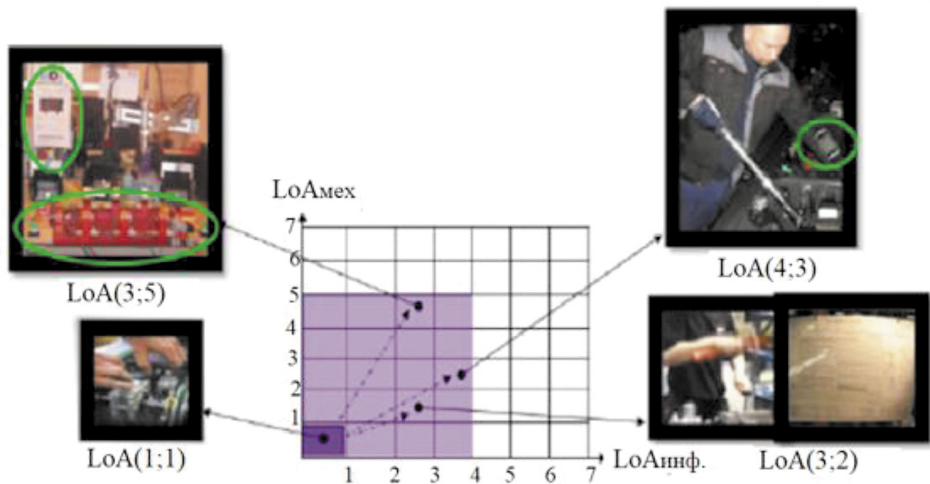


Рисунок 4. Шкала и матрица уровней автоматизации производственных систем
Figure 4. Scale and matrix of automation levels of production systems

Источник: (Frohm и др., 2008)
Source: (Frohm et al., 2008)

указанных работ автоматизации на современном этапе информационного и цифрового развития (см. рисунок 1) требуют осмысления и научного обоснования, хотя имеющиеся производственные решения не всегда имеют научное технико-экономическое обоснование, а скорее являются интуитивными, технически грамотными реализованными решения, требующими последующего осмысления.

Таким образом, оценка уровня автоматизации технологий, технологического оборудования, производств и предприятий всё еще требует научно-методологического обоснования не только количественной оценки, но и обоснованного развития возможностей более глубокой аналитической оценки рассмотрения проблем автоматизации.

Принципы оценки эффективности уровней автоматизации

Применительно к «энергоинформационной технико-технологической» схеме концепции технологий, оборудования и производственной системы определим её как совокупность (множество), принцип организации которой основан на ресурсопреобразующих операциях (трансформация, преобразование и передача с учетом физических законов сохранения), функционально независимых частей (подсистем, элементов), обеспечивающих полезный эффект от её поведения в течение требуемого периода времени (Кузнецов, 2025а).

Для оценки эффективности уровней автоматизации показатели могут быть абсолютными и/или относительными величинами, полученными путём вычитания или деления их абсолютных значений, измеренных или рассчитанных соподчиненных величин. В соответствии с нормативными документами, ГОСТ серии «Номенклатура показателей...», а также (Ткачева & Кузнецов, 1984; Кузнецов и др., 1987; Кузнецов, 2015а, 2020, 2025а) и ГОСТ 72338–2025 в настоящем исследовании рассматриваются показатели: *точность (качество)*, *производительность*, *эффективность*, *ресурсоэффективность* и *их производные*.

Единство феноменологических законов и методов (Кузнецов, 2015b; Putz et al., 2019; Кузнецов, 2025а), описывающих процессы трансформации, преобразования, передачи различных форм и видов энергии, материалов, вещества и информации, определяется и обуславливается их независимостью от структуры, конструкции, компоновки, технического и технологического исполнения любого технологического оборудования и производственных систем. Такая модель как система содержит *начальные условия*, задаваемые величиной энергоинформационных потоков физических процессов, и *граничные условия*, которые определяются и зависят от достигаемых фактических и реализуемых значений параметров на пути преобразования этих потоков.

Отношение объемов (мощностей, энергии, материала, информации, времени, средств, затрат, стоимостей и т.п.) на выходе и на входе

технологических процессов, оборудования и систем является естественной и объективной оценкой их эффективности:

$$E_e = E_j / E_i = E_{out} / E_{inp} = E^f / E^r, \quad (1)$$

или для нескольких форм и видов ресурса: $E_e = \sum E_j / \sum E_i$, где числитель характеризует во всех случаях использование любого ресурса, и определяет его идеальное, обусловленное применяемым физическим процессом или явлением E^f , полезное (номинальное, идеальное, теоретически требуемое, достижимое или возможное) максимальное значение этого ресурса, обусловленное и определяемое применяемым физическим процессом или явлением в реализуемых ими технологии, технологическом процессе, оборудовании или производственной системе, а знаменатель E^r характеризует реальное значение, действительно (фактически) используемое технологическим процессом, технологической машиной или производственной системой ресурса. Данный подход позволяет рассматривать понятие и показатель «*эффективность*» E_e – как относительный коэффициент полезного действия (КПД) совокупности всех видов ресурсов, механизмов, структур, устройств и систем. По сути, это аналогично тому, как и для любого КПД системы, общий КПД всей системы равен произведению её компонентов $\prod_{k=1}^n (E_e)_k$ и не зависит от их природы и самого КПД – показателя эффективности. Иными словами, аналогично тому, как событие отображения элементов множеств материала, энергии и информации и вероятность их свершения являются независимыми, а вероятность их свершений равна произведению вероятностей, что следует и постулируется теорией вероятностей – вероятность совместного появления независимых событий равна произведению вероятностей этих событий. В теории вероятностей случайные события называются независимыми, если наступление одного из них не изменяет вероятность наступления другого.

Следовательно, общий или интегральный показатель эффективности любой технологической или производственной системы – ресурсоэффективность E_{re} будет равен произведению эффективностей использования системой вещества

(материала) – E_e^m , энергии – E_e^e и информации – E_e^i , то есть аналогично определению вероятности независимых событий:

$$E_{re} = E_e^e \cdot E_e^m \cdot E_e^i. \quad (2)$$

Каждую составляющую числителя и знаменателя выражения (2) – показателя ресурсоэффективности E_{re} – можно представить состоящей из показателя E_{us}^f – физического процесса применения (теоретически необходимый (полезный) ресурс), требуемый для физического процесса и других, связанных с ним процессов, в том числе и иной физической природы, обеспечивающих выполнение физического процесса) и показателя E_{ch}^f – другого физического процесса обеспечения и/или пространственно-временного (кинематического) изменения положения/состояния физического процесса применения (теоретически необходимый ресурс, требуемый для изменения положения/состояния в пространстве вектора физического процесса – вектора обобщенной силы). Знаменатель также содержательно и понятийно аналогичных составляющих $(E_{us}^f)^r$, $(E_{ch}^f)^r$ – как реальных, фактических значений применения и обеспечения при реализации технологий, оборудования, машин и систем. Тогда выражение (2) запишется в виде:

$$E_{re} = \left[\frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_e^e \cdot \left[\frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_e^m \cdot \left[\frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_e^i. \quad (3)$$

Таким образом, учитывая вышесказанное, предложен метод и приведено описание способа оценки ресурсоэффективности (или в общем виде эффективности) технологий, оборудования, производственных систем и предприятий, как энергоинформационного процесса получения объекта (детали, изделия, продукта) на основе отображения (преобразования, передачи) элементов множества материи (вещества, материалов), энергии и информации в их образы.

В свою очередь, каждый из составляющих множителей в (3) может быть преобразован и записан:

$$U_e = \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} = \frac{E_{us}^f}{(E_{us}^f)^r} \cdot \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{E_{us}^f} \cdot \frac{(E_{us}^f)^r}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} = U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr}, \quad (4)$$

где U_{us}^{fr} – характеризует эффективность ресурса физического процесса применения;

U_{us}^{fch} – характеризует эффективность использования физических ресурсов для процесса его применения;

U_{usch}^{fr} – характеризует реальную эффективность ресурса физического процесса применения.

Выражение эффективности технологий, оборудования, производств в данном виде (4) является достаточно универсальным методом оценки.

Потери ресурсов при переходе из одной формы k в другую форму n состоят из внутренних потерь $\delta E_{k,k}$ и $\delta E_{k,n}$ потерь перехода (диссипации). Потери ресурсов происходят при преобразовании одной формы k в другую форму n , а также при передаче одной формы k в другую форму n . Тогда можно записать общее выражение потерь ресурсов:

$$\Delta E_{k,n} = \delta E_{k,k} + \delta E_{k,n}, \quad (5)$$

и учитывая выражение (5), выражение (4) может быть записано:

$$U_e = \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} = \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f + E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f} = U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr} = \frac{1}{1 + (\Delta E_{k,n})_{us}^f / E_{us}^f} \cdot \frac{1 + E_{ch}^f / E_{us}^f}{1} \cdot \frac{1}{1 + (E_{ch}^f / E_{us}^f) \cdot [(E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f) / (E_{ch}^f)] \cdot [(E_{us}^f) / (E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f)]} \quad (6)$$

Введение в выражение (4) физических параметров ресурса процесса (времени и мощности (производительности), энергии или информации и других) позволяет использовать математический аппарат для выявления общих закономерностей протекания процессов его

преобразования. Следовательно, на основании выражений (4) и (6) можно получить базовый типовой набор показателей уровня эффективности (таблица 3).

В рассматриваемой нами энергоинформационной системе общее количество информации I_0 состоит из информации о продукте (изделии, детали), его параметрах и свойствах I_w , физическом процессе и параметрах I_f , а также управлении процессом и параметрами I_c .

$$I_0 = \sum_{k=1}^K I_w + \sum_{m=1}^M I_f + \sum_{n=1}^N I_c = I_{in} + I_{ot} + I_{us}, \quad (7)$$

где K, M, N – количество рассматриваемых событий (параметров, характеристик, свойств, элементов и так далее). Каждая из этих составляющих включает соответствующее множество K, M, N каждого вида информации, I_{in} – количество входной информации, I_{ot} – количество выходной информации, I_{us} – общее количество

информации, перерабатываемой и преобразуемой системой.

Тогда, подставляя в модель в выражения (4), (5) и (6) значения количества информации, получим характеристику и показатели (таблица 4) уровня информационной эффективности, в том числе по параметру точности как количественного содержания информации:

$$U_e^i = \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} = \frac{I_w^{ot} + I_{ch}^{ot}}{I_w^{ot} + I_w^{in} + I_{ch}^{in}} = \frac{I_w^{ot}}{I_w^{ot} + I_w^{in}} \cdot \frac{I_w^{ot} + I_{ch}^{ot}}{I_w^{ot}} \cdot \frac{I_w^{in} + I_{ch}^{in}}{I_w^{in} + I_{ch}^{in}} = (U_{us}^{fr})^i \cdot (U_{us}^{fch})^i \cdot (U_{usch}^{fr}) \quad (8)$$

Учитывая сходство применяемого метода оценки и типизацию закономерности характера изменения эффективности, нормированного от 0 до 1 и инвариантного по отношению к его природе, можно предложить, исходя из равномерного ряда, следующие уровни значений

Таблица 3. Базовые показатели уровня эффективности

Table 3. Basic performance indicators

Показатель эффективности	Формула	Диапазон изменения
Потенциальная эффективность	$(U_{us}^{fch})^{-1} = \frac{E_{us}^f}{E_{us}^f + E_{ch}^f}$	0 ÷ 1
Использования ресурса	$U_{us}^{fr} = \frac{E_{us}^f}{(E_{us}^f)^r}$	0 ÷ 1
Процесса	$U_{us}^{ch} = E_{ch}^f / E_{us}^f$	0 ÷ ∞
Ресурсов обеспечивающих процессов	$U_{ch}^f = (E_{ch}^f) / (E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f)$	0 ÷ 1
Применения ресурса	$U_{\Delta}^f = (E_{us}^f) \cdot [(E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f)] / [(E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f)]$	0 ÷ ∞
Применения обеспечивающих процессов	$U_{\Delta}^{ch} = (E_{ch}^f) \cdot [(E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f)] / [(E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f)]$	0 ÷ ∞
Преобразования (трансформации) ресурсов	$U_{usch}^{fr} = \frac{1}{1 + (E_{ch}^f / E_{us}^f) \cdot [(E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f) / (E_{ch}^f)] \cdot [(E_{us}^f) / (E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f)]}$	0 ÷ 1
Фактический (реальный)	$U_{usch}^{fr} = \frac{(E_{us}^f)^r}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r}$	0 ÷ 1
Ресурсонасыщенность	$U_{usch}^f = U_{us}^{fr} \cdot U_{usch}^{fr} = \frac{E_{us}^{fr}}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r}$	0 ÷ 1
Повышение ресурсонасыщенности	$(U_{us}^{fch})^{-1} (U_{usch}^{fr})^{-1} = U_r^f$	0 ÷ ∞
Интегральный	$U_e = U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr}$	0 ÷ 1

Источник: разработана автором
Source: developed by the author

Таблица 4. Показатели уровня информационной эффективности
Table 4. Indicators of the level of information efficiency

Наименование показателя	Зависимость	Характеристика	Диапазон изменения
Информационная производительность системы	$U_{fh} = \frac{t_f}{t_h}$	Определяет отношение времени функционирования системы для производства единицы продукта ко времени подготовки требуемого объема входной информации, поступающей в систему	$0 \div 1$
Уровень автоматизация процесса функционирования системы	$U_{ap} = \frac{t_h}{t_f + t_h} = \frac{1}{1 + U_{fh}}$	Определяет долю времени ручного труда по подготовке входной информации в общем объеме времени функционирования системы	$0 \div 1$
Уровень автоматизации производственной системы	$U_{as} = \frac{t_f}{t_f + t_h} = \frac{1}{1 + \frac{t_h}{t_f}}$	Определяет отношение времени функционирования системы для производства единицы продукта к общему времени	$0 \div 1$
Сложность входной информации	$U_{intf} = I_{in}^{ot} / I_{in}^{tf}$	Характеризует долю входной информации, не участвующей в функционировании системы, относительно информации процесса функционирования системы	$0 \div 1$
Ёмкость входной информации	$U_{oitf} = I_{ot}^{tf} / I_{in}^{tf}$	Характеризует количество информации, на единицу входной информации, обеспечивающей функционирование системы	$0 \div 1$
Информативность входной информации	$U_{ibtf} = I_{ib} / I_{in}^{tf}$	Характеризует объем используемой информации, на единицу входной информации для управления функционированием системы	$0 \div 1$
Снижение нетворческого труда в процессе функционирования системы	$U_{htf} = \frac{1 + U_{intf}}{1 + U_{oitf}}$	Характеризует снижение трудозатрат на формирование данных, полученных при функционировании системы	$0 \div 1$
Информативность или Информационная ёмкость входной информации	$U_{vil} = \frac{1 + U_{intf}}{2U_{intf} + U_{oitf} + U_{ibtf}}$	Характеризует долю входной информации в объеме преобразуемой информации для осуществления одного цикла функционирования системы	$0 \div 0,5$
Повышение информационной производительности	$U_{ip} = \frac{1 + U_{intf}}{U_{intf} + U_{oitf} + U_{ibtf}} = \frac{U_{vil}}{1 - U_{vil}}$	Характеризует снижение при применении системы количества информации, перерабатываемой вручную	$0 \div \infty$

Источник: разработана автором
Source: developed by the author

показателей (таблица 5) и соответствующую ей классификацию технологических процессов, оборудования, производств и систем по уровню ресурсоэффективности.

Тогда, выражение интегральной эффективности (2), с учетом преобразований (4) и (6), можно записать в развернутом виде:

$$E_{re} = U_e = (U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr})_e^e \cdot (U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr})_e^m \cdot (U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr})_e^i \cdot (9)$$

Из выражения (9) могут быть получены и другие производные или частные показатели эффективности, что определяется структурой и составляющими как самих физических процессов, так и возможностью рассмотрения функциональных составляющих уровня эффективности.

Отметим, что сравнение технологий, например, базовых В и новых N можно проводить на основе следующего выражения используя выражения (4).

Таблица 5. Классы оборудования и производств по интегральному показателю ресурсоэффективности

Table 5. Classes of equipment and production according to the integrated resource efficiency indicator

Класс	Наименование класса	Значение показателя уровня Энергоэффективности E_e^e	Значение показателя уровня Производительности (или скорости изменения свойств материала) E_e^m	Значение показателя уровня Точности (или использования информации) E_e^i	Значение интегрального уровня ресурсоэффективности E_{re}
1	Предельно высокий	1,00–0,95	1,00–0,95	1,00–0,95	1,00–0,86
2	Очень высокий	0,949–0,9	0,949–0,9	0,949–0,9	0,85–0,73
3	Высокий	0,899–0,85	0,899–0,85	0,899–0,85	0,72–0,62
4	Выше среднего	0,849–0,8	0,849–0,8	0,849–0,8	0,61–0,52
5	Средний	0,799–0,75	0,799–0,75	0,799–0,75	0,51–0,43
6	Ниже среднего	0,749–0,65	0,749–0,65	0,749–0,65	0,42–0,28
7	Низкий	0,649–0,5	0,649–0,5	0,649–0,5	0,27–0,13

Источник: разработана автором
Source: developed by the author

$$\begin{aligned}
 KU_e &= \frac{\left[\frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_N}{\left[\frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_B} = \frac{\left[E_{us}^f + E_{ch}^f \right]_N}{\left[E_{us}^f + E_{ch}^f \right]_B} \cdot \frac{\left[(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r \right]_B}{\left[(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r \right]_N} = \frac{\left[U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr} \right]_N}{\left[U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr} \right]_B} \\
 &= \frac{\left[E_{us}^f \right]_N}{\left[E_{us}^f \right]_B} \cdot \frac{\left[(E_{us}^f)^r \right]_B}{\left[(E_{us}^f)^r \right]_N} \cdot \frac{\left[E_{us}^f + E_{ch}^f \right]_N}{\left[E_{us}^f + E_{ch}^f \right]_B} \cdot \frac{\left[E_{us}^f \right]_B}{\left[E_{us}^f \right]_N} \cdot \frac{\left[(E_{us}^f)^r \right]_N}{\left[(E_{us}^f)^r \right]_B} \cdot \frac{\left[(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r \right]_B}{\left[(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r \right]_N} \quad (10)
 \end{aligned}$$

На рис. 5 приведены примеры кодов показателей для первых значений второго и третьего уровней.

Например, код показателя КП=100400700 может быть идентифицирован, на основании выражения (9) и значений эффективности (таблица 4), как показатель потенциальной эффективности использования всех трех ресурсов – материала, энергии и информации.

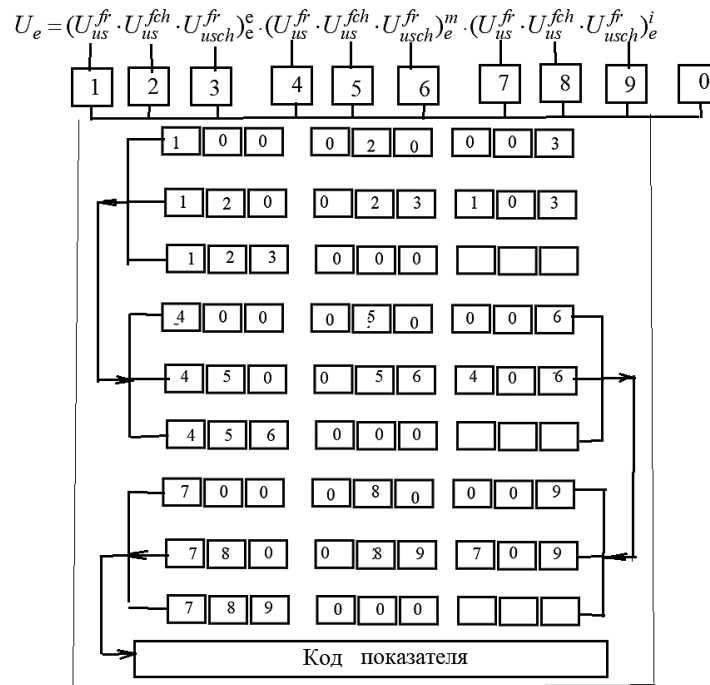
Приведем некоторые примеры оценок, иллюстрирующие изложенный методический подход, в частности для оценки эффективности автоматизации.

Автоматизация за счет изменения технологии изготовления деталей

В качестве примера рассмотрим технологический процесс производства детали двумя

диаметрально противоположными по структуре видами:

- базовый технологический процесс, вид которого основан на модели процесса уменьшения массы физическим процессом пластического деформирования для формирования параметров размера и формы детали, то есть процесс резания, а другие свойства детали формируются и определяются процессами изменения свойств;
- новый технологический процесс, вид которого основан на модели процесса увеличения массы физическим процессом плавления для формирования параметров размера и формы детали, то есть аддитивный процесс, а другие свойства детали формируются и определяются процессами изменения свойств согласно таблице 1.



Матрица кодов показателей 1-го и 2-го уровней

	100	020	003	120	023	103	123	000
400	100400	020400	003400	120400	023400	103400	123400	000400
050	100050	020050	003050	120050	023050	103050	123050	000050
006	100006	020006	003006	120006	023006	103006	123006	000006
450	100450	020450	003450	120450	023450	103450	123450	000450
056	100056	020056	003056	120056	023056	103056	123056	000056
406	100406	020406	003406	120406	023406	103406	123406	000406
456	100456	020456	003456	120456	023456	103456	123456	000456
000	100000	020000	003000	120000	023000	103000	123000	000000

Матрица части кодов показателей 1-го, 2-го и 3-го уровней

	700	080	009	780	089	709	789	000
100400	100400700	100400080	100400009	100400780	100400089	100400709	100400789	100400000
100050	100050700	100050080	100050009	100050780	100050089	100050709	100050789	100050000
100006	100006700	100006080	100006009	100006780	100006089	100006709	100006789	100006000
100450	100450700	100450080	100450009	100450780	100450089	100450709	100450789	100450000
100056	100056700	100056080	100056009	100056780	100056089	100056709	100056789	100056000
100406	100406700	100406080	100406009	100406780	100406089	100406709	100406789	100406000
100456	100456700	100456080	100456009	100456780	100456089	100456709	100456789	100456000
100000	100000700	100000080	100000009	100000780	100000089	100000709	100000789	100000000

Рисунок 5. Схема формирования кодов вида показателя эффективности**Figure 5.** Scheme for generating codes for the type of performance indicator

Источник: разработана автором
Source: developed by the author

Тогда, последовательно преобразуя составляющие выражения (4) и подставляя их в выражение (2), получим (более подробный вывод можно найти в (Kuznetsov et al., 2017):

$$KU_e = (\xi - 1)^2 \cdot \frac{Q^n}{Q^b} \cdot \frac{\sum V_{yp}^{\Delta} + Q^b t_h^b}{V_{\Delta}^n + Q^n t_h^n} \cdot \frac{[(\varepsilon_{fp}^n \cdot V_{\Delta}^n) + E_{fv}^n]}{[(\varepsilon_{fp}^b \cdot V_{\Delta}^n) + E_{fv}^b (\xi - 1)]} \cdot \left[\frac{\delta_v^b}{\delta_v^n} \right]^3 \cdot \frac{3 \log_2(\delta_v^n) - \log_2[(\xi - 1)(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})]}{3 \log_2(\delta_v^b) - \log_2[(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})]}$$

Для упрощения вычислений и сохранения сути рассмотрения и получаемых выводов, примем значение времени E_{ch}^f стремящимся к достаточно малой величине для каждого случая или близким к нулевому значению. Тогда можно записать:

$$KU_e = (\xi - 1)^2 \cdot \frac{Q^n}{Q^b} \cdot \frac{[(\varepsilon_{fp}^n \cdot V_{\Delta}^n) + (E_{ch}^f)^n]}{[(\varepsilon_{fp}^b \cdot V_{\Delta}^n) + (E_{ch}^f)^b (\xi - 1)]} \cdot \left[\frac{\delta_v^b}{\delta_v^n} \right]^3 \cdot \frac{3 \log_2(\delta_v^n) - \log_2[(\xi - 1)(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})]}{3 \log_2(\delta_v^b) - \log_2[(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})]}$$

где Q^b , Q^n , V^b , V^n , V_{Δ}^n обозначены соответственно удельные производительности (m^3/c), объёмы (m^3) удаляемого, нарощенного материала и полученной детали;

$\xi = \frac{V}{(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})} = \frac{V}{\sum V_{yp}^{\Delta}}$ – относительный коэффициент объема исходной детали к объему удаленного материала;

$V_{внр}^{\Delta}$, $V_{нр}^{\Delta}$, $V_{нр}^{\Delta+}$, $\sum V_{yp}^{\Delta}$ – соответственно внутреннее, внешнее, внешние дополнительные и сумма всех объемов детали, удаляемые базовым физическим процессом (резанием);

ε^b , ε^n – удельная энергоёмкость физического процесса базового и нового, Дж/ m^3 ;

δ_v^b , δ_v^n – наибольшая точность характерного размера базового и нового физического процесса обработки.

При рассмотрении результатов вычислений по выражениям (9) и (10), когда сравниваются технологии, оборудование или производства, получаемые результаты и их значения могут иметь следующие оценки:

- $KU_e = 1$ или близкие к единице – в этом случае варианты по показателям эффективности не отличаются;
- $KU_e > 1$ в этом случае новый объект рассмотрения превосходит предыдущий или сравниваемый по показателям

эффективности и является предпочтительнее или при обоснованиях относительно лучше и чем больше значение, тем выше эффективность;

- $KU_e < 1$ новый объект рассмотрения менее предпочтителен по показателю эффективности, а степень отличия определяет принимаемое решение в сочетании с другими составляющими показателями или целей.

В качестве примера рассмотрим достаточно типовой случай на современном этапе, анализ показателя U_{us}^{fr} (таблица 3) для вариантов сопоставления аддитивного процесса и традиционного процесса удаления материала позволяет сделать однозначный вывод о целесообразности производства топологически (сложной пространственной как внутренней, так и внешней формы и архитектуры) сложных изделий аддитивным методом и чем сложнее изделие тем выше эффект производительности. Так, при $\xi = 1, 1$, $Q^n = 1$ (условная единица) и $Q^b = 5$ (условных единиц), получим $U_{us}^{fr} = 2$ – двукратный рост эффективности производительности, а при требуемых равных дополнительных операциях и процедурах $(E_{ch}^f)^b = (E_{ch}^f)^n = 1$ (условная единица) получим $U_{us}^{fr} = \frac{1}{5} \cdot \frac{\sum V_{yp}^{\Delta} + 5 \cdot 1}{V_{\Delta}^n + 1 \cdot 1}$.

Простейшей базой для сравнения и оценке показателя эффективности технологических процессов, противоположных по способу и физической модели достижения поставленной цели, и без учета всего цикла производства, включающего проектирование и изготовление, в качестве объекта или детали как конечной цели может быть выбран простейший геометрический объект – цилиндр, параметры которого могут взаимообусловлено варьироваться, имеющий характерные размеры диаметров внутреннего и внешнего цилиндров, в том числе исходной заготовки, а также соответствующие длины.

$$\sum V_{yp}^{\Delta} = (V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+}) = \pi L(R_B^2 + R_3^2 - R_H^2),$$

а объем детали после обработки составит

$$V_{\Delta}^n = \pi L(R_H^2 - R_B^2) = \pi LR_3^2 - \pi L(R_B^2 + R_3^2 - R_H^2),$$

$$\xi = \frac{\pi LR_3^2}{\pi L(R_B^2 + R_3^2 - R_H^2)} = \frac{R_3^2}{(R_B^2 + R_3^2 - R_H^2)}.$$

Определим интегральный показатель для следующих исходных данных:

$$L = 100 \text{ мм}; R_3 = 60 \text{ мм}; R_H = 50 \text{ мм}; R_B = 20 \text{ мм};$$

$$V_{\Delta}^n = 210\pi \text{ см}^3; \sum V_{\text{ур}}^n = 150\pi \text{ см}^3;$$

$$\xi = 2,4; Q^n = 0,04 \text{ см}^3/\text{с} [24];$$

$$\varepsilon_{fp}^n = 230 \text{ кДж}/\text{см}^3 [24]; (E_{us}^f)^n = 9700 \pi \text{ кДж};$$

$$\delta_v^n = 2 \cdot 10^{-3} \text{ см} [24]; (E_{ch}^f)^n = 0,$$

$$Q^b = 0,4 \text{ см}^3/\text{с} [5,6]; \varepsilon_{fp}^b = 10 \text{ кДж}/\text{см}^3 [4,5,6];$$

$$(E_{us}^f)^b E_{fv}^b = 420 \pi \text{ кДж};$$

$$\delta_v^b = 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}; (E_{ch}^f)^b = 0.$$

$$KU_e^I = (0,072) \cdot (30,4) \cdot (1,12 \cdot 10^{-3}) = 2,45 \cdot 10^{-3}.$$

Рассмотрим второй вариант производства более сложной детали, для которой из вышеприведенных исходных данных изменятся следующие:

$$\delta_v^n = 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}; V = 360\pi \text{ см}^3,$$

$$V_{\Delta}^n = 47,5\pi \text{ см}^3, \sum V_{\text{ур}}^n = 312,5\pi \text{ см}^3;$$

$$\xi = 1,15; (E_{ch}^f)^b = 450 \text{ с}.$$

$$KU_e^II = (0,7785) \cdot (3,1) \cdot (1,07 \cdot 10^{-1}) = 2,58 \cdot 10^{-1}.$$

Таким образом, несмотря на то, что аддитивный физический процесс как по производительности, так и по энергетическим показателям уступает физическому процессу пластического деформирования (обработка резанием), в целом ряде случаев его применение более эффективно, а в некоторых вариантах применения может быть и трудно заменимо.

Автоматизация на основе изменения составляющих времени технологического процесса

Компонент E_e^m , характеризующий скорость изменения свойств материала, будет определяться компонентами времени выполнения физического процесса и времени обеспечения и/или времени изменения пространственно-временного положения или состояния приложения физического процесса.

Принимая во внимание, что теоретическая (идеальная, требуемая, достижимая) производительность физического процесса на входе системы равна величине, обратно пропорциональной времени ее выполнения, и реальная производительность на выходе системы – величина обратно пропорциональная времени ее реального, фактического исполнения, тогда значения в выражениях (4), (5) и (6) будут

характеризовать временные показатели и их потери. Следовательно, временные потери за рассматриваемый период времени будут обусловлены следующими видами (группами):

- перед обработкой (физической процесс);
- в процессе обработки (выполнения физического процесса);
- после обработки (для оценки качества физического процесса и других изменений пространственно-временного положения / состояния).

Анализ метода, получившего популярность для оценки показателей ОЕЕ и ОЕЕ-индекса (см. таблицу 2 и ГОСТ 22400–2–2019), с точки зрения определения состава исходных элементов, которые обуславливают и составляют методологический принцип и основу этого метода, позволяет утверждать, что в соответствии с вышеизложенной нами методологией, каждая составляющая ОЕЕ и ОЕЕ-индекса равна отношению времени завершения события к общему времени события и поэтому также записана как произведение трех вероятностей. Тогда, преобразуем выражение для ОЕЕ, в обозначениях (Кузнецов, 2020) и ГОСТ 22400, запишем в следующем виде:

$$OEE = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{F}{E} = \frac{F}{A} \text{ или,}$$

$$OEE = \frac{F + \delta E + \delta D}{F + \delta E + \delta D + \delta B} \cdot \frac{F + \delta E}{F + \delta E + \delta D} \cdot \frac{F}{F + \delta E},$$

где обозначено

$$E = F + \delta E, D = E, C = D + \delta D,$$

$$B = C, A = B + \delta B, A = F + \delta E + \delta D + \delta B.$$

Следовательно, можно записать в структуре выражения (6):

$$OEE = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{F}{E} = \frac{F}{A} = \frac{F}{F + \delta E + \delta D + \delta B}.$$

Из этого следует, что предлагаемая методология является более общим случаем оценок эффективности, а показатели ОЕЕ являются лишь её частным случаем. Во всех случаях и методах оценок ОЕЕ нормируемой постоянной величиной является рассматриваемый или установленный период времени, а варьируемыми составляющими являются градация количества групп событий и видов потерь времени внутри каждой группы таких событий. Подробно структурные составляющие времен и их классификация указаны для

производственных систем в (Кузнецов, 1987; Кузнецов & Каляшина, 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог проведенному анализу, формулируем следующие выводы:

1. Современное состояние, темпы и скорость развития технологии, оборудования и производственных систем, их достигнутая многовариантность, значительное количество возможных решений (как показано в статье) требует не только технического и экономического осмысления целесообразности применения, но и разработки методов комплексной, максимально объективной и достоверной оценки нахождения технически осознанных решений и их практического применения для выбора наиболее эффективно технико-экономического направления автоматизации как при создании, так и при модернизации предприятий и производств.
2. Следует признать, что в настоящее время развитие технологий для машиностроительных производств как самостоятельного объекта, уровни их показателей эффективности по многим параметрам, за исключением производительности, достигли максимально возможных или предельно достижимых значений, а методы, способы, приёмы и технологические процессы достигли также относительно высокого совершенства, что подтверждается практикой.

3. В автоматизированном производстве более высокие затраты (материальные, энергетические, информационные, финансовые) приводят к улучшению технико-экономических показателей за счет более высокой производительности, повышения качества, сокращения численности производственных рабочих, что в целом приводит также и социально-экономическим эффектам, но не гарантирует максимальную экономическую эффективность. Поэтому, чтобы социальные и технико-экономические эффекты при автоматизации не вступали в неразрешимые противоречия, необходимо достоверно и объективно определять и понимать количественные взаимосвязи между ними.
4. Принципиальным вопросом технической политики в области автоматизации на всех уровнях является возможное наилучшее сочетание методов и средств автоматизации на основе ясного понимания закономерностей развития технологий и на основе научно – обоснованной методологии такого анализа и оценок принимаемых решений и понимания сути концепций направлений автоматизации.

Конкурирующие интересы

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The author declares no conflict of interest.

Список источников/References

1. Артоболовский, С.И. (1949). *Машины – автоматы (теория и расчет)*. Mashgiz. Artobolevsky, S.I. (1949). *Automatic machines (theory and calculation)*. Mashgiz. (in Russian)
2. Богуславский, Б.Л. (1961). *Токарные полуавтоматы, автоматы и автоматизированные линии*. Профтехиздат. Boguslavsky, B.L. (1961). *Semiautomatic lathes, automatic machines, and automated lines*. Proftekhizdat. (in Russian)
3. Глазьев, С.Ю. (2012). Современная теория длинных волн в развитии экономики. *Экономическая наука современной России*, 2(57), 27–42. EDN: OZEJDT
Glazyev, S.Yu. (2012). Modern theory of long waves in economic development. *Economics of Contemporary Russia*, 2(57), 27–42. EDN: OZEJDT (in Russian)
4. Глазьев, С.Ю. (2016). Мировоззренческие уклады в глобальном экономическом развитии. *Экономика и математические методы*, 52(2), 3–29. EDN: VZSVFJ

- Glazyev, S.Yu. (2016). National economy structures in the global economic development. *Economics and the Mathematical Methods*, 52(2), 3–29. EDN: VZSVFJ (in Russian)
5. Глазьев, С.Ю., & Косакян, Д.Л. (2024). Состояние и перспективы формирования 6-го технологического уклада в Российской экономике. *Экономика науки*, 10(2), 11–29. EDN: GJOIYC, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29>
Glazyev, S.Yu., & Kosakyan, D.L. (2024). State and prospects of 6th technological mode in Russian economy. *Economics of Science*, 10(2), 11–29. EDN: GJOIYC (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29>
 6. Дубовик, М.В., & Дмитриев, С.Г. (2023). Промышленные революции и «парадокс производительности» в свете новой институциональной экономической теории. *Креативная экономика*, 17(4), 1159–1176. EDN: YZKQWQ
Dubovik, M.V., & Dmitriev, S.G. (2023). Industrial revolutions and the “productivity puzzle” in the standpoint of the new institutional economic. *Creative Economy*, 17(4), 1159–1176. EDN: YZKQWQ (in Russian)
 7. Кобринский, А.Е. (1967). *Кто – кого? Молодая гвардия*.
Kobrinisky, A.E. (1967). *Who vs Whom? Molodaya Gvardiya*. (in Russian)
 8. Корендясев, А.И., Саламандра, Б.Л., & Тывес, Л.И. (2006). *Теоретические основы робототехники. Книга 1. Наука*.
Korendyasev, A.I., Salamandra, B.L., & Tyves, L.I. (2006). *Theoretical foundations of robotics. Book 1. Nauka*. (in Russian)
 9. Кузнецов, А.П. (2015a). Структуры процессов и оборудования для обработки резанием. Часть 1. Энергоинформационная модель структуры процессов обработки. *Вестник машиностроения*, (2), 73–83. EDN: ULYTVT
Kuznetsov, A.P. (2015a). Structures of processes and equipment for cutting processing. Part 1. Energy informational model of structure of manufacturing processes. *Vestnik Mashinostroeniya*, (2), 73–83. EDN: ULYTVT (in Russian)
 10. Кузнецов, А.П. (2015b). Структуры процессов и оборудования для обработки резанием. Часть 2. Структуры технологических процессов и их классификация. *Вестник машиностроения*, (3), 65–76. EDN: UNRHVV
Kuznetsov, A.P. (2015b). Temperature control of metal-cutting machines. *Russian Engineering Research*, (3), 194–199. EDN: UNRHVV (in Russian) <https://doi.org/10.3103/S1068798X15030090>
 11. Кузнецов, А.П. (2020). Направления развития металлорежущих станков: Системные принципы. Часть 1. *Станкоинструмент*, 3(20), 30–41. EDN: QSCBWR, <https://doi.org/10.22184/2499-9407.2020.20.03.30.41>
Kuznetsov, A.P. (2020). Directions of development of metal-cutting machines: system principles Part 1. *Stankoinstrument*, 3(20), 30–41. EDN: QSCBWR (in Russian) <https://doi.org/10.22184/2499-9407.2020.20.03.30.41>
 12. Кузнецов, А.П. (2024). Эволюция технологии обработки резанием и металлорежущих станков в парадигме устойчивости технологических укладов. *Экономика науки*, 10(4), 75–99. EDN: HRNXXK, <https://doi.org/10.22394/2410-132X.481>
Kuznetsov, A.P. (2024). The evolution of cutting technology and metal-cutting machines in the paradigm of technological modes. *Economics of Science*, 10(4), 75–99. EDN: HRNXXK (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X.481>
 13. Кузнецов, А.П. (2025a). *Оценка и обеспечение точности металлорежущих станков. Системные и физические основы. Системная концепция эволюции. ТЕХНОСФЕРА*.
Kuznetsov, A.P. (2025a). *Assessing and ensuring the accuracy of machine tools. systemic and physical foundations. a systemic concept of evolution. TEKHNOSFERA*. (in Russian)
 14. Кузнецов, А.П. (2025b). Технологический суверенитет в станкостроении: статистика, неопределенность, особенность измерения развития. *Экономика науки*, 11(3), 47–66. EDN: NGMXHU
Kuznetsov, A.P. (2025b). Technological sovereignty in machine-tool industry: statistics, uncertainty, and specifics of development measurement. *Economics of Science*, 11(3), 47–66. EDN: NGMXHU (in Russian)
 15. Кузнецов, А.П., & Каляшина, А.В. (2020). Методы оценки эффективности промышленного оборудования. *Технология машиностроения*, (5), 66–75. EDN: QFCUTE
Kuznetsov, A.P., & Kalyashina, A.V. (2020). Methods for assessing the efficiency of industrial equipment. *Manufacturing Engineering*, (5), 66–75. EDN: QFCUTE
 16. Кузнецов, А.П., Завгородний, Ю.П., & Чернявский, Л.Б. (1987). *Технико-экономические проблемы создания ГПС. ВНИИТЭМР*.
Kuznetsov, A.P., Zavgorodniy, Yu.P., & Chernyavsky, L.B. (1987). *Technical and economic problems of creating a GPS. VNIITEMR*. (in Russian)
 17. Кузьмин, Ю.Б. (2020). Шкалирование уровня автоматизации на производстве. *Информационные технологии*, 26(2), 116–127. EDN: RHSXHP
Kuzmin, Yu.B. (2020). Taxonomy the level of automation in production. *Information Technologies*, 26(2), 116–127. EDN: RHSXHP (in Russian)

18. Лем, С. (1968). *Сумма технологии*. Мир.
Lem, S. (1968). *Summa Technologiae*. Mir. (in Russian)
19. Лола, И.С., Асосков, Д.Г., Рахимова, А.Д., & Усов, У.А. (2025). *Машиностроение: ключевые тренды 2024 года*. <https://issek.hse.ru/news/1033711639.html> (дата обращения: 12.01.2026)
Lola, I.S., Asoskov, D.G., Rakhimova, A.D., & Usov, U.A. (2025). *Mechanical engineering: key trends of 2024*. Retrieved January 12, 2026 from <https://issek.hse.ru/news/1033711639.html> (in Russian)
20. Маркс К. & Энгельс Ф. (1960). *Сочинения*. Т. 23, Издание второе. Политиздат.
Marx, K., & Engels, F. (1960). *Collected Works*. Vol. 23, Second edition. Politizdat.
21. Попов, А.К. (2021). Состояние мировой экономической системы с позиции теории длинноволнового развития. *Вопросы инновационной экономики*, 11(4), 1949–1970. EDN: WLQAPM, <https://doi.org/10.18334/vines.11.4.113878>
Popov, A.K. (2021) The world economic system from the long wave theories perspective. *Russian Journal of Innovation Economics*, 11(4), 1949–1970. EDN: WLQAPM (in Russian) <https://doi.org/10.18334/vines.11.4.113878>
22. Сухарев, О.С. (2024). «Экономика технологий» как направление науки: ретроспектива и перспектива. *Экономика науки*, 10(1), 41–53. EDN: ASECCX, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-1-41-53>
Sukharev, O.S. (2024). Economics of technology as a scientific field: Retrospective and prospective aspects. *Economics of Science*, 10(1), 41–53. EDN: ASECCX (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-1-41-53>
23. Сухарев, О.С. (2025). *Научно-технологический потенциал и промышленная политика: монография*. Финансы и статистика.
Sukharev, O.S. (2025). *Scientific and technological potential and industrial policy: a monograph*. Finance and Statistics. (in Russian)
24. Ткачева, О.Н., & Кузнецов, А.П. (1984). *Современные системы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении*. НИИмаш.
Tkacheva, O.N., & Kuznetsov, A.P. (1984). *Modern systems of automated design of technological processes in mechanical engineering*. NIIImash. (in Russian)
25. Шаумян, Г.А. (1961). *Автоматы и автоматические линии*. ГНТИ машиностроительной литературы.
Shaumyan, G.A. (1961). *Automatic machines and automatic lines*. State Scientific and Technical Institute of Mechanical Engineering Literature. (in Russian)
31. Шваб, К. (2016). *Четвертая промышленная революция*. Эксмо. EDN: VUJSVF
Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. Eksmo. EDN: VUJSVF (in Russian)
32. Frohm, J., Stahre, J.O., & Winroth, M.P. (2008). Levels of Automation in Manufacturing. *International Journal of Ergonomics and Human Factors*, 30(3), 1–27.
33. Kuznetsov, A.P., Koriath, H.-J., & Kalyashina, A.V. (2017). Comparative Integrated Manufacturing Efficiency in Production Engineering. *Procedia CIRP*, 63, 527–532. EDN: XNUUUC, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.135>
34. Putz, M., Koriath, H.-J., & Kuznetsov, A.P. (2019). Resource consumption classes of machine tools. *MM Science Journal, 2019(Special Issue HSM 2019)*, 3301–3309. EDN: DCTTUA, https://doi.org/10.17973/MMSJ.2019_11_2019085

Информация об авторе

Кузнецов Александр Павлович – доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки», факультет Машиностроительные технологии, МГТУ им. Н. Баумана (национальный исследовательский университет); SPIN-код РИНЦ: 8565–5652, Scopus Author ID: 57205242165, ORCID: 0000-0001-8398-337X (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1; e-mail: apk_53@mail.ru).

Author

Alexander P. Kuznetsov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Machine tools, Faculty of Mechanical Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University (National Research University); Scopus Author ID: 57205242165, ORCID: 0000-0001-8398-337X (5, building 1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail: apk_53@mail.ru).

Поступила в редакцию (Received) 10.12.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 25.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 16.03.2026

ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
УДК 334.784
JEL: C43, O32, M15
EDN: OBDLZH

Интегральный индекс эффективности цифровизации в системе анализа развития бизнес-экосистемы

Е.В. Попов, В.Л. Симонова, А.С. Зырянов

Уральский институт управления филиал РАНХиГС, <https://ror.org/04xnm9a92>, Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: ui@ranepa.ru

Аннотация. В условиях ускоряющейся цифровой трансформации обрабатывающего промышленного сектора российской экономики сохраняется методологический разрыв в понимании влияния цифровизации на эффективность деятельности предприятий и бизнес-экосистем. Цель исследования – разработка методического аппарата интегральной оценки эффективности цифровизации (распространения и применения цифровых технологий) по ядру промышленной экосистемы с учетом совокупных экономических, операционных, технических, социальных и рыночных эффектов. Методологическую основу формируют положения системного и процессного подходов, концепции цифровой зрелости предприятий и управляемых бизнес-экосистем, а также принципы бережливого производства и цифрового менеджмента. Методическая база включает разработанный авторами количественный инструмент – интегральный индекс эффективности цифровизации (IIE), построенный с применением метода анализа иерархий, многокритериальной оценки (MCDA), нормализации и взвешенной аддитивной агрегации. Эмпирическая апробация инструмента выполнена на примере машиностроительного предприятия B2B-сегмента. Результаты показали устойчивый рост интегрального индекса, что свидетельствует о системном эффекте цифровизации и переходе компании от локальных улучшений к зрелой фазе цифровой экосистемы. В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на развитие интегрального подхода в сторону повышения точности и прикладной применимости, что позволит трансформировать индекс из аналитического показателя в устойчивый инструмент управленческого принятия решений в условиях изменяющейся внешней среды. Обозначено ключевое ограничение методики, а именно то, что рост интегрального индекса цифровизации следует интерпретировать как результат совокупной трансформации деятельности предприятия, в рамках которой цифровизация является значимым, но не единственным фактором изменения наблюдаемых эффектов.

Ключевые слова: система управления цифровизацией, интегральный индекс цифровизации, цифровая трансформация, бизнес-экосистема, эффекты цифровизации, многокритериальный анализ

Информация о финансировании: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Свердловской области № 24-18-20036, <https://rscf.ru/project/24-18-20036/>

Для цитирования: Попов, Е.В., Симонова, В.Л., & Зырянов, А.С. (2026). Интегральный индекс эффективности цифровизации в системе анализа развития бизнес-экосистемы. *Экономика науки*, 12(1), 86–105. EDN: OBDLZH

ECONOMICS OF KNOWLEDGE AND TECHNOLOGY

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
JEL: C43, O32, M15
EDN: OBDLZH

Integral index of digitalization efficiency in the system of analyzing business ecosystem development

E.V. Popov, V.L. Simonova, A.S. Zyrianov

Ural Institute of Management RANEPА, <https://ror.org/04xnm9a92>, Yekaterinburg, Russian Federation; e-mail: ui@ranepa.ru

Abstract. In the context of the accelerating digital transformation of the manufacturing sector of the Russian economy, a methodological gap persists in understanding the impact of digitalization on the performance efficiency of enterprises and business ecosystems. The purpose of this study is to develop a methodological framework for the integrated assessment of digitalization efficiency (the diffusion and application of digital technologies) within the core of an industrial ecosystem by accounting for the combined economic, operational, technical, social, and market effects. The methodological foundation of the research is based on the principles of the systems and process approaches, the concepts of enterprise digital maturity and managed business ecosystems, as well as the principles of lean production and digital management. The methodological framework includes a quantitative tool developed by the authors – an integral digitalization efficiency index (IIE), constructed using the Analytic Hierarchy Process (AHP), multi-criteria decision analysis (MCDA), normalization procedures, and weighted additive aggregation. The empirical basis of the study is represented by a case study of a B2B engineering (machine-building) enterprise. The results demonstrate a stable growth of the integral index, indicating a systemic effect of digitalization and the company's transition from localized improvements to a mature phase of a digital ecosystem. In future research, the integrated approach may be further developed toward greater accuracy and practical applicability, enabling the transformation of the index from an analytical indicator into a sustainable managerial decision-making tool under conditions of a changing external environment. At the same time, a key limitation of the methodology is identified: the growth of the integral digitalization index should be interpreted as the result of a comprehensive transformation of enterprise activities, within which digitalization represents a significant, but not the sole, factor influencing the observed effects.

Keywords: digitalization management system, integral digitalization index, digital transformation, business ecosystem, digitalization effects, multicriteria analysis

Funding: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Government of the Sverdlovsk Region № 24-18-20036, <https://rscf.ru/project/24-18-20036/>

For citation: Popov, E.V., Simonova, V.L., & Zyrianov, A.S. (2026). Integral index of digitalization efficiency in the system of analyzing business ecosystem development. *Economics of science*, 12(1), 86–105. EDN: OBDLZH

ВВЕДЕНИЕ

В последние десять лет цифровизация привлекает возрастающее внимание академического и профессионального сообществ в контексте анализа ее воздействия на деятельность предприятий. Особый интерес представляет влияние цифровизации на результаты функционирования ядра и бизнес-экосистемы в целом, поскольку современным организациям необходимо измерять изменения эффективности по ключевым показателям для адаптации и тонкой настройки бизнес-модели (Verhoef et al., 2021, p. 895). Вместе с тем в научной и профессиональной литературе по-прежнему отсутствует консенсус относительно состава индикаторов, трактовки эффектов и эффективности цифровизации.

Система управления цифровизирующегося B2B-предприятия¹ приобретает характер социотехнической адаптивной системы, в которой наряду с ресурсами управляются данные, знания и цифровые сервисы, обеспечивая устойчивость результатов в условиях высокой неопределенности внешней среды.

¹ B2B (Business-to-Business) – формат взаимодействия между хозяйствующими субъектами, при котором сделки совершаются между организациями.

В рамках настоящей статьи понятие «цифровизации» определяется как процесс, который стимулирует предприятия к адаптации и совершенствованию цифровых возможностей во всех аспектах, чтобы выжить и преуспеть. Он позволяет компаниям преодолевать неопределенности и эффективно реагировать на требования бизнеса (Deeru & Ravi, 2021). При этом цифровизация заключается не просто во внедрении технологий, а в фундаментальных изменениях, затрагивающих «стратегию организации, бизнес-процессы, организационные знания и всю социотехническую систему» (Park & Saraf, 2016). Поскольку внутренние и внешние элементы организации, а также их взаимоотношения преобразуются посредством цифровых технологий, это может прямо или косвенно влиять на результаты деятельности компании (Meng & Wang, 2020).

Понятие «ядро бизнес-экосистемы» следует понимать как фокальный субъект, выполняющий системообразующую функцию за счет концентрации ключевых ресурсов, цифровых платформ и управленческих компетенций, обеспечивающий формирование, координацию и устойчивое воспроизводство сетевых взаимодействий между участниками экосистемы

с целью совместного создания и распределения ценности. Одновременно бизнес-экосистема трактуется как совокупность устойчивых сетевых взаимодействий ядра с контрагентами и партнерами (поставщиками, потребителями, сервисными и технологическими провайдерами, институтами поддержки и регуляторами), совместно участвующими в создании и распределении ценности.

Эмпирический анализ ограничен ядром экосистемы, поскольку интегральная оценка строится на показателях, доступных для регулярного измерения внутри предприятия; влияние периферии учитывается на уровне интерпретации результатов. Хотя влияние цифровизации на показатели результативности вызывает все больший интерес как у исследователей, так и у практиков, до сих пор не ясно, что именно и как следует измерять, чтобы определить, как цифровизация влияет на результативность (Rungi, 2019). В этой связи в рамках исследования были сформулированы следующие исследовательские вопросы:

1. Каким образом цифровизация и цифровая трансформация отражаются на результатах деятельности промышленного предприятия, и какие группы эффектов целесообразно использовать для их комплексной оценки?
2. Как может быть построен интегральный инструмент оценки эффективности цифровизации, позволяющий связать динамику цифровых преобразований с изменениями результатов деятельности предприятия в условиях отсутствия единого подхода к интерпретации таких результатов?
3. Каким образом анализ динамики интегрального показателя и его компонент позволяет выявлять узкие места, зоны недоиспользованного потенциала и служит основой для корректировки стратегии цифровизации предприятия?

Цифровизация или цифровая трансформация требуют от руководителей формулировать цифровое видение, объясняющее необходимость, план и ожидаемые результаты цифровизации. Соответственно, сложность, которую могут испытывать управленцы, связана с неопределенностью, рисками и дисбалансами

влияния цифровизации на архитектурные элементы организации и их результативность вследствие социотехнической природы цифровизации (Абрамов и др., 2024; Васильева, 2023). Поскольку стратегии цифровизации и другие организационные элементы взаимозависимы, сама цифровизация не может полностью объяснить сложные механизмы влияния на эффективность организации.

Существуют исследования (например, Hanelt et al., 2017; Sener & Yuksel, 2017; Nandkumar et al., 2018; Cubric, 2020; Alhassan & Adam, 2021; Каленов, 2023), рассматривающие цифровую эффективность с различных позиций. Однако консолидированного системного взгляда на эффективность цифровизации с использованием соответствующей теоретической рамки не существует. Например, в литературе рассматриваются вопросы воздействия цифровых решений на трансформацию устойчивого развития компании (Hanelt et al., 2017), рыночную стоимость (Nandkumar et al., 2018), показатели процессов (Sener & Yuksel, 2017), финансовую результативность (Westerman et al., 2014; Sia et al., 2016), производительность (Brynjolfsson et al., 2011), а также инвестиции в цифровизацию (Hess et al., 2016).

Целью настоящего исследования является разработка и апробация методического аппарата интегральной оценки эффективности цифровизации промышленного предприятия B2B-сегмента, позволяющего установить и интерпретировать связь между развитием цифровых технологий и изменениями результатов деятельности предприятия через совокупность экономических, операционных, технических, социальных и рыночных эффектов.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

1. Обосновать теоретико-методологические предпосылки оценки результатов цифровизации предприятия и определить состав ключевых эффектов, отражающих изменения результатов его деятельности.
2. Разработать интегральный индекс эффективности цифровизации на основе многокритериального анализа и метода анализа иерархий, и апробировать его

на примере промышленного предприятия В2В-сегмента.

3. Проанализировать динамику интегрального показателя и его компонент с целью выявления управленческих выводов и практических рекомендаций по развитию системы цифровизации предприятия.

Также важно отметить, что в рамках настоящего исследования под эффектами цифровизации понимаются наблюдаемые изменения отдельных показателей результатов деятельности предприятия (экономических, операционных, технических, социальных и рыночных), ассоциированные с внедрением и использованием цифровых технологий. Эффективность цифровизации трактуется в прикладном смысле как интегральная оценка совокупности указанных эффектов, агрегированная в сопоставимый во времени показатель и не сводимая к классическому соотношению «результат–затраты».

Методология исследования

Объектом настоящего исследования является система управления процессом развития цифровизации ядра промышленной бизнес-экосистемы на примере машиностроительного предприятия В2В-сегмента. Предприятие рассматривается как фокальный субъект, формирующий и координирующий сетевые взаимодействия с ключевыми участниками внешнего контура (клиентами, поставщиками, технологическими провайдерами и другими). При этом интегральная оценка эффективности цифровизации строится на основе показателей, измеряемых на уровне ядра, что обусловлено доступностью сопоставимых данных за 2022–2024 гг. и задачей формирования прикладного инструмента управления цифровизацией предприятия. Цифровая трансформация осуществляется на основе Стратегии цифровизации, разработанной в соответствии с авторским методическим подходом, подробно представленным в работе «Формирование стратегии цифровизации бизнес-экосистемы промышленного предприятия» (Попов и др., 2025а).

Для оценки результативности и верификации применяемой методики цифровизации через призму экономических, операционных,

технических, социальных и рыночных эффектов использован авторский методический подход к формированию интегрального индекса эффективности цифровизации (ИЕ), концептуальные основы которого были заложены в работе (Попов и др., 2025b). Количественная реализация и апробация методики представлены в настоящем исследовании. Его общая формула имеет вид, представленный формулой (1). Все зависимости и расчетные формулы ((1), (4), (8), (10), (13), (15), (18)), представленные далее, разработаны авторами в рамках настоящего исследования. При их построении использованы общие принципы многокритериального анализа, нормализации показателей и аналитического иерархического процесса (АИР), широко применяемые в экономических исследованиях, однако конкретная структура индекса, состав компонент и набор показателей имеют авторский характер.

$$ИЕ = \sum_k w_k \times X_k, \text{ где } X_k \in [0, 1], \quad (1)$$

где X_k – нормализованное значение k -й компоненты эффекта цифровизации, $X_k \in (0; 1)$;

$k = 1, 2, \dots, K$, где K – количество компонент эффектов цифровизации;

w – вес k -й компоненты, отражающий ее относительную значимость, определенные по методу анализа иерархий Саати (АИР), при этом $\sum_{k=1}^K w_k = 1$.

В рамках настоящего исследования в качестве компонент эффектов цифровизации (X_k) рассматриваются пять укрупненных групп: экономический (Е), операционный (О), технический (Т), социальный (S) и рыночный (СР) эффекты. Значения компонент формируются на основе нормализации соответствующих частных показателей, характеризующих изменение результатов деятельности предприятия под воздействием цифровизации.

Веса компонент (w_k) определяются с применением метода анализа иерархий (АИР) на основе экспертного опроса представителей топ-и среднего уровня менеджмента предприятия, непосредственно вовлеченных в реализацию и оценку цифровых инициатив (генерального управления, финансов, производства). Метод основан на процедуре попарного сравнения критериев с последующим вычислением их

весов на основе собственных значений матрицы предпочтений. Применение АНР позволяет формализовать экспертные суждения о важности различных эффектов цифровизации и получить количественные весовые коэффициенты, используемые при агрегировании показателей в интегральный индекс. Следует отметить, что веса компонент несут экспертный характер и могут изменяться во времени в зависимости от стадии цифровой зрелости предприятия, состава экспертов и стратегических приоритетов, что является ограничением данного подхода.

Интегральный индекс эффективности цифровизации принимает значения в диапазоне $(0;1)$, где более высокие значения соответствуют более выраженному совокупному эффекту цифровизации по рассматриваемым компонентам. При этом индекс не интерпретируется как абсолютная мера эффективности в экономическом смысле, а используется как сопоставимый во времени агрегированный показатель для анализа динамики и структуры эффектов цифровизации.

Применение данного подхода проиллюстрировано на практическом кейсе промышленного машиностроительного предприятия В2В-сегмента, выполняющего роль ядра бизнес-экосистемы, для которого были доступны сопоставимые данные о результатах деятельности и реализации цифровых инициатив за период 2022–2024 гг. Поскольку исследуемая компания относится к экосистеме начального уровня цифровой зрелости, результаты анализа рассматриваются как базовый ориентир для дальнейших исследований, которые целесообразно проводить на примере предприятий, находящихся на более продвинутых стадиях цифровой трансформации.

Для формирования эмпирической базы исследования использовались качественные и количественные методы сбора данных. Качественные данные, включая оценки весов компонент, получены на основе глубинных интервью и анкетирования специалистов, участвовавших в разработке и реализации стратегии цифровизации, а также представителей топ-менеджмента и линейного руководства.

Количественные данные были собраны из открытых источников и специализированной

информационной системы Контур.Фокус, а также предоставлены непосредственно из внутренних учетных баз предприятия. Для обработки данных использованы нормализация и шкалирование показателей, методы многокритериальной оценки (MCDA) и АНР, взвешенная аддитивная агрегация, динамический и покомпонентный анализ, а также декомпозиция прироста (waterfall).

Информационную основу исследования составили зарубежные научные статьи и обзоры, а также публикации, проиндексированные в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Ниже подробно описана методика расчета интегрального индекса цифровизации, разработанная авторами и примененная в рамках данного исследования.

В связи с тем, что расчеты проводились по периодам цифровизации, а именно за 2022, 2023 и 2024 гг., то рассчитывать нормализованные значения показателей компонентов эффекта цифровизации с применением метода min-max нормализации (Zavadskas et al., 2014) является методологически неоптимальным, так как крайние годы почти гарантированно будут граничные значения 0 и 1, при этом динамика 2023 г. будет искусственно завышаться, а шкала изменяться при добавлении нового периода. В связи с этим в методике используем центрирование на базе с порогом значимых изменений (Steele et al., 2009) см. формулы (2) и (3), где считаем изменение к 2022 г. и линейно откалибровываем так, чтобы отклонения на уровне $\pm \theta\%$ давали $(0, 1)$ при базовом значении эффектов цифровизации в 2022 г. на уровне 0,5:

- для benefit-метрики (выше = лучше):

$$d = \frac{X}{X_{2022}}, X_{norm} = clip\left(0,5 + \frac{d}{2\theta}, 0,1\right) \quad (2)$$

- для cost-метрики (ниже = лучше):

$$d = 1 - \frac{X}{X_{2022}}, X_{norm} = clip\left(0,5 + \frac{d}{2\theta}, 0,1\right) \quad (3)$$

где θ – значимая смена, которую принимаем за 0,3.

С одной стороны, выбор θ субъективен, но с другой – это управляемый параметр, который можно задавать в зависимости от критичности эффекта.

Таблица 1. Benefit-Cost классификация метрик компонентов цифровизации
Table 1. Benefit-Cost classification of digitalization component metrics

Компонент эффекта цифровизации	Название метрики	Обозначение	Тип
Экономический (E)	Производительность труда	LP	benefit
	Удельные переменные затраты	Kvc	cost
	Цикл оборота денежных средств	CCC	cost
Операционный (O)	Время производственного цикла	LT	cost
	Относительное количество ошибок в готовой продукции	D _R	cost
Технический (T)	Коэффициент технической готовности оборудования	AvR	benefit
	Уровень автоматизации технологических процессов	AuR	benefit
Социальный (S)	Уровень цифровой обученности	DL	benefit
	Текучесть персонала	ST	cost
Рыночный (CP)	Доля рынка	MS	benefit
	Уровень повторных продаж	RP	benefit

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

Классификация метрик, используемых для расчета компонентов эффектов цифровизации, представлена в *таблице 1*.

В настоящей методике все компоненты интегрального индекса эффективности цифровизации рассчитываются как нормализованные агрегированные индикаторы, отражающие изменения отдельных аспектов деятельности предприятия под воздействием цифровизации. Показатели, входящие в состав каждой компоненты, могут иметь различную экономическую природу (уровни, доли, временные интервалы и тому подобное), однако после нормализации приводятся к безразмерной шкале (0;1), что обеспечивает их сопоставимость.

Агрегирование показателей в рамках каждой компоненты осуществляется в форме взвешенной суммы и не предполагает интерпретации полученного значения как аддитивной экономической величины. Значения компонент отражают направление и интенсивность изменений соответствующих эффектов цифровизации и используются для сравнительного анализа динамики, структуры и вклада отдельных аспектов в интегральную оценку эффективности цифровизации.

Экономический компонент эффекта цифровизации (E)

Формула расчета экономического эффекта (4):

$$E = w_{LP} \times LP_{norm} + w_{Kvc} \times Kvc_{norm} + w_{CCC} \times CCC_{norm} \quad (4)$$

где LP_{norm} (Labor Productivity) – нормализованное значение производительности труда на одного сотрудника; метрика отражает экономию за счет автоматизации, уменьшения ручного труда и повышения эффективности персонала.

w_{LP} , w_{Kvc} , w_{CCC} – веса показателей, отражающие их относительную важность.

Расчет производительности труда по периоду осуществляется по формуле (5):

$$LP = \frac{Q}{T}, \quad (5)$$

где Q – объем произведенной продукции (в денежных показателях),

T – затраты труда (среднесписочная численность работников).

Kvc_{norm} (unit variable cost) – нормализованное значение удельных переменных затрат (в стоимостном выражении), обеспечиваемое за счет снижения брака, оптимизации закупок и автоматизированного планирования. Расчет удельных переменных затрат в стоимостном выражении по периоду осуществляется по формуле (6):

$$Kvc = \frac{VC}{R} \quad (6)$$

где VC – переменные затраты (в денежном выражении),

R – выпуск или выручка (в денежном выражении).

CCC_{norm} (Cash Conversion Cycle) – нормализованное значение времени, за которое

денежные средства, вложенные в производственно-сбытовой цикл, возвращаются обратно в виде поступлений от покупателей. Цифровизация напрямую влияет на CCC через:

- ERP / MES / SCM, которые сокращают запасы и ускоряют закупки,
- CRM / электронный документооборот / онлайн-оплаты, которые ускоряют оплату клиентами,
- E-procurement / интеграция с поставщиками, которые позволяют рационально управлять платежами.

В результате цифровизация сокращает CCC, что можно прямо трактовать как экономический эффект (ускорение оборота капитала).

Формула расчета CCC (7):

$$CCC = D_z + D_{deb} - D_{cred} \quad (7)$$

где D_z – период оборачиваемости запасов,

D_{deb} – период оборачиваемости дебиторской задолженности,

D_{cred} – период оборачиваемости кредиторской задолженности.

Операционный компонент эффекта цифровизации (O)

Формула расчета операционного эффекта (8):

$$O = w_{LT} \times LT_{norm} + w_D \times D_{Rnorm} \quad (8)$$

где LT_{norm} (Lead Time) – нормализованное значение производственного цикла / среднего (медианы) за период выполнения заказа, то есть общее время от момента поступления заказа до его отгрузки; один из самых чувствительных операционных показателей к цифровизации, в том числе при внедрении MES, ERP, APS, сквозного документооборота.

D_{Rnorm} (Defects Relative) – нормализованное значение относительного количества ошибок, сбоев, простоев, рассчитываемое по формуле (9):

$$D_R = \frac{D}{N} \quad (9)$$

где D – количество изделий со скрытым дефектом, обнаруженных у покупателя,

N – общее количество произведенных изделий.

Технический компонент эффекта цифровизации (T)

Формула расчета технического эффекта (10):

$$T = w_{AvR} \times AvR_{norm} + w_{AuR} \times AuR_{norm} \quad (10)$$

где AvR_{norm} – нормализованное значение коэффициента технической готовности оборудования (КГТ / Availability Rate), характеризующего долю времени, в течение которого оборудование доступно для выполнения производственных задач без простоев. В рамках настоящего исследования данный показатель используется для отражения изменений технической готовности оборудования, которые могут быть ассоциированы с внедрением цифровых решений в области мониторинга состояния и технического обслуживания.

Данный коэффициент рассчитывается по формуле (11):

$$AvR = \frac{T_{работы}}{T_{работы} + T_{простоя}} \quad (11)$$

где $T_{работы}$ – время, когда оборудование находится в исправном состоянии и может выполнять свои функции,

$T_{простоя}$ – суммарное время вынужденных простоев (ремонт, техническое обслуживание).

AuR_{norm} (Automation Rate) – нормализованное значение уровня автоматизации технологических процессов, характеризующее долю операций и участков, выполняемых в автоматизированном режиме. Данный показатель отражает изменения степени автоматизации производственных процессов, которые могут быть ассоциированы с внедрением цифровых решений и развитием информационно-технологической архитектуры предприятия. В практическом плане рост уровня автоматизации может быть связан с внедрением и интеграцией систем MES, SCADA, ERP, PLM и других цифровых решений, обеспечивающих автоматизированное управление и координацию технологических процессов.

Показатель рассчитывается по формуле (12):

$$AuR = \frac{N_{auto}}{N_{total}} \quad (12)$$

где N_{auto} – количество технологических операций (или ИТ-процессов), выполняемых автоматически (роботами или с применением средств АСУ, ERP и так далее),

N_{total} – общее количество операций в производственной или бизнес-системе.

Социальный компонент эффекта цифровизации (*S*)

Формула расчета социального эффекта (13):

$$S = w_{DL} \times DL_{norm} + w_{ST} \times ST_{norm} \quad (13)$$

где DL_{norm} (Digital Learning) – нормализованное значение уровня цифровой обученности, демонстрирует влияние платформы на повышение цифровой грамотности участников. Это доля пользователей, которые прошли обучение или сертификацию по работе с платформой или цифровыми технологиями благодаря ее внедрению. Данный показатель подчеркивает вклад платформы в развитие компетенций и важен для социальных целей компании, связанных с повышением уровня образования в части цифровизации. Если платформа требует обучения пользователей для эффективного использования, этот показатель становится важным для оценки ее социальной значимости.

ST_{norm} (Staff Turnover) – нормализованное значение текучести персонала, отражающее эффект цифровизации на качество условий труда: уменьшение рутины, повышение прозрачности, удобство ИТ-среды, а также влияние на мотивацию и вовлеченность сотрудников.

Формула расчета уровня цифровой обученности (14):

$$DL = \frac{N_{ed}}{N_{reg}} \quad (14)$$

где N_{ed} – количество обученных участников, N_{reg} – общее (зарегистрированное) количество участников, а за основу можно брать среднесписочное количество человек на предприятий.

Рыночный компонент эффекта цифровизации (*CP*)

Формула расчета рыночного эффекта (15):

$$CP = w_{MS} \times MS_{norm} + w_{RP} \times RP_{norm} \quad (15)$$

где MS_{norm} (Market Share) – нормализованное значение доли рынка ядра бизнес-экосистемы.

Формула расчета (16):

$$MS = \frac{S_{comp}}{S_{market}} \quad (16)$$

где S_{comp} – объем продаж компании (Sales of the company),

S_{market} – общий объем продаж на рынке (Total market sales).

RP (Repeat Purchase) – нормализованное значение повторных продаж за период. Показатель отражает степень лояльности, эффективность маркетинга и работы с постоянными клиентами, при этом цифровые технологии значительно расширяют возможности удержания клиентов, персонализации и совершенствования сервисов. Рассчитывается по формуле (17):

$$RP = \frac{N_{repeat}}{N_{unique}} \quad (17)$$

где N_{repeat} – количество уникальных клиентов, совершивших более одной покупки за выбранный период (Number of repeat customers),

N_{unique} – общее количество уникальных клиентов за тот же период (Total unique number of customers).

$$IIE = w_e \times E + w_o \times O + w_t \times T + w_s \times S + w_{sp} \times CP \quad (18)$$

Формула (18) представляет собой конкретизацию общей модели интегрального индекса эффективности цифровизации (1) для выбранного набора компонент эффектов и соответствующих весов:

Результаты исследования

Быстрая цифровизация отраслей привела к распространению сложных промышленных цифровых платформ и попыткам формирования различных цифровых бизнес-экосистем, однако немногие лидеры промышленных платформ успешно создали устойчивые бизнес-модели вокруг своих предложений (Björkdahl, 2020). Причиной этому может служить логика формирования ценностного предложения на начальном этапе формирования экосистемы. В отличие от рынка B2C², на B2B рынке формирование цифровой бизнес-экосистемы логичнее и эффективнее начинать с цифровизации внутреннего производственного процесса и, что еще более важно, с цифровизации выпускаемых продуктов.

Такого уровня цифровизация, как правило, является внутренней для компании, поэтому имеет на начальном этапе ограниченные возможности. Эти решения чаще всего структурированы как внутренне связанные системы, которые отслеживают деятельность машин

² B2C (Business-to-Consumer) – модель экономических отношений, при которой компания реализует товары или услуги напрямую конечным потребителям (физическим лицам).

и систем и могут предоставлять базовые цифровые услуги, такие как мониторинг запасных частей, интервалов технического обслуживания и иные подобные функции (Jovanovic et al., 2021). Цифровые экосистемы начального уровня соединяют виртуальные и физические объекты независимо от их локализации, что облегчает их удаленное управление через сетевые инфраструктуры (Rymaszewska et al., 2017). Используя свойства объектов, встроенных в беспроводные технологии (например, датчики, микропроцессоры, трекеры активности и подключенные устройства), продуктовые экосистемы, например, «Thingworx», «Mindsphere» или «SAP Leonardo», создают и обмениваются данными, которые добавляют новое измерение разработчикам стратегий и открывают возможности для формирования новых услуг (Berente et al., 2021).

Основываясь на научных публикациях о цифровизации экосистем (Madanaguli et al., 2023; Ковалев и др., 2025; Нигай, 2023), в настоящем исследовании цифровые бизнес-экосистемы разделены на четыре типа:

- 1) платформы для повышения эффективности промышленного продукта (экосистемы продукта, экосистемы цепочки поставок);
- 2) промышленные маркетплейсы – платформы для промышленных транзакций;
- 3) цифровые сервисные экосистемы;
- 4) многосторонние цифровые бизнес-экосистемы (Попов и др., 2024).

Согласно этой логике, исследуемая компания («ЭНСОНС» – производитель трансформаторно-реакторного оборудования³) находится в начальной точке цифровой эволюции, то есть на этапе перехода от традиционного типа к типу цифровой экосистемы продукта. Стратегия цифровизации компании на 2022–2024 гг. была разработана в соответствии с авторской методикой (Попов и др., 2025а).

В 2022–2024 гг. предприятие реализовало поэтапную цифровизацию, включающую формирование единого цифрового контура (ERP/PLM/CRM и корпоративные сервисы), автоматизацию ключевых процессов управления

и производства (в том числе планирование и диспетчеризацию), запуск элементов мониторинга производственных данных (IoT как шаг к цифровому двойнику), а также развитие цифровых компетенций персонала через обучение и внутренние коммуникации. Мониторинг реализации стратегии осуществлялся на основе интеграции ERP и аналитических инструментов (BI), что обеспечивало регулярную оценку динамики KPI и корректировку приоритетов цифровых инициатив. В дальнейшем предусмотрено внедрение интеллектуальных инструментов прогнозирования и сценарного моделирования, что позволит перейти к принципам адаптивного управления и повысить гибкость всей системы стратегического планирования.

Описание стратегии цифровизации «ЭНСОНС» по годам и занимаемая ей позиция в типологизации бизнес-экосистем важны для интерпретации результатов расчета индекса эффективности цифровизации. Далее показаны данные расчета индекса по представленной выше методике.

Расчет экономического компонента эффекта цифровизации (E)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе «Методология исследования», и составили: $w_{LP} = 0,43$, $w_{Kvc} = 0,30$, $w_{CCC} = 0,27$.

В таблице 2 представлены исходные значения метрик, относительные изменения и нормированные значения; отражены экономические эффекты по годам для каждой компоненты с учетом весовых характеристик.

Расчеты показывают, что значения экономического эффекта показывают устойчивый рост в течение двух лет подряд. Рынок 2023 г. обеспечили LP и Kvc, а в 2024 г. основной импульс дал CCC (ускорение оборота денежных средств), так как выручка/выработка уже находились на плато, и эффект начал перетекать в оборотный капитал.

Расчет операционного компонента эффекта цифровизации (O)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе

³ «Компания ЭНСОНС» [Электронный ресурс]. URL: <https://ensons.ru/company> (дата обращения: 06.11.2025).

Таблица 2. Расчет экономического компонента (E) эффекта цифровизации за 2022–2024 гг.
Table 2. Calculation of the economic component (E) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя		Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.
ΔLP_{norm}^{22-24}	0,500	Q, руб.	433 530 000	787 551 000	962 439 000
		T, чел.	104	108	127
		LP (benefit)	4 168 558	7 292 139	7 578 260
		LP_{norm}	0,500	1,000	1,000
$\Delta Kvc_{norm}^{22-24}$	0,179	R, руб.	433 530 000	787 551 000	962 439 000
		VC, руб.	241 384 000	394 529 000	480 334 000
		Kvc (cost)	0,56	0,50	0,50
		Kvc_{norm}	0,500	0,679	0,679
$\Delta CCC_{norm}^{22-24}$	0,270	D_{zr} дни	212	215	173
		D_{deb} дни	35	24	27
		D_{cred} дни	31	12	19
		CCC (cost)	216	227	181
		CCC_{norm}	0,500	0,415	0,770
Экономический компонент эффекта цифровизации					
ΔE^{22-24}	0,341	w_{LP}	0,43	0,43	0,43
		w_{Kvc}	0,30	0,30	0,30
		w_{CCC}	0,27	0,27	0,27
		E	0,500	0,746	0,841

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»
Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

«Методология исследования», и составили:
 $w_{LT} = 0,57$, $w_D = 0,43$.

В таблице 3 представлены исходные значения метрик операционного эффекта, относительные изменения и нормированные значения;

отражены операционные эффекты по годам для каждой компоненты с учетом весовых характеристик.

Из данных таблицы 3 видно, что операционный эффект показывает сильный рост в 2023 г.

Таблица 3. Расчет операционного компонента (O) эффекта цифровизации за 2022–2024 гг.
Table 3. Calculation of the operational component (O) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя		Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.
ΔLT_{norm}^{22-24}	0,080	LT, дни (cost)	104	93	99
		LT_{norm}	0,500	0,676	0,580
ΔD_{Rnorm}^{22-24}	0,500	N, шт.	296	352	550
		D, шт.	29	27	35
		D_R (cost)	0,098	0,077	0,064
		D_{Rnorm}	0,500	0,857	1,000
Операционный компонент эффекта цифровизации					
ΔO^{22-24}	0,261	w_{LT}	0,57	0,57	0,57
		w_D	0,43	0,43	0,43
		O	0,500	0,754	0,761

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»
Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

и небольшое увеличение в 2024 г. Основной драйвер – D_R (снижение дефектности), LT несколько снизил вклад в 2024 г. («эффект насыщения» после первичных улучшений), качество стабилизировалось, дальнейший прирост индекса требует больше усилий – нужна точечная оптимизация времени протекания процессов (выявление узких мест, диспетчеризация).

Расчет технического компонента эффекта цифровизации (Т)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе «Методология исследования», и составили: $w_{AuR} = 0,28$, $w_{AvR} = 0,72$.

В таблице 4 представлены исходные значения метрик технического эффекта цифровизации, относительные изменения и нормированные значения; отражены технические эффекты по компонентам на подкомпонентных весах.

Данные таблицы 4 показывают поступательный рост технического компонента без резких скачков. Основной вклад вносит AuR (доля автоматизации), тогда как AvR растет плавно. Аппаратное и программное обеспечение внедрены, следующим шагом является расширение охвата и повышение отказоустойчивости (доступности).

Расчет социального компонента эффекта цифровизации (S)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе «Методология исследования», и составили: $w_{DL} = 0,61$, $w_{ST} = 0,39$.

В таблице 5 представлены исходные значения метрик социального компонента цифровизации, относительные изменения и нормированные значения; отражены социальные эффекты по компонентам на подкомпонентных весах.

Из таблицы 5 видно, что в 2023 г. произошел значительный рост социального компонента за счет DL (обучение), но в 2024 г. возникла серьезная проблема по ST (текучести персонала), что снижает значение компонента. Отсутствие поддерживающих регламентов в обучении, а также мотивационной стратегии приводит к «утечке» социального компонента эффекта.

Расчет компонента эффекта цифровизации на изменения конкурентного состояния ядра бизнес-экосистемы (CP)

Веса показателей компонента приняты в соответствии с методикой, описанной в разделе «Методология исследования», и составили: $w_{MS} = 0,5$, $w_{RP} = 0,5$.

Таблица 4. Расчет технического компонента (Т) эффекта цифровизации за 2022–2024 гг.

Table 4. Calculation of the technical component (T) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя	Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
$\Delta AvR_{norm}^{22-24}$	0,075	$T_{работы}$ дни	312	319	327
		$T_{общее}$ дни	351	351	352
		AvR (benefit)	0,889	0,909	0,929
		AvR_{norm}	0,5	0,537	0,575
$\Delta AuR_{norm}^{22-24}$	0,500	N_{auto} шт.	888	1848	3053
		N_{total} шт.	17760	21120	33000
		AuR (benefit)	0,050	0,088	0,093
		AuR_{norm}	0,500	1,000	1,000
Технический компонент эффекта цифровизации					
ΔT^{22-24}	0,194	w_{AuR}	0,28	0,28	0,28
		w_{AvR}	0,72	0,72	0,72
		T	0,500	0,667	0,694

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»

Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

Таблица 5. Расчет социального компонента (S) эффекта цифровизации за 2022–2024 гг.
Table 5. Calculation of the social component (S) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя	Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
ΔDL_{norm}^{22-24}	0,500	N_{ed} , чел.	10	18	24
		N_{reg} , чел.	104	108	127
		DL (benefit)	0,096	0,167	0,189
		DL_{norm}	0,500	1,000	1,000
ΔST_{norm}^{22-24}	-0,193	ST (cost)	0,346	0,296	0,386
		ST_{norm}	0,500	0,741	0,307
Социальный компонент эффекта цифровизации					
ΔS^{22-24}	0,230	w_{DL}	0,61	0,61	0,61
		w_{ST}	0,39	0,39	0,39
		S	0,500	0,899	0,730

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»
Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

В таблице 6 представлены исходные значения метрик рыночного эффекта цифровизации, относительные изменения и нормированные значения; отражены рыночные эффекты по компонентам на подкомпонентных весах.

Здесь наблюдается нормальный рост компонента. Основной драйвер сместился с MS (доля рынка) в 2023 г. на RP (повторные покупки) в 2024 г. Цифровые процессы закрепили возврат клиентов; доля рынка не обязана расти постоянно, но важно удержать контур повторных продаж.

Расчет весов компонентов эффекта цифровизации

Расчет весов компонентов интегрального индекса цифровизации ($w_E, w_O, w_T, w_S, w_{CP}$) производился на основе данных экспертного опроса топ- и среднего уровня менеджмента ядра бизнес-экосистемы. Средние нормализованные значения матрицы попарного сравнения компонентов представлены в таблице 7.

Согласно расчету, веса компонентов приняли следующие значения $w_E = 0,44$; $w_O = 0,24$; $w_T = 0,14$; $w_S = 0,05$; $w_{CP} = 0,13$.

Таблица 6. Расчет рыночного компонента (CP) эффекта цифровизации, за 2022–2024 гг.
Table 6. Calculation of the market component (CP) of the digitalization effect, 2022–2024

Изменение показателя	Метрика	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
ΔMS_{norm}^{22-24}	0,088	S_{comp} , тыс. руб.	433 530	787 551	962 439
		S_{market} , тыс. руб.	1 039 020	1 500 060	2 194 351
		MS (benefit)	0,417	0,525	0,439
		MS_{norm}	0,500	0,932	0,588
ΔRP_{norm}^{22-24}	0,500	N_{repeat}	54	62	97
		N_{unique}	67	76	89
		RP (benefit)	0,806	0,816	1,090
		RP_{norm}	0,500	0,521	1,000
Рыночный компонент эффекта цифровизации					
ΔCP^{22-24}	0,294	w_{MS}	0,5	0,5	0,5
		w_{RP}	0,5	0,5	0,5
		CP	0,500	0,726	0,794

Источник: составлено авторами на основе учетных данных ООО «ЭНСОНС»
Source: compiled by the authors based on the accounting data of ENSONS LLC

Таблица 7. Средние нормализованные значения матрицы попарного сравнения для компонентов *E, O, T, S* и *CP***Table 7.** Average normalized values of the pairwise comparison matrix for components *E, O, T, S*, and *CP*

norm	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>CP</i>
E	0,47	0,57	0,46	0,32	0,37
O	0,16	0,19	0,26	0,21	0,37
T	0,14	0,13	0,12	0,19	0,11
S	0,08	0,05	0,04	0,05	0,03
CP	0,15	0,06	0,12	0,23	0,11

Источник: составлено авторами на основе анкетирования сотрудников компании

Source: compiled by the authors based on a survey of company employees

Для проверки согласованности используем индекс согласованности результатов, рассчитываемый по формуле (19):

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}, \quad (19)$$

где λ_{max} – максимальное собственное значение матрицы, для представленной матрицы равно 5,42;

n – размер матрицы (число критериев), равно 5.

$$CI = \frac{5,42 - 5}{5 - 1} = 0,105,$$

Далее согласно методу анализа иерархий необходимо рассчитать CR (Consistency Ratio, коэффициент согласованности) – показатель, который используется для оценки согласованности суждений экспертов при построении матриц попарных сравнений. CR позволяет определить,

насколько логичны и непротиворечивы оценки, внесенные в матрицу, по сравнению со случайным (несогласованным) заполнением, считается по формуле (20):

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (20)$$

где RI – табличное значение индекса случайной согласованности (для $n = 5$, $RI = 1,12$), тогда $CR = \frac{0,105}{1,12} = 0,09$. Так как $CR < 0,1$, то матрица считается согласованной и значения сравнения критериев экспертами транзитивны.

Наибольший вес имеет экономический эффект ($E = 0,44$), что отражает ориентацию экспертов компании на финансовую результативность цифровизации. Вторым по значимости является операционный эффект ($O = 0,24$), подчеркивающий ценность оптимизации процессов. Технический эффект ($T = 0,14$) и конкурентное предложение ($CP = 0,13$) занимают средние позиции, а социальный эффект ($S = 0,05$) признан наименее значимым, что свидетельствует о вторичности социального аспекта в восприятии цифровизации в компании (рисунок 1).

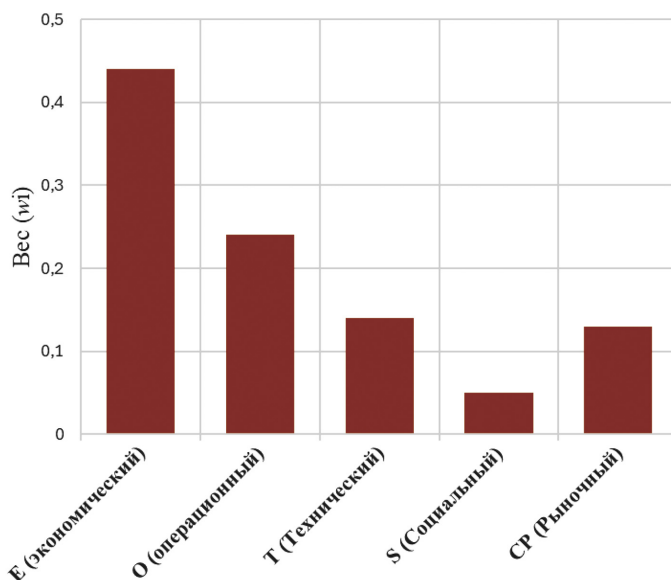


Рисунок 1. Гистограмма распределения весов компонентов интегрального индекса эффективности цифровизации

Figure 1. Histogram of the weight distribution of the components of the Integral digitalization efficiency index

Источник: составлено авторами

Source: compiled by the authors

Таблица 8. Расчет интегрального индекса цифровизации (ИИЕ) ядра бизнес-экосистемы за 2022–2024 гг.
Table 8. Calculation of the integral digitalization index (IIE) of the business ecosystem core, 2022–2024

Индекс цифровизации за период	IIE^{2022}	IIE^{2023}	IIE^{2024}	ΔIIE^{22-24}
Значение	0,5	0,742	0,790	0,290

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

Расчет индекса интегральной эффективности цифровизации (ИИЕ):

Результаты расчета индекса интегральной эффективности цифровизации представлены в таблице 8.

Из данных по динамике интегрального индекса эффективности цифровизации (таблица 8) следует, что в процессе реализации методики цифровизации компания достигла следующих значений ИИЕ:

- в 2023 г. $IIE = 0,742$, то есть рост к значению 2022 г. составил +0,242 пунктов (+48,36% к базе 2022 г.),
- в 2024 г. $IIE = 0,790$, то есть рост к значению 2022 г. составил +0,290 пунктов (+57,94% к базе) и +0,048 пунктов к 2023 г.

Визуализация результатов показан на рисунке 2.

Результаты внедрения цифровых технологий в рассматриваемые периоды можно

охарактеризовать по условной шкале зрелости следующим образом:

- 2022 г.: 0,50 – переходная стадия (стартовая база);
- 2023 г.: 0,74 – устойчивое положительное влияние, ближе к «зрелой фазе»;
- 2024 г.: 0,79 – укрепление зрелости, потенциал для дальнейшего роста сохранен.

Общий вывод состоит в том, что влияние цифровизации оказалось устойчиво положительным. Уже в 2023 г. интегральный индекс уверенно превысил порог зрелости 0,60, а в 2024 г. закрепил улучшение на уровне около 0,79. Это соответствует переходу от локальных эффектов к системным. При этом стоит отметить динамику прироста: 2023 г. к 2022 г. она составила +0,242, тогда как 2024 г. к 2023 г. – уже +0,048. Это означает, что основная часть прироста была достигнута в 2023 г. (за счет внедрения и запуска ключевых цифровых практик), а в 2024 г. рост

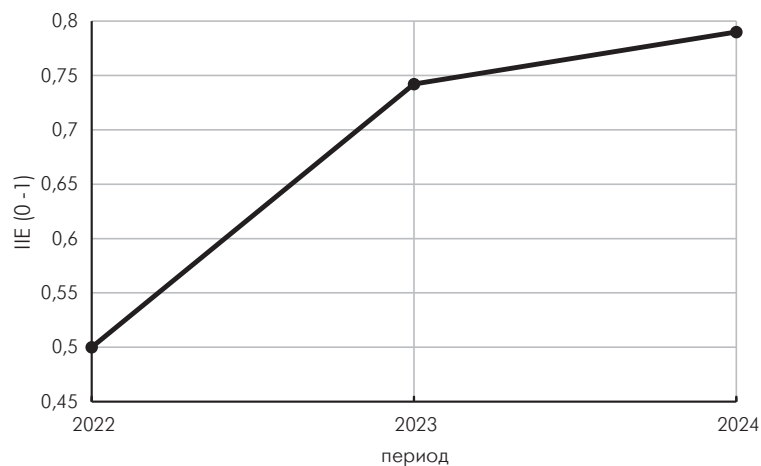


Рисунок 2. Динамика интегрального индекса цифровизации (ИИЕ)
Figure 2. Dynamics of the integral digitalization index (IIE)

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

продолжился, но замедлился, что является относительно типичным паттерном после реализации первичных эффектов цифровизации.

По таблицам вкладов эффектов (таблицы 2–6) видно следующее:

- экономический компонент (Е) и рыночный/клиентский (СР) заметно нарастили вклад в 2024 г.;
- операционный компонент (О) улучшился и стабилизировался;
- технический компонент (Т) растет поступательно;
- социальный компонент (S) снизился относительно 2023 г. за счет специфической ситуации на рынке труда, что частично замедлило общий темп прироста индекса в 2024 г.

Для более глубокого понимания вклада каждого из компонентов в изменение интегрального индекса эффективности цифровизации, то есть чтобы определить, сколько именно пунктов в ИЕ принес каждый компонент и выявить «узкие места», замедлившие рост в 2024 г., используем каскадную диаграмму (2022–2024), представленную на рисунке 3. Значения изменения компонентов рассчитаны по формуле (21):

$$\Delta ИЕ = \sum_k w_k \times (X_k^{2024} - X_k^{2022}) \quad (21)$$

Водопад за период с 2022 по 2024 гг. показывает общий прирост ИЕ = +0,2897. Доли компонентов в суммарном приросте распределились следующим образом (в порядке значимости):

- Е – 51,9% (+0,1503): главный драйвер роста за счет комбинации роста выработки, дисциплины оборотного капитала и умеренного снижения удельных переменных затрат;
- О – 21,6% (+0,0626): второй по значимости вклад, где цифровые практики качества дали более ощутимый эффект, чем ускорение времени производственного цикла;
- СР – 13,2% (+0,0382): цифровизация заметно усилила лояльность существующих клиентов/повторные сделки, при умеренном росте рыночной доли;
- Т – 9,4% (+0,0272): эффект в основном обусловлен расширением автоматизации технологических процессов, в меньшей степени – повышением доступности ИТ;

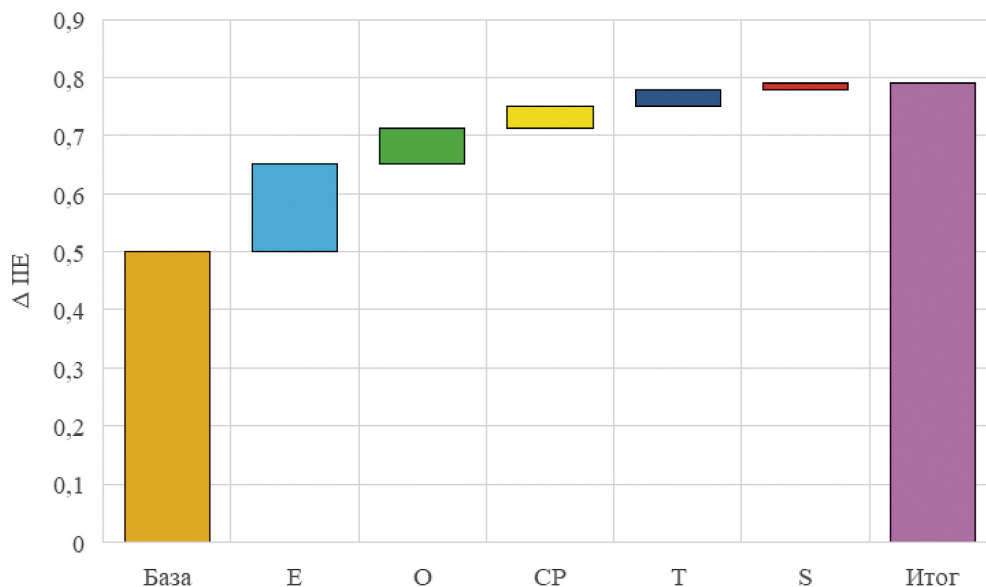


Рисунок 3. Каскадная диаграмма вкладов эффектов цифровизации за 2022–2024 гг.
Figure 3. Waterfall diagram of digitalization effect contributions, 2022–2024

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

- S – 4,0% (+0,0115): масштабное обучение цифровой грамотности дало вклад, но текучесть персонала частично нивелировала этот эффект.

Исходя из полученных результатов, можно сделать некоторые практические выводы по управлению системой цифровизации на будущие периоды (2025 и 2026 гг.):

1. Зафиксировать экономические драйверы (E):

- Продолжать практики, влияющие на ССС (управление складом, закупками, дебиторской и кредиторской задолженностью, сквозная план-факт аналитика). Этот рычаг в 2024 г. стал главным источником дополнительного прироста.
- LP достигло плато (нормализованное значение ~1,00); новые точки роста требуют не экстенсивного наращивания, а узкой настройки: балансировка мощностей, снижение переналадок, «тонкая» оптимизация R/O.

2. Усилить социальный компонент (S): Фокус на ST – стратегия на удержание персонала.

3. Возвратить динамику операционного компонента (O), показанную в 2023 г.: продолжить уменьшение D_R , который уже дал существенный эффект. Следующий шаг – улучшение LT через работу с узкими местами (картирование потока, такт-тайм, очереди, диспетчеризация, MES-системы), даже небольшой прогресс LT в 2025–2026 гг. заметно усилит ИЕ.

4. Масштабировать рыночные механики (CP) по удержанию клиентов: основной драйвер – RP. Формализовать систему повторных сделок: сегментация, триггеры, процедуры на обработку лидов/заявок, петли обратной связи из сервиса в продукт.

Для интерпретации значений ИЕ целесообразно использовать условную шкалу зрелости, например:

- <0,40 – фрагментарные инициативы;
- 0,40–0,59 – локальные эффекты;
- 0,60–0,74 – устойчивый эффект;
- ≥0,75 – сквозная оптимизация.

В исследуемом кейсе ИЕ вырос с 0,50 в 2022 г. до 0,79 в 2024 г., что соответствует переходу от локальных улучшений к устойчивому

системному эффекту цифровизации при наличии ограничений по отдельным компонентам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящего исследования разработан и апробирован методический подход к интегральной оценке эффективности цифровизации промышленного предприятия, основанный на агрегировании экономических, операционных, технических, социальных и рыночных эффектов. Полученные результаты демонстрируют возможность использования интегрального индекса как инструмента обобщенной оценки динамики эффективности цифровизации на уровне ядра бизнес-экосистемы.

Предлагаемый подход обладает рядом преимуществ:

- формирует единое аналитическое пространство для различных функциональных областей (финансов, производства, ИТ, коммерции), обеспечивая сопоставимость оценок и согласование приоритетов;
- интегральный индекс выполняет функцию раннего предупреждения, позволяя выявлять ухудшение отдельных параметров (например, денежного цикла или дисциплины исполнения) даже при формально благоприятной динамике выручки;
- использование индекса повышает обоснованность планирования цифровых инициатив за счет их привязки к ожидаемым изменениям конкретных эффектов и последующей верификации результатов.

Стоит учитывать, что применение интегрального индекса сопряжено с рядом ограничений. Агрегация показателей неизбежно упрощает реальность и требует осторожной интерпретации результатов. Корректность оценки зависит от качества исходных данных и регулярной актуализации весов и пороговых параметров; в противном случае индекс теряет аналитическую устойчивость. Кроме того, использование инструмента предполагает дополнительные затраты на измерения и развитие аналитической компетенции, без которых его практическая ценность существенно снижается. При этом авторы также понимают ключевое методологическое ограничение предложенного подхода к оценке связи

цифровизации с результатами деятельности предприятия, которое заключается в невозможности однозначного выделения вклада цифровизации в изменение интегрируемых эффектов, поскольку динамика соответствующих показателей формируется под воздействием совокупности факторов, не сводимых исключительно к цифровым преобразованиям.

Вместе с тем интегральный индекс эффективности цифровизации не задает универсального нормативного ориентира «предельного» уровня цифровизации для промышленного предприятия. Диапазон возможного дальнейшего роста индекса и связанной с ним эффективности определяется стадией цифровой зрелости компании, отраслевой спецификой, бизнес-моделью и организационными ограничениями. По мере приближения значений индекса к высоким уровням прирост эффективности от дальнейшей цифровизации, как правило, замедляется, а основной вклад начинают вносить не отдельные цифровые решения, а глубина их интеграции в бизнес-процессы, управленческие практики и взаимодействие с внешним контуром бизнес-экосистемы.

В этом смысле интегральный индекс может использоваться не как инструмент достижения абстрактного «максимального уровня цифровизации», а как навигационный показатель, позволяющий оценивать текущую позицию предприятия, выявлять зоны убывающей отдачи от цифровых инициатив и обосновывать переход от количественного наращивания цифровых решений к качественным изменениям в архитектуре управления и экосистемных взаимодействиях.

В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на развитие методики за счет повышения точности оценки (персонализация порогового параметра θ по компонентам индекса), усиления доказательной базы (использование контрфактических сравнений и анализ связи с финансовыми результатами), а также повышения адаптивности инструментария (динамические веса). Это позволит расширить аналитические возможности интегрального индекса и повысить его прикладную ценность.

Таким образом, в исследовании представлен и апробирован комплексный метод

интегральной оценки эффективности цифровизации ядра бизнес-экосистемы, результаты которого могут быть использованы для развития теоретических представлений о цифровой эффективности и формирования эмпирической базы дальнейших исследований.

Во-первых, использование интегрального индекса позволяет свести разрозненные показатели, отражающие различные эффекты цифровизации, в единый сопоставимый во времени аналитический показатель. Это упрощает интерпретацию результатов цифровизации и обеспечивает целостное представление о направлении и характере изменений эффективности деятельности предприятия. При этом агрегирование показателей в интегральный индекс не подменяет анализа отдельных компонент и метрик. Напротив, интерпретация динамики индекса предполагает обязательный покомпонентный анализ вкладов эффектов цифровизации, что позволяет выявлять источники роста или снижения интегрального показателя и избегать нивелирования разнонаправленных изменений. Результаты интегральной оценки могут использоваться в качестве информационной основы для анализа хода цифровизации, выявления узких мест и обоснования направлений корректировки стратегии цифрового развития предприятия.

Во-вторых, анализ динамики показателей позволяет рассматривать цифровизацию не как совокупность разрозненных инициатив, а как аналитически поддерживаемый цикл «диагностика → приоритизация → корректировка стратегии». Сопоставление во времени интегрального индекса и его компонент (E, O, T, S, CP) позволяет выявлять дисбалансы эффектов цифровизации: например, рост экономического компонента при стагнации операционного указывает на ограничения во времени протекания процессов (LT) или дисциплине исполнения (ST). Анализ вкладов компонент и отдельных метрик (LP, DR, RP, CCC и др.) обеспечивает идентификацию факторов, формирующих динамику индекса, и позволяет определить направления с наибольшим потенциалом улучшения. Это создает основу для адресной корректировки приоритетов цифровых инициатив, перераспределения ресурсов

и мониторинга устойчивости достигнутых результатов, а также выполняет функцию раннего предупреждения при ухудшении значимых компонент.

Авторство и вклад в научное исследование

Попов, Е.В.: Научное руководство, Разработка концепции.

Симонова, В.Л.: Административное руководство исследовательским проектом, Валидация результатов.

Зырянов, А.С.: Разработка методологии, Проведение исследования, Написание черновика рукописи, Визуализация, Написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Contributions

Popov, E.V.: Scientific supervision, Concept development.

Simonova, V.L.: Administrative management of the research project, Validation of results.

Zyrianov, A.S.: Methodology development, Study implementation, Manuscript drafting, Visualization, Manuscript writing – review and editing.

Конкурирующие интересы

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The authors declare no conflict of interest.

Список источников/ References

1. Абрамов, В.И., Гордеев, В.В., & Столяров, А.Д. (2024). Цифровая трансформация промышленных предприятий в цифровые бизнес-экосистемы: структурные компоненты и практические аспекты реализации. *Фундаментальные исследования*, (9), 78–85. EDN: EFIZBI, <https://doi.org/10.17513/fr.43680>
Abramov, V.I., Gordeev, V.V., & Stolyarov, A.D. (2024). Digital transformation of industrial enterprises into digital business ecosystems: Structural components and practical aspects of implementation. *Fundamental Research*, (9), 78–85. EDN: EFIZBI (in Russian) <https://doi.org/10.17513/fr.43680>
2. Васильева, Е.В. (2023). Методология исследования возможностей цифровых платформ и экосистем: Опыт применения Platform Innovation Kit. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*, 19(1), 24–35. EDN: AHQXPS, <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.024-035>
Vasilieva, E.V. (2023). Methodology for exploring the possibilities of digital platforms and ecosystems: Experience of using Platform Innovation Kit. *Modern Information Technologies and IT-Education*, 19(1), 24–35. EDN: AHQXPS (in Russian) <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.024-035>
3. Каленов, О.Е. (2023). Оценка эффективности деятельности бизнес-экосистем в цифровой экономике. *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*, 20(1(127)), 162–174. EDN: VJXTRC, <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2023-1-162-174>
Kalenov, O.E. (2023). Estimating Efficiency of Business Ecosystem Functioning in Digital Economy. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, 20(1(127)), 162–174. EDN: VJXTRC (in Russian) <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2023-1-162-174>
4. Ковалев, В. Е., Ярошевич, Н. Ю., & Комарова, О. В. (2025). Цифровое будущее машиностроения: Оценка потенциала формирования платформенных рынков. *Управленец*, 16(1), 35–47. EDN: IYNDUH, <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2025-16-1-3>
Kovalev, V.E., Yaroshevich, N.Yu., & Komarova, O.V. (2025). The digital future of mechanical engineering: Assessing the potential for platform markets. *Upravlenets (The Manager)*, 16(1), 35–47. EDN: IYNDUH (in Russian) <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2025-16-1-3>
5. Нигаи, Е.А. (2023). Формирование цифровых экосистем бизнеса в условиях развития информационного общества: Управленческий аспект. *Ars Administrandi (Искусство управления)*, 15(3), 353–376. EDN: OFEWBY, <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2023-3-353-376>
Nigai, E.A. (2023). Digital business ecosystems formation in the context of information society development: Management aspect. *Ars Administrandi (The Art of Management)*, 15(3), 353–376. EDN: OFEWBY (in Russian) <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2023-3-353-376>
6. Попов, Е.В., Симонова, В.Л., & Зырянов, А.С. (2024). Эволюция бизнес-экосистем в промышленности: от классического типа к цифровым. *Информатизация в цифровой экономике*, 5(3), 341–360. EDN: LVPLGO, <https://doi.org/10.18334/ide.5.3.121748>

- Popov, E.V., Simonova, V.L., & Zyrianov, A.S. (2024). The evolution of business ecosystems in industry: From the classical to the digital type. *Informatization in the Digital Economy*, 5(3), 341–360. EDN: LVPLGO (in Russian) <https://doi.org/10.18334/ide.5.3.121748>. (in Russian)
7. Попов, Е.В., Симонова, В.Л., & Зырянов, А. С. (2025а). Формирование стратегии цифровизации бизнес-экосистемы промышленного предприятия. *Экономика и управление*, 31(5), 576–592. EDN: TBAVVS, <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2025-5-576-592>
 8. Попов, Е.В., Симонова, В.Л., & Зырянов, А.С. (2025b). Индекс интегральной эффективности цифровой платформенной бизнес-экосистемы. *Экономика промышленности*, 18(3), 405–420. EDN: NBPLIG, <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-3-1440>
 9. Alhassan, M., & Adam, I. (2021). The effects of digital inclusion and ICT access on the quality of life: A global perspective. *Technology in Society*, (64), 101511. EDN: LNZOSV, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101511>
 10. Berente, N., Gu, B., Recker, J., & Santhanam, R. (2021). Managing artificial intelligence. *MIS Quarterly*, 45(3), 1433–1450. EDN: ZDHGRI, <https://doi.org/10.25300/MISQ/2021/16274>
 11. Björkdahl, J. (2020). Strategies for digitalization in manufacturing firms. *California Management Review*, 62(4), 17–36. EDN: NXYFTB, <https://doi.org/10.1177/0008125620920349>
 12. Brynjolfsson, E., Hitt, L.M., & Kim, H.H. (2011). Strength in numbers: How does data-driven decision making affect firm performance? In *Proceedings of the International Conference on Information Systems (ICIS2011)* (pp. 541–558). Association for Information Systems. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1819486>
 13. Cubric, M. (2020). Drivers, barriers and social considerations for AI adoption in business and management: A tertiary study. *Technology in Society*, (62), 101257. EDN: DJMDBS, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101257>
 14. Deepu, T.S., & Ravi, V. (2021). Exploring critical success factors influencing adoption of digital twin and physical internet in electronics industry using grey-DEMATEL approach. *Digital Business*, 1(2), 100009. EDN: LCWWVT, <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2021.100009>
 15. Hanelt, A., Busse, S., & Kolbe, L.M. (2017). Driving business transformation toward sustainability: Exploring the impact of supporting IS on the performance contribution of eco-innovations. *Information Systems Journal*, 27(4), 463–502. <https://doi.org/10.1111/isj.12130>
 16. Hess, T., Matt, C., Benlian, A., & Wiesbock, F. (2016). Options for formulating a digital transformation strategy. *MIS Quarterly Executive*, 15(2), 123–139.
 17. Jovanovic, M., Sjodin, D., & Parida, V. (2022). Co-evolution of platform architecture, platform services, and platform governance: Expanding the platform value of industrial digital platforms. *Technovation*, (118), 102218. EDN: GDZUGD, <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102218>
 18. Madanaguli, A., Parida, V., Sjodin, D., & Oghazi, P. (2023). Literature review on industrial digital platforms: A business model perspective and suggestions for future research. *Technological Forecasting and Social Change*, (194), 122606. EDN: WFJTBI, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122606>
 19. Meng, F., & Wang, W. (2020). Research on the mechanism of digitalization to the improvement of manufacturing enterprises performance based on mediating effect. In *2020 6th IEEE International Conference on Information Management (ICIM)* (pp. 122–126). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIM49319.2020.244683>
 20. Nandkumar, A., Mani, D., & Bharadwaj, A. (2018). Market returns to digital innovations: A group based trajectory approach. *Academy of Management Proceedings*, 2018(1), 15241. <https://doi.org/10.5465/ambpp.2018.15241abstract>
 21. Park, Y., & Saraf, N. (2016). Investigating the complexity of organizational digitization and firm performance: A set-theoretic configurational approach. In *Proceedings of the 22nd Americas Conference on Information Systems (AMCIS2016)*. Association for Information Systems.
 22. Rymaszewska, A., Helo, P., & Gunasekaran, A. (2017). IoT powered servitization of manufacturing: An exploratory case study. *International Journal of Production Economics*, (192), 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.016>
 23. Rungi, M. (2019). Digitalization: Size doesn't matter, put focus on product-and-service, not on process. In *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 741–745). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978749>

24. Sener, E., & Yuksel, A.N. (2017). The reflections of digitalization at organizational level: industry 4.0 in Turkey. *Pressacademia*, 6(3), 291–300. <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2017.688>
25. Sia, S.K., Soh, C., & Weill, P. (2016). How DBS Bank pursued a digital business strategy. *MIS Quarterly Executive*, 15(2), 105–121.
26. Steele, K., Carmel, Y., Cross, J., & Wilcox, C. (2009). Uses and misuses of multicriteria decision analysis (MCDA) in environmental decision making. *Risk Analysis*, 29(1), 26–33. EDN: MMJGDH, <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01130.x>
27. Verhoef, P.C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J.Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. EDN: BUXSM, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
28. Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). The nine elements of digital transformation. *MIT Sloan Management Review*, 55(3), 1–6.
29. Zavadskas, E.K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165–179.

Информация об авторах

Попов Евгений Васильевич – доктор экономических наук, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Центра социально-экономических исследований Уральского института управления РАНХиГС; ORCID 0000-0002-5513-5020, Scopus Author ID: 24822113400, WoS Researcher ID: H-3358-2015 (Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 66; e-mail: epopov@mail.ru).

Симонова Виктория Львовна – кандидат экономических наук, заместитель директора Центра социально-экономических исследований Уральского института управления РАНХиГС; ORCID: 0000-0003-2814-464X, WoS Researcher ID: j-7050-2017 (Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 66; e-mail: simonova4@yandex.ru).

Зырянов Александр Сергеевич – аспирант Уральского института управления РАНХиГС, ORCID 0009-0002-2015-6742; WoS Researcher ID: LEL-8920-2024 (Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 66; e-mail: zyrianov.info@gmail.com).

Authors

Evgeny V. Popov – Doctor of Economic Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Center for Socio-Economic Research of the Ural Institute of Management RANEPА; ORCID 0000-0002-5513-5020, Scopus Author ID: 24822113400, WoS Researcher ID: H-3358-2015 (66, 8 Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: epopov@mail.ru).

Victoria L. Simonova – Candidate of Economic Sciences, Deputy Director of the Center for Socio-Economic Research of the Ural Institute of Management RANEPА; ORCID 0000-0003-2814-464X; WoS Researcher ID: j-7050-2017; (66, 8 Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: simonova4@yandex.ru).

Aleksandr S. Zyrianov – Postgraduate student of the Ural Institute of Management RANEPА; ORCID 0009-0002-2015-6742; WoS Researcher ID: LEL-8920-2024; (66, 8 Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: zyrianov.info@gmail.com).

Поступила в редакцию (Received) 14.01.2026

Поступила после рецензирования (Revised) 17.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 11.03.2026

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТРАСЛИ
ЭКОНОМИКИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ**

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
УДК: 332.05
JEL: O32
EDN: BJOXWU

**Научно-методический аппарат описания
динамики развития цифровых технологий****И.О. Жаринов¹, О.О. Жаринов²**

¹ Акционерное общество «Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: mpbva@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: zharinov73@inbox.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена недавно принятой на государственном уровне серией институциональных документов, предусматривающих цифровизацию национальной экономики России, и отсутствием научно-методического аппарата описания динамики развития цифровых технологий, которым в этих институциональных документах отведена приоритетная роль в достижении национальной цели технологического лидерства России. Цель исследования заключается в создании специального научно-методического аппарата описания динамики развития цифровых технологий, релевантного экономической науке и ее направлению «экономика технологий». Используются методы теории устойчивого развития экономики и промышленности, теории вероятностей и математической статистики, методы системного анализа, а также дифференциального исчисления. В качестве результата исследования предлагается новый научно-методический аппарат, адекватный экономическому содержанию процессов динамики развития цифровых технологий, обусловленной движением цифровых технологий по возрастающим уровням их готовности (зрелости). Показано, что динамика развития цифровых технологий имеет две самостоятельные составляющие, а именно: поступательную и вероятностную. Поступательная часть развития цифровых технологий описывает снижение затрат по фактору труда и по фактору капитала, образующееся в результате повышения уровня готовности каждой технологии. Вероятностная часть развития цифровых технологий отражает случайные задержки процесса развития, зависящие от внешних условий. Совокупный учет влияния обеих составляющих развития цифровых технологий способствует повышению организационно-экономической управляемости процессами разработки технологических инноваций и совершенствованию экономико-математического инструментария прогнозирования научно-технического прогресса.

Ключевые слова: экономика технологий, цифровые технологии, уровень готовности, динамика, научно-технологическое развитие, научно-технический прогресс

Информация о финансировании: Данное исследование выполнено без внешнего финансирования.

Для цитирования: Жаринов, И.О., & Жаринов, О.О. (2026). Научно-методический аппарат описания динамики развития цифровых технологий. *Экономика науки*, 12(1), 106-121. EDN: BJOXWU

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS AND ITS IMPACT ON INDUSTRIES,
ECONOMIC GROWTH, AND INNOVATIVE DEVELOPMENT**

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
JEL: O32
EDN: BJOXWU

**Scientific and methodological apparatus for describing
the dynamics of digital technology development****I.O. Zharinov¹, O.O. Zharinov²**

¹ Stock company «Experimental design bureau «Electroavtomatika» named after P.A. Yefimov», St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: mpbva@mail.ru

² Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: zharinov73@inbox.ru

Abstract. The relevance of the research is due to the recently adopted series of institutional documents at the state level providing for the digitalization of the Russian national economy, and the lack of a scientific and methodological framework for describing the dynamics of digital technologies, which in these institutional documents are given a priority role in achieving the national goal of technological leadership in Russia. The purpose of the research is to create a special scientific and methodological apparatus for describing the dynamics of digital technology development, relevant to economics and its field of technology economics. The methods of the theory of sustainable economic and industrial development, probability theory and mathematical statistics, methods of system analysis, and differential calculus are used. As a result of the research, a new scientific and methodological framework is proposed that is adequate to the economic content of the processes of digital technology development dynamics caused by the movement of digital technologies at increasing levels of their readiness (maturity). It is shown that the dynamics of digital technology development has two independent components, namely: translational and probabilistic. The progressive part of the development of digital technologies describes the reduction in labor and capital costs resulting from an increase in the availability of each technology. The probabilistic part of the development of digital technologies reflects random delays in the development process, depending on external conditions. The combined consideration of the impact of both components of the development of digital technologies contributes to improving the organizational and economic manageability of technological innovation development processes and improving the economic and mathematical tools for forecasting scientific and technological progress.

Keywords: technology economics, digital technologies, readiness level, dynamics, scientific and technological development, scientific and technological progress

Funding: This research received no external funding.

For citation: Zharinov, I.O., & Zharinov, O.O. (2026). Scientific and methodological apparatus for describing the dynamics of digital technology development. *Economics of Science*, 12(1), 106-121. EDN: BJOXWU

Введение

Экономика технологий является сформировавшимся направлением научных исследований, результаты которых позволяют устанавливать экономические закономерности научно-технического прогресса в технологической системе национальной экономики государства.

В проблемном поле экономики технологий традиционно оказываются:

а) научные категории, которые рассматриваются исследователями в контексте описания структуры частных технологических платформ экономических агентов и общих технологических укладов национальных экономик, в которых наблюдаются эволюционные и революционные формы реализации научно-технического прогресса;

б) научно-практические задачи выявления постоянных и переменных факторов и условий, влияющих на изменения технологических потребностей рынка и поведение технологий в их жизненном цикле, представляющем собой совокупность последовательно сменяющих друг друга этапов инновационного процесса, в течение которых технологии проходят фазы от зарождения до замены качественно новыми;

в) микро-, мезо- и макроэкономические эффекты, возникающие в национальной экономике от распространения технологий в масштабах национальной инновационной системы и от перевода промышленной инфраструктуры экономических агентов на новые технологии, то есть от замещения ранее используемых и морально устаревших технологий новыми в технологических системах разных уровней, и так далее (Бурлов & Багинов, 2024; Коробушин и др., 2024; Мызрова и др., 2024).

Малоизученной в экономической науке является *динамика* развития цифровых технологий, которым согласно национальному проекту «Экономика данных и цифровая трансформация государства»¹ на государственном уровне отведена приоритетная роль в достижении национальной цели технологического лидерства России (Славин, 2025).

Актуальность научного интереса к исследованию динамики развития цифровых технологий обусловлена следующими обстоятельствами:

¹ Национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства» утвержден протоколом Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 20 декабря 2024 г. № 12пр. в рамках реализации Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

а) наблюдаемыми сегодня процессами цифровизации технологической системы отечественной национальной экономики и ее трансформации² в комплементарную форму взаимодействия физического и информационного (цифрового, виртуального) пространств;

б) отсутствием в экономической науке специального научно-методического аппарата описания динамики развития цифровых технологий, имеющих двуединое практическое применение как в физическом, так и в информационном пространствах технологической системы национальной экономики государства (Жаринов, 2023; Агафонцев, 2025; Иванова & Шепелева, 2025).

Целью исследования является создание специального научно-методического аппарата описания динамики развития цифровых технологий, релевантного экономической науке и ее направлению «экономика технологий». В статье рассматриваются цифровые технологии производственного назначения (Жаринов & Жаринов, 2024; Жаринов & Жаринов, 2025), имеющие перспективы широкого практического применения в различных отраслях российской промышленности.

Методы и методология исследования

Под динамикой развития цифровых технологий следует понимать процесс целенаправленного изменения уровней готовности цифровых технологий на дискретной шкале TRL (Technology Readiness Levels). В отечественной системе стандартов шкала TRL определена в ГОСТ Р 71726–2024³, согласно методическим рекомендациям которого каждому качественному состоянию развития некоторой

технологии соответствует количественный уровень ее развития (зрелости).

Шкала TRL является универсальной, то есть не специфична конкретно к цифровым технологиям, и содержит $n = 9$ уровней готовности технологий любой практической направленности (сферы применения). Шкала формализует представление этапов развития технологий от начальной фазы TRL1 зарождения идеи или концепции создания новой технологии до финальной фазы TRL9 конечного состояния развития новой технологии, отвечающего возможности ее широкого практического применения по назначению в одной или нескольких отраслях промышленности.

Любая новая технология в процессе своего развития осуществляет стандартизованное движение по возрастающим уровням готовности, соответствующее схеме: TRL1→TRL9. Именно такое движение цифровой технологии и формирует ее динамику в контексте рассмотрения проблематики развития (Матерова и др., 2024; Шумкова и др., 2025). Это первый базовый методический принцип исследования, согласно которому динамика развития каждой цифровой технологии определена единообразной схемой движения по траектории: TRL1→TRL9.

В процессе своего развития внутреннее содержание цифровых технологий трансформируется. Релевантными экономической науке параметрами изменения интересующих нас цифровых технологий будем считать: $m(t), s(t), v(t), z(t)$ – параметры фазового пространства некоторой развиваемой цифровой технологии, определяющие соответственно материалоемкость, энергоемкость, трудоемкость и транзакционоемкость технологии, зависящие от времени. Время в данном случае выступает самостоятельной мерой изменения цифровой технологии, достигаемого в процессе развития:

$$t_{\text{кон}} > \dots > t_{n-i-1} > t_{n-i} > \dots > t_{\text{нач}},$$

$$\Delta t = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}} = \sum_{i=0}^{n-2} (t_{n-i-1} - t_{n-i}), n = 9. \quad (1)$$

Это второй базовый методический принцип настоящего исследования, согласно которому учитываются не только изменения параметров

² Интегрированное физическое и информационное пространство технологической системы национальной экономики определено в исследовании как совокупность экономических систем макро-, мезо- и микроуровней экономики промышленного назначения, а также совокупность способов, механизмов и инструментов, определяющих виды и формы внутрифирменного и межфирменного взаимодействия, подлежащие в эпоху цифровизации национальной экономики России кардинальному изменению посредством их масштабного замещения на новые, использующие цифровые технологии.

³ ГОСТ Р 71726-2024. *Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня готовности технологий (TRL)*. Российский институт стандартизации.

$m(t), s(t), v(t), z(t)$ цифровой технологии, но и время, затраченное разработчиками на достижение этих изменений.

Параметры материалоемкости $m(t)$ и трудоемкости $v(t)$ фазового пространства развиваемых цифровых технологий будем условно относить к экономическому фактору труда, причем: $m(t)$ в физическом пространстве технологической системы, а $v(t)$ – в информационном пространстве технологической системы; а параметры энергоемкости $s(t)$ и транзакционоемкости $z(t)$ фазового пространства развиваемых цифровых технологий будем условно относить к экономическому фактору капитала, причем: $s(t)$ в физическом пространстве технологической системы, а $z(t)$ – в информационном пространстве технологической системы.

Таким образом, цифровые технологии имеют двуединое применение как в физическом, так и в информационном пространствах, но в пределах каждого пространства характеризуются своей парой параметров: соответственно $m(t), v(t)$ в одном пространстве и $s(t), z(t)$ в другом пространстве. Это третий базовый методический принцип исследования, согласно которому разделение вторичных факторов производства установлено во взаимосвязи с теоретической целью и практическим акцентом исследования.

Методическим допущением процесса развития цифровой технологии является неизменное и параллельное снижение параметров $m(t), s(t), v(t), z(t)$ в каждой фазе развития в течение времени. Такое допущение обосновывается целью развития, согласно которой использование более совершенной по уровню готовности цифровой технологии приводит к общему снижению объемов потребления факторов производства, как по фактору труда, так и по фактору капитала. Это методическое допущение распространяется на обе современные составляющие технологической системы национальной экономики: физическую и информационную.

Представленная методология развития цифровых технологий, а также параметризация динамики их развития по своему содержанию согласуются с общепринятыми

принципами развития, закрепленными как в российских национальных стандартах, так и в международных стандартах в рассматриваемой предметной области (Трофимова, 2025). В этом смысле полученные новые научные результаты, оформленные в виде специального научно-методического аппарата описания *динамики* развития цифровых технологий, претендуют в экономической науке в целом и в экономике технологий в частности на обоснованную фундаментальность.

Авторская идея описания динамики развития цифровых технологий заключается в учете как детерминированных, так и стохастических компонентов развития, наблюдаемых во времени. Оригинальность идеи состоит в двуедином моделировании динамики развития цифровых технологий:

- а) поступательная часть развития каждой цифровой технологии описывает снижение затрат по фактору труда и по фактору капитала, достигаемое в результате повышения уровней готовности технологий, и поддается дифференциальной формализации (применяется математический аппарат дифференциальных исчислений) в рамках предлагаемого авторами настоящего исследования научно-методического аппарата;
- б) вероятностная часть развития каждой цифровой технологии отражает случайные задержки процесса развития, зависящие от внешних условий (например, от объема инвестиционных вложений в развитие цифровой технологии, от графика поступления платежей, от результатов развития «смежных» цифровых технологий и так далее), и описывается инструментарием теории вероятностей и математической статистики.

С методической точки зрения научная ценность авторской идеи двуединого моделирования динамики развития заключается в возможности более точного прогнозирования длительности прохождения каждой цифровой технологией своих уровней готовности и обеспечивает повышение организационно-экономической управляемости процессами разработки технологических инноваций.

Результаты исследования

Развитие цифровых технологий по своей сути является целенаправленным процессом и, следовательно, научная задача такого развития должна быть четко формализована. Будем полагать, что двуединая задача развития некоторой i -ой цифровой технологии в аналитическом виде имеет вид:

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} \underset{n \in [1,9]}{\operatorname{argmin}} \left\{ \max_{m \in \mathbf{M}, s \in \mathbf{S}} \left\{ w_n^{i,p}(t, m, s) \right\} \right\}, \\ w_n^{i,p}(t, m, s) = 1/W_n^{i,p}(t, m, s) \\ \underset{n \in [1,9]}{\operatorname{argmin}} \left\{ \max_{v \in \mathbf{V}, z \in \mathbf{Tr}} \left\{ w_n^{i,c}(t, v, z) \right\} \right\}, \\ w_n^{i,c}(t, v, z) = 1/W_n^{i,c}(t, v, z) \end{array} \right\} \Rightarrow \\ & \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \underset{n \in [1,9]}{\operatorname{argmin}} \left\{ \min_{m \in \mathbf{M}, s \in \mathbf{S}} \left\{ W_n^{i,p}(t, m, s) \right\} \right\}, \\ \underset{n \in [1,9]}{\operatorname{argmin}} \left\{ \min_{v \in \mathbf{V}, z \in \mathbf{Tr}} \left\{ W_n^{i,c}(t, v, z) \right\} \right\} \end{array} \right\}, \quad (2) \end{aligned}$$

где $W_n^{i,p}(t, m, s), W_n^{i,c}(t, v, z)$ – двухфакторные функции развития во времени i -ой цифровой технологии для соответственно физического (p) и информационного (c) пространств, имеющей текущий n -ый уровень $w_n^{i,p}(t, m, s), w_n^{i,c}(t, v, z)$, готовности; $\mathbf{M}, \mathbf{S}, \mathbf{V}, \mathbf{Tr}$ – множества, на которых определены изменяющиеся во времени параметры $m(t), s(t), v(t), z(t)$ фазового пространства цифровой технологии. Для упрощения записей математических выражений далее зависимости параметров $m(t), s(t), v(t), z(t)$ от времени, а также зависимости уровней готовности $w_n^{i,p}(t, m, s), w_n^{i,c}(t, v, z)$, от аргументов и не всегда будут указываться, но везде сохраняются.

По своей структуре впервые введенные О.С. Сухаревым (Сухарев, 2014) функции развития $W_n^{i,p}(t, m, s), W_n^{i,c}(t, v, z)$, соответствуют двухфакторной производственной функции Cobb Ch.W. – Douglas P.H., то есть:

$$\begin{aligned} W_n^p(t, m, s) &= Q_n m_n^{\gamma_n}(t) s_n^{\beta_n}(t), \\ W_n^c(t, v, z) &= L_n v_n^{\alpha_n}(t) z_n^{\chi_n}(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где L, Q – общие факторные производительности; $\gamma, \beta, \alpha, \chi$ – коэффициенты эластичности выпуска, определяющие степенные показатели параметров затрат факторов производства

в физическом и информационном пространствах технологической системы экономического агента при изготовлении единицы продукции. Выбор функций развития, обусловленный теоретическими соображениями, согласуется с представлениями об экономическом смысле процессов развития цифровых технологий, а математические свойства функций развития соответствуют экономическому содержанию этих процессов.

Здесь и далее предполагается, что результаты развития получены при фиксированном объеме производства и в условиях технологической системы некоторого экономического агента, осуществляющего промышленный выпуск продукции. Это необходимо, чтобы обеспечивалась возможность объективной оценки изменений объемов потребления факторов производства, достигаемых в процессе развития цифровых технологий, т.к. для разных технологических систем параметры m, s, v, z отличаются и анализ результатов развития опирается на сравнения параметров m, s, v, z до начала процесса развития и по его окончании в фиксированных условиях.

В рамках принятых ранее методических принципов и допущений (см. раздел «Методы и методология исследования»), а также введенных символьных обозначений для функций $W_n^{i,p}(t, m, s), W_n^{i,c}(t, v, z)$, развития цифровых технологий, справедливо следующее:

$$\begin{aligned} W_n^p(t, \lambda m, \lambda s) &> \lambda W_n^p(t, m, s), \\ W_n^c(t, \lambda v, \lambda z) &> \lambda W_n^c(t, v, z), \quad \lambda > 1, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} W_1^p(t, m, s) &= Q_1 m^{\gamma_1} s^{\beta_1}, \\ W_2^p(t, m, s) &= Q_2 m^{\gamma_2} s^{\beta_2}, \dots, \\ W_n^p(t, m, s) &= Q_n m^{\gamma_n} s^{\beta_n}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} W_1^c(t, v, z) &= L_1 v^{\alpha_1} z^{\chi_1}, \\ W_2^c(t, v, z) &= L_2 v^{\alpha_2} z^{\chi_2}, \dots, \\ W_n^c(t, v, z) &= L_n v^{\alpha_n} z^{\chi_n}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \gamma_1 < \gamma_2 < \dots < \gamma_n, \quad \beta_1 < \beta_2 < \dots < \beta_n, \\ Q_1 < Q_2 < \dots < Q_n, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_n, \quad \chi_1 < \chi_2 < \dots < \chi_n, \\ L_1 < L_2 < \dots < L_n, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\langle \gamma, \beta, Q \rangle = \begin{cases} \gamma = \gamma_{i+1}, m(t) \leq m_{\text{TRL}_{i+1}}, s(t) \leq s_{\text{TRL}_{i+1}} \\ \beta = \beta_{i+1}, m(t) \leq m_{\text{TRL}_{i+1}}, s(t) \leq s_{\text{TRL}_{i+1}}, i = 1, 2, \dots, 8, \\ Q = Q_{i+1}, m(t) \leq m_{\text{TRL}_{i+1}}, s(t) \leq s_{\text{TRL}_{i+1}} \end{cases} \quad (9)$$

$$m_{TRL9} < m_{TRL8} < \dots < m_{TRL1}, s_{TRL9} < s_{TRL8} < \dots < s_{TRL1}, \quad (10)$$

$$\langle \alpha, \chi, L \rangle = \begin{cases} \alpha = \alpha_{i+1}, v(t) \leq v_{TRL_{9-i}}, z(t) \leq z_{TRL_{9-i}} \\ \chi = \chi_{i+1}, v(t) \leq v_{TRL_{9-i}}, z(t) \leq z_{TRL_{9-i}}, i = 1, 2, \dots, 8, \\ L = L_{i+1}, v(t) \leq v_{TRL_{9-i}}, z(t) \leq z_{TRL_{9-i}} \end{cases} \quad (11)$$

$$v_{TRL9} < v_{TRL8} < \dots < v_{TRL1}, z_{TRL9} < z_{TRL8} < \dots < z_{TRL1}. \quad (12)$$

Графики функций развития $W^{i,p}(t, m, s)$, $W^{i,c}(t, v, z)$, цифровых технологий с описанными свойствами (4)–(12) для наглядности представлены на рисунке 1.

На рисунке 1 введены следующие символные обозначения: $m = M/Z$ – материалоемкость; $s = S/Z$ – энергоемкость; $z = Tr/Z$ – транзакционоемкость; $v = V/Z$ – трудоемкость цифровой технологии; M – затраты материалов; S – затраты энергии; Z – продукт (выручка); V – затраты труда; Tr – транзакционные издержки, свойственные цифровой технологии n -го уровня развития (готовности) при ее практическом применении по назначению в условиях технологической системы экономического агента, имеющей физическую и информационную составляющие.

Как следует из анализа рисунка 1, характер движения цифровой технологии по траектории повышения уровня своей готовности может быть различным и определяется знаками первых и вторых производных изменения материалоемкости, энергоемкости, трудоемкости и транзакционоемкости, имеющего место в процессах развития, то есть при движении цифровой технологии по траектории $TRL1 \rightarrow TRL9$. В первом случае (см. рисунок 1а) наблюдается резкое снижение объемов потребления факторов производства на начальном этапе развития цифровой технологии, а во втором случае (см. рисунок 1б) наоборот – резкое снижение приходится на финальные этапы процесса развития.

С теоретической точки зрения все возможные варианты развития цифровых технологий образуются комбинаторным образом путем рассмотрения различных, в том числе и разнонаправленных, динамик параметров. Результаты исследования получены и представлены применительно к динамикам параметров, попадающим по своим совместным

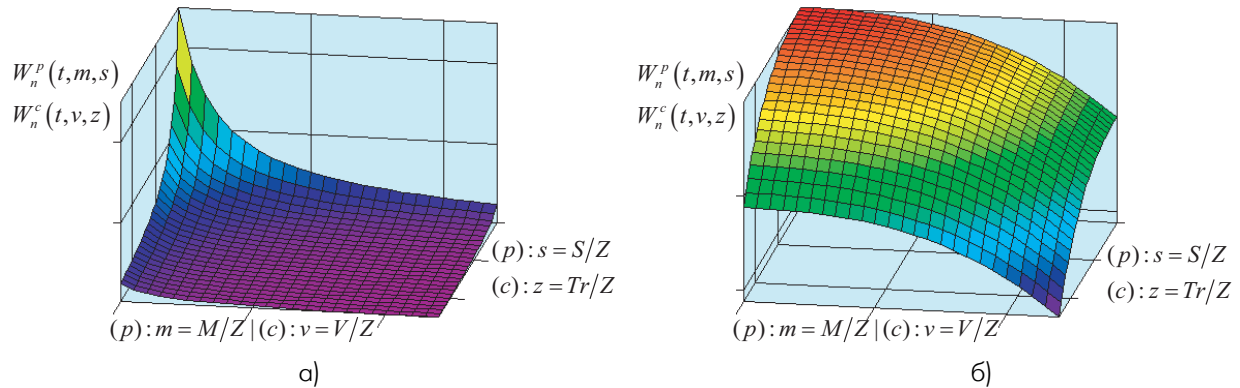


Рисунок 1. Графики функций развития $W^{i,p}(t, m, s)$, $W^{i,c}(t, v, z)$, отдельной цифровой технологии:

- а) $dm_n^{\gamma_n}/dt < 0$, $ds_n^{\beta_n}/dt < 0$, $dv_n^{\alpha_n}/dt < 0$, $dz_n^{\zeta_n}/dt < 0$, $d^2m_n^{\gamma_n}/dt^2 > 0$,
 $d^2s_n^{\beta_n}/dt^2 > 0$, $d^2v_n^{\alpha_n}/dt^2 > 0$, $d^2z_n^{\zeta_n}/dt^2 > 0$
 б) $dm_n^{\gamma_n}/dt < 0$, $ds_n^{\beta_n}/dt < 0$, $dv_n^{\alpha_n}/dt < 0$, $dz_n^{\zeta_n}/dt < 0$, $d^2m_n^{\gamma_n}/dt^2 < 0$,
 $d^2s_n^{\beta_n}/dt^2 < 0$, $d^2v_n^{\alpha_n}/dt^2 < 0$, $d^2z_n^{\zeta_n}/dt^2 < 0$

Figure 1. Graphs of the development functions, of a particular digital technology:

- а) $dm_n^{\gamma_n}/dt < 0$, $ds_n^{\beta_n}/dt < 0$, $dv_n^{\alpha_n}/dt < 0$, $dz_n^{\zeta_n}/dt < 0$, $d^2m_n^{\gamma_n}/dt^2 > 0$,
 $d^2s_n^{\beta_n}/dt^2 > 0$, $d^2v_n^{\alpha_n}/dt^2 > 0$, $d^2z_n^{\zeta_n}/dt^2 > 0$
 б) $dm_n^{\gamma_n}/dt < 0$, $ds_n^{\beta_n}/dt < 0$, $dv_n^{\alpha_n}/dt < 0$, $dz_n^{\zeta_n}/dt < 0$, $d^2m_n^{\gamma_n}/dt^2 < 0$,
 $d^2s_n^{\beta_n}/dt^2 < 0$, $d^2v_n^{\alpha_n}/dt^2 < 0$, $d^2z_n^{\zeta_n}/dt^2 < 0$

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

понижаемым свойствам под методическое допущение процесса развития цифровых технологий, сформулированное в разделе «Методы и методология исследования».

С практической точки зрения более очевидным вариантом реализации сценария развития представляется случай, показанный на рисунке 1, а, так как начальные этапы развития цифровой технологии приходятся на научно-исследовательские фазы TRL1-TRL3, на которых максимально реализуется интеллектуальный потенциал технологических инноваторов. Финальные фазы TRL7-TRL9 соответствуют экспериментальным этапам практической отработки цифровой технологии в составе целевого изделия или технологической системы экономического агента, где прирост эффективности снижения параметров $m(t), s(t), v(t), z(t)$ обычно уже не так значителен.

Пошаговые изменения функции развития, сопровождающие ступенчатую траекторию движения цифровой технологии по схеме TRL1→TRL9, где:

$$\lim_{(t_{n-1}-t_n) \rightarrow 0} W_{n-1}^p(t, m, s) \rightarrow W_n^p(t, m, s), \quad (13)$$

описываются (на примере функции $W_n^p(t, m, s)$) дифференциальными уравнениями вида:

$$\begin{aligned} & \frac{W_{n-1}^p(t, m, s) - W_n^p(t, m, s)}{t_{n-1} - t_n} = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow W_{n-1}^p(t, m, s) - W_n^p(t, m, s) = \\ & = W_n^p(t, m, s) (t_{n-1} - t_n) \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow W_{n-1}^p(t, m, s) = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left(1 + (t_{n-1} - t_n) \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \right), \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & W_{n-2}^p(t, m, s) = \\ & = W_{n-1}^p(t, m, s) \left(1 + (t_{n-2} - t_{n-1}) \left(\gamma_{n-1} \frac{1}{m_{n-1}} \frac{dm_{n-1}^{\gamma_{n-1}}}{dt} + \beta_{n-1} \frac{1}{s_{n-1}} \frac{ds_{n-1}^{\beta_{n-1}}}{dt} \right) \right) = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left(1 + (t_{n-1} - t_n) \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \right) \times \\ & \times \left(1 + (t_{n-2} - t_{n-1}) \left(\gamma_{n-1} \frac{1}{m_{n-1}} \frac{dm_{n-1}^{\gamma_{n-1}}}{dt} + \beta_{n-1} \frac{1}{s_{n-1}} \frac{ds_{n-1}^{\beta_{n-1}}}{dt} \right) \right), \quad (15) \end{aligned}$$

$$W_{n-3}^p(t, m, s) =$$

$$\begin{aligned} & = W_{n-2}^p(t, m, s) \left(1 + (t_{n-3} - t_{n-2}) \left(\gamma_{n-2} \frac{1}{m_{n-2}} \frac{dm_{n-2}^{\gamma_{n-2}}}{dt} + \beta_{n-2} \frac{1}{s_{n-2}} \frac{ds_{n-2}^{\beta_{n-2}}}{dt} \right) \right) = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left(1 + (t_{n-1} - t_n) \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \right) \times \\ & \times \left(1 + (t_{n-2} - t_{n-1}) \left(\gamma_{n-1} \frac{1}{m_{n-1}} \frac{dm_{n-1}^{\gamma_{n-1}}}{dt} + \beta_{n-1} \frac{1}{s_{n-1}} \frac{ds_{n-1}^{\beta_{n-1}}}{dt} \right) \right) \times \\ & \times \left(1 + (t_{n-3} - t_{n-2}) \left(\gamma_{n-2} \frac{1}{m_{n-2}} \frac{dm_{n-2}^{\gamma_{n-2}}}{dt} + \beta_{n-2} \frac{1}{s_{n-2}} \frac{ds_{n-2}^{\beta_{n-2}}}{dt} \right) \right), \quad (16) \end{aligned}$$

и так далее.

Тогда детерминированная составляющая динамики развития цифровой технологии, описывающая ее поступательное развитие из начального состояния TRL1 в конечное состояние TRL9, будет определяться следующими выражениями:

а) в физическом пространстве технологической системы экономического агента:

$$\begin{aligned} & \frac{dW_n^p(t, m, s)}{dt} = \\ & = \frac{\partial W_n^p(t, m, s)}{\partial m} \frac{dm(t)}{dt} + \frac{\partial W_n^p(t, m, s)}{\partial s} \frac{ds(t)}{dt} = \\ & = Q_n \left(\gamma_n m_n^{\gamma_n-1} s_n^{\beta_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n m_n^{\gamma_n} s_n^{\beta_n-1} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) = \\ & = Q_n m_n^{\gamma_n} s_n^{\beta_n} \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) = \\ & = W_n^p(t, m, s) \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) = \\ & = \frac{1}{w_n^p} \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \frac{d(1/w_n^p)}{dt} = \frac{1}{w_n^p} \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) \Rightarrow \\ & \frac{d(1/w_n^p)}{1/w_n^p} = \left(\gamma_n \frac{1}{m_n} \frac{dm_n^{\gamma_n}}{dt} + \beta_n \frac{1}{s_n} \frac{ds_n^{\beta_n}}{dt} \right) dt, \quad (17) \end{aligned}$$

или:

$$\begin{aligned} & W_{кон}^p(t, m, s) = W_{нач}^p(t, m, s) \times \\ & \times \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right), \quad (18) \end{aligned}$$

следовательно:

$$\frac{1}{W_{кон}^p} = \frac{1}{W_{нач}^p} \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{кон}^p = W_{нач}^p \left(\prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right) \right)^{-1}, \quad (19)$$

$$\frac{W_{кон}^p}{W_{нач}^p} = \left(\prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right) \right)^{-1}, \quad (20)$$

$$W_{кон}^p - W_{нач}^p = W_{нач}^p \frac{1 - \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right)}{\prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right)}; \quad (21)$$

б) в информационном пространстве технологической системы экономического агента:

$$\frac{dW_n^c(t, v, z)}{dt} = \frac{\partial W_n^c(t, v, z)}{\partial v} \frac{dv(t)}{dt} + \frac{\partial W_n^c(t, v, z)}{\partial z} \frac{dz(t)}{dt} =$$

$$= L_n \left(\alpha_n v_n^{\alpha_n - 1} z_n^{\chi_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n v_n^{\alpha_n} z_n^{\chi_n - 1} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) = L_n v_n^{\alpha_n} z_n^{\chi_n} \left(\alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) =$$

$$= W_n^c(t, v, z) \left(\alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) = \frac{1}{w_n^c} \left(\alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{d(1/w_n^c)}{dt} = \frac{1}{w_n^c} \left(\alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) \Rightarrow \frac{d(1/w_n^c)}{1/w_n^c} = \left(\alpha_n \frac{1}{v_n} \frac{dv_n^{\alpha_n}}{dt} + \chi_n \frac{1}{z_n} \frac{dz_n^{\chi_n}}{dt} \right) dt, \quad (22)$$

или:

$$W_{кон}^c(t, v, z) = W_{нач}^c(t, v, z) \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right), \quad (23)$$

следовательно:

$$\frac{1}{W_{кон}^c} = \frac{1}{W_{нач}^c} \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{кон}^c = W_{нач}^c \left(\prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right) \right)^{-1}, \quad (24)$$

$$\frac{W_{кон}^c}{W_{нач}^c} = \left(\prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right) \right)^{-1}, \quad (25)$$

$$W_{кон}^c - W_{нач}^c = W_{нач}^c \frac{1 - \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right)}{\prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right)}, \quad (26)$$

где отношения $W_{кон}^p/W_{нач}^p$, $W_{кон}^c/W_{нач}^c$ и разности $(W_{кон}^p - W_{нач}^p)$, $(W_{кон}^c - W_{нач}^c)$ определяют соответственно абсолютную и относительную результативности процесса развития цифровой технологии в физическом (p) и информационном (c) пространствах.

Выражения (19)-(21) и (24)-(26) справедливы для следующего набора условий:

$$1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \neq 0, \quad \forall i, n; \quad (27)$$

$$1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \neq 0, \quad \forall i, n; \quad (28)$$

$$0 < \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) \right) < 1, \quad \forall i, n; \quad (29)$$

$$0 < \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) \right) < 1, \quad \forall i, n; \quad (30)$$

$$i = \overline{0, n-2} : 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\alpha_{n-i} \frac{1}{v_{n-i}} \frac{dv_{n-i}^{\alpha_{n-i}}}{dt} + \chi_{n-i} \frac{1}{z_{n-i}} \frac{dz_{n-i}^{\chi_{n-i}}}{dt} \right) < 0, \\ n \in \mathbf{M} \{ m \mid \forall m \in \mathbf{M} \exists ! q \in \mathbf{N} (m = 2q) \}; \quad (31)$$

$$i = \overline{0, n-2} : 1 + (t_{n-i-1} - t_{n-i}) \left(\gamma_{n-i} \frac{1}{m_{n-i}} \frac{dm_{n-i}^{\gamma_{n-i}}}{dt} + \beta_{n-i} \frac{1}{s_{n-i}} \frac{ds_{n-i}^{\beta_{n-i}}}{dt} \right) < 0, \\ n \in \mathbf{M} \{ m \mid \forall m \in \mathbf{M} \exists ! q \in \mathbf{N} (m = 2q) \}, \quad (32)$$

связанных с положительной определенностью временной оси, а также с конечным числом состояний каждой цифровой технологии, достигаемых в процессе развития.

В фазовом пространстве параметров отдельной цифровой технологии результаты ее развития имеют вид:

$$\Delta m = m(t_{нач}) - m(t_{кон}) = \sum_{i=0}^{n-2} (m_{n-i-1} - m_{n-i}), \\ \Delta s = s(t_{нач}) - s(t_{кон}) = \sum_{i=0}^{n-2} (s_{n-i-1} - s_{n-i}), \quad (33)$$

$$\Delta v = v(t_{нач}) - v(t_{кон}) = \sum_{i=0}^{n-2} (v_{n-i-1} - v_{n-i}), \\ \Delta z = z(t_{нач}) - z(t_{кон}) = \sum_{i=0}^{n-2} (z_{n-i-1} - z_{n-i}), \quad (34)$$

справедливый для оценки при фиксированном объеме производства в условиях технологической системы рассматриваемого экономического агента.

Совместное развитие нескольких цифровых технологий, например, в рамках развития так называемых сквозных цифровых технологий, уже требует формализации, учитывающей процессы взаимодействия и смены состояний цифровых технологий в группе, где оказывается взаимное влияние i -ой и j -ой цифровых

технологий, обладающих разными, соответственно n -ым и m -ым уровнями готовности, и связанных отношением функций развития:

$$W_n^{ip}(t) = F_1^{ijp}(W_m^{jp}(t)), \\ W_n^{ic}(t) = F_1^{ijc}(W_m^{jc}(t)), \quad (35)$$

$$W_n^{ip}(t) = F_2^{ijpc}(W_m^{jc}(t)), \\ W_n^{ic}(t) = F_2^{ijcp}(W_m^{jp}(t)), \quad (36)$$

$$W_n^{ip}(t) = F_3^{ijp}(W_{m_1}^{1p}(t), W_{m_2}^{2p}(t), \dots, W_{m_j}^{jp}(t)) = \\ = F_3^{ijp}(W_{m_j}^{j=1, \overline{J}p}(t)), i \notin \overline{1, J}, \quad (37)$$

$$W_n^{ic}(t) = F_4^{ijc}(W_{m_1}^{1c}(t), W_{m_2}^{2c}(t), \dots, W_{m_j}^{jc}(t)) = \\ = F_4^{ijc}(W_{m_j}^{j=1, \overline{J}c}(t)), i \notin \overline{1, J}, \quad (38)$$

$$W_n^{ip}(t) = F_5^{ijHpc}(W_{m_j}^{j=1, \overline{J}p}(t), W_{m_h}^{h=1, \overline{H}c}(t)), \\ i \notin \overline{1, J}, i \notin \overline{1, H}, \quad (39)$$

$$W_n^{ic}(t) = F_6^{ijHcp}(W_{m_j}^{j=1, \overline{J}c}(t), W_{m_h}^{h=1, \overline{H}p}(t)), \\ i \notin \overline{1, J}, i \notin \overline{1, H}, \quad (40)$$

где $F_1^{ijp}, F_1^{ijc}, F_2^{ijpc}, F_2^{ijcp}, F_3^{ijp}, F_4^{ijc}, F_5^{ijHpc}, F_6^{ijHcp}$ – совокупность «сложных» функций.

Тогда для группы развиваемых цифровых технологий справедливо следующее:

$$\begin{aligned}
 & dW_n^{ip}(t)/dt = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - W_n^{ip}) = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - F_1^{ijp} (W_m^{jp}(t))) = \\
 & = dF_1^{ijp} (W_m^{jp}(t))/dt \cdot W_m^{jp}(t)/dt = dF_1^{ijp} (W_m^{jp}(t))/dt \cdot k_{m-1,m}^{jp} (W_{m-1}^{jp} - W_m^{jp}) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} \left(W_{n-1}^{ip} - F_1^{ijp} \left(W_{m-1}^{jp} - \frac{1}{k_{m-1,m}^{jp}} dW_m^{jp}(t)/dt \right) \right) = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - F_2^{ijpc} (W_m^{jc}(t))) = \\
 & = dF_2^{ijpc} (W_m^{jc}(t))/dt \cdot W_m^{jc}(t)/dt = dF_2^{ijpc} (W_m^{jc}(t))/dt \cdot k_{m-1,m}^{jc} (W_{m-1}^{jc} - W_m^{jc}) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} \left(W_{n-1}^{ip} - F_2^{ijpc} \left(W_{m-1}^{jc} - \frac{1}{k_{m-1,m}^{jc}} dW_m^{jc}(t)/dt \right) \right) = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - F_3^{ijp} (W_{m_j}^{j=1,\overline{J}p}(t))) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} \left(W_{n-1}^{ip} - F_3^{ijp} \left(W_{m_j-1}^{jp} - \frac{1}{k_{m_j-1,m_j}^{jp}} dW_{m_j}^{jp}(t)/dt \right) \right) \Bigg|_{j=\overline{1,\overline{J}}} = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} (W_{n-1}^{ip} - F_5^{iJHpc} (W_{m_j}^{j=1,\overline{J}p}(t), W_{m_h}^{h=1,\overline{H}c}(t))) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ip} \left(W_{n-1}^{ip} - F_5^{iJHpc} \left(W_{m_j-1}^{jp} - \frac{1}{k_{m_j-1,m_j}^{jp}} dW_{m_j}^{jp}(t)/dt, W_{m_h-1}^{hc} - \frac{1}{k_{m_h-1,m_h}^{hc}} dW_{m_h}^{hc}(t)/dt \right) \right) \Bigg|_{\substack{j=\overline{1,\overline{J}} \\ h=\overline{1,\overline{H}}}}; \quad (41)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & dW_n^{ic}(t)/dt = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - W_n^{ic}) = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - F_1^{ijc} (W_m^{jc}(t))) = \\
 & = dF_1^{ijc} (W_m^{jc}(t))/dt \cdot dW_m^{jc}(t)/dt = dF_1^{ijc} (W_m^{jc}(t))/dt \cdot k_{m-1,m}^{jc} (W_{m-1}^{jc} - W_m^{jc}) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} \left(W_{n-1}^{ic} - F_1^{ijc} \left(W_{m-1}^{jc} - \frac{1}{k_{m-1,m}^{jc}} dW_m^{jc}(t)/dt \right) \right) = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - F_2^{ijcp} (W_m^{jp}(t))) = \\
 & = dF_2^{ijcp} (W_m^{jp}(t))/dt \cdot dW_m^{jp}(t)/dt = dF_2^{ijcp} (W_m^{jp}(t))/dt \cdot k_{m-1,m}^{jp} (W_{m-1}^{jp} - W_m^{jp}) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} \left(W_{n-1}^{ic} - F_2^{ijcp} \left(W_{m-1}^{jp} - \frac{1}{k_{m-1,m}^{jp}} dW_m^{jp}(t)/dt \right) \right) = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - F_4^{iJc} (W_{m_j}^{j=1,\overline{J}c}(t))) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} \left(W_{n-1}^{ic} - F_4^{iJc} \left(W_{m_j-1}^{jc} - \frac{1}{k_{m_j-1,m_j}^{jc}} dW_{m_j}^{jc}(t)/dt \right) \right) \Bigg|_{j=\overline{1,\overline{J}}} = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} (W_{n-1}^{ic} - F_6^{iJHcp} (W_{m_j}^{j=1,\overline{J}c}(t), W_{m_h}^{h=1,\overline{H}p}(t))) = \\
 & = k_{n-1,n}^{ic} \left(W_{n-1}^{ic} - F_6^{iJHcp} \left(W_{m_j-1}^{jc} - \frac{1}{k_{m_j-1,m_j}^{jc}} dW_{m_j}^{jc}(t)/dt, W_{m_h-1}^{hp} - \frac{1}{k_{m_h-1,m_h}^{hp}} dW_{m_h}^{hp}(t)/dt \right) \right) \Bigg|_{\substack{j=\overline{1,\overline{J}} \\ h=\overline{1,\overline{H}}}}, \quad (42)
 \end{aligned}$$

Таким образом, в составе группы цифровых технологий состояния развития одной цифровой технологии являются в общем случае функциями состояний развития сопряженных (одной или нескольких J -физических и H -виртуальных) цифровых технологий, реализуемыми на практике за счет взаимопроникновения малыми приращениями научных знаний в смежных научных областях экономики технологий. Здесь фиксируется важный переход от процесса развития отдельной цифровой технологии, то есть одномерного

процесса, к многомерному случаю, для которого характерно рассмотрение суперпозиции множества процессов развития, наблюдаемых во времени совместно.

Вероятностная составляющая динамики развития цифровой технологии в статистическом смысле определяется плотностью распределения времени достижения технологией финального (потенциально достижимого) состояния, соответствующего $W_{TRL9}^{i,p}, W_{TRL9}^{i,c}$. Для отдельно взятой i -ой цифровой технологии плотность распределения времени имеет вид:

$$f_i(t) = \frac{\sum_{k=1}^{H+J} f_{\text{TRL}_1, \text{TRL}_2}^k(t) f_{\text{TRL}_2, \text{TRL}_3}^k(t) \cdots f_{\text{TRL}_8, \text{TRL}_9}^k(t) \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k)}{\sum_{k=1}^{H+J} \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k)}, \quad (43)$$

$$T_i = \int_0^{\infty} t f_i(t) dt = \frac{\sum_{k=1}^{H+J} \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k) \sum_{d=1}^8 T_{\text{TRL}_d, \text{TRL}_{d+1}}^k}{\sum_{k=1}^{H+J} \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k)}, \quad (44)$$

$$D_i = \int_0^{\infty} (t - T_i)^2 f_i(t) dt = \frac{\sum_{k=1}^{H+J} \left(\prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k) \right) \left(\sum_{j=1}^8 D_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k + \left(\sum_{d=1}^8 T_{\text{TRL}_d, \text{TRL}_{d+1}}^k \right)^2 \right)}{\sum_{k=1}^{H+J} \prod_{j=1}^8 p_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k)} - T_i^2, \quad (45)$$

и границами ненулевых значений области определения:

$$T_i^{\min} = \min_k \left\{ \sum_{j=1}^8 T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{k, \min} \right\},$$

$$T_i^{\max} = \max_k \left\{ \sum_{j=1}^8 T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{k, \max} \right\}, \quad (46)$$

где $T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k$, $D_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k$ – соответственно математическое ожидание и дисперсия от функции $f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k(t)$, $k = 1, 2, \dots, H + J$, $j = 1, 2, \dots, 8$ плотности распределения времени пребывания отдельной цифровой технологии в состоянии $w_{\text{TRL}_j}^k$ заданной в области ненулевых значений с левой и правой границами времени $T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{k, \min}$, $T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{k, \max}$, $P_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i)$ – вероятность перехода цифровой технологии между качественными состояниями своего развития, зависящая от внешних условий, в частности, от объема инвестиций $I_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^k$ государственно-частного партнерства:

$$w_{\text{TRL}_1}^{i, p} \xrightarrow{p_1^{i, p}(I_1^{i, p})} w_{\text{TRL}_2}^{i, p} \xrightarrow{p_2^{i, p}(I_2^{i, p})} w_{\text{TRL}_3}^{i, p} \xrightarrow{p_3^{i, p}(I_3^{i, p})} \dots$$

$$\dots \xrightarrow{p_8^{i, p}(I_8^{i, p})} w_{\text{TRL}_9}^{i, p}, \quad (47)$$

$$w_{\text{TRL}_1}^{i, c} \xrightarrow{p_1^{i, c}(I_1^{i, c})} w_{\text{TRL}_2}^{i, c} \xrightarrow{p_2^{i, c}(I_2^{i, c})} w_{\text{TRL}_3}^{i, c} \xrightarrow{p_3^{i, c}(I_3^{i, c})} \dots$$

$$\dots \xrightarrow{p_8^{i, c}(I_8^{i, c})} w_{\text{TRL}_9}^{i, c}, \quad (48)$$

вложенных в конкретный этап развития $\text{TRL}_j \rightarrow \text{TRL}_{j+1}$, где $H+J$ – общее число параллельно развиваемых в государстве цифровых технологий физического и информационно-пространства технологической системы

национальной экономики, перекрестно влияющих друг на друга в процессах развития, T_i и D_i – соответственно математическое ожидание и дисперсия (наиболее важные моментные характеристики) функции $f_i(t)$ для отдельно взятой цифровой технологии. Формулы (43)–(46) получены с использованием научных результатов работы (Ларкин & Сабо, 2004).

В известном смысле совокупное развитие группы перекрестно влияющих друг на друга цифровых технологий, каждая из которых проходит 9 фиксированных фаз своего развития, соответствует идее и закономерностям, присущим сети Петри-Маркова, что проиллюстрировано схемой на рис. 2 (Ларкин & Сабо, 2004). На схеме показана потенциально возможная взаимосвязь состояний развития цифровых технологий и их взаимовлияние друг на друга по принципу «каждый с каждым» в процессах развития.

Функция плотности вероятности получена в предположении о наличии достаточной статистики, позволяющей сформировать частные функции плотности вероятности:

$$\begin{cases} f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(t) \neq 0, t \in [T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \min}, T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \max}] \\ f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(t) = 0, t \notin [T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \min}, T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \max}] \end{cases}, \quad (49)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(t) dt = \int_{T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \min}}^{T_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^{i, \max}} f_{\text{TRL}_j, \text{TRL}_{j+1}}^i(t) dt = 1, \quad (50)$$

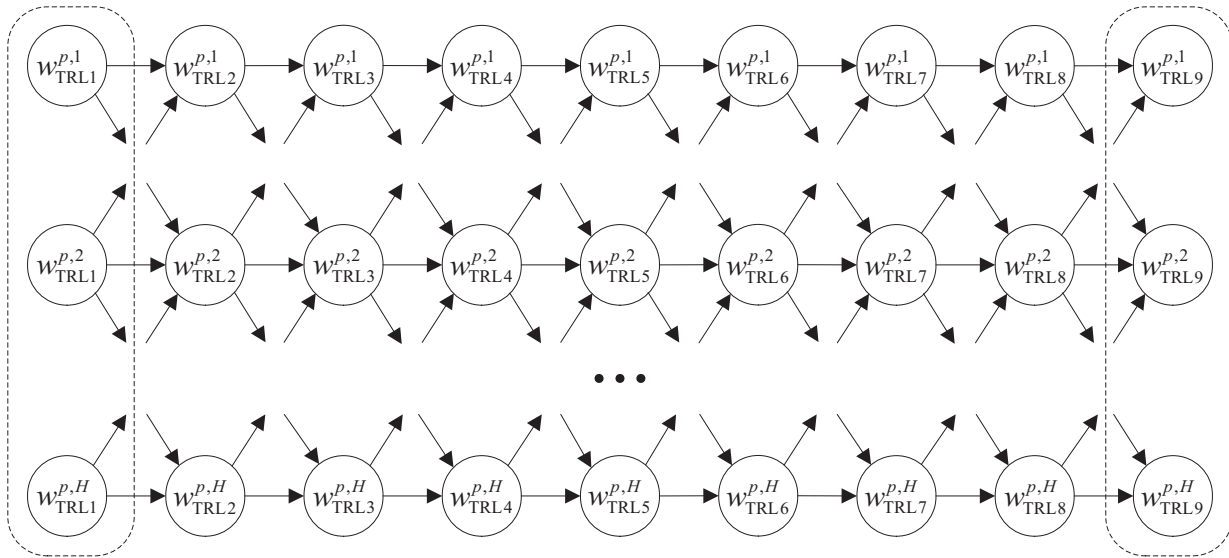


Рисунок 2. Схема развития группы из H цифровых технологий физической среды технологической системы с их взаимным перекрестным влиянием на каждом уровне готовности

Figure 2. Scheme of development of a group of H digital technologies of the physical environment of a technological system with their mutual cross-impact at each level of readiness

Источник: составлено авторами с использованием (Ларкин & Сабо, 2004)

Source: compiled by the authors using (Larkin & Sabo, 2004)

в статистическом смысле описывающие пребывание цифровой технологии на уровне готовности $w_{TRL_j}^{i,p}$ или $w_{TRL_j}^{i,c}$, который она с вероятностью $P_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i(f_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i)$ преодолевает, то есть: $w_{TRL_j}^{i,p} \xrightarrow{P_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i(f_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i)} w_{TRL_{j+1}}^{i,p}$, и это происходит на ограниченном временном промежутке $[T_{TRL_j,TRL_{j+1}}^{i,min}, T_{TRL_j,TRL_{j+1}}^{i,max}]$, в области ненулевых значений. По существу, этот временной промежуток определяет время пребывания (время жизни) цифровой технологии на уровне $w_{TRL_j}^{i,p}$ или $w_{TRL_j}^{i,c}$ своего развития (готовности).

Предположение о наличии достаточной статистики в отношении частных функций плотности вероятности $f_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i(t)$ является ключевым для определения вероятностной составляющей динамики развития цифровых технологий. Следует отметить, что практика развития цифровых технологий не предполагает сбор и публикацию статистических данных о сроках развития технологий и объемах выделенного для этого финансирования, а также о времени пребывания цифровых технологий на каждом из этапов их развития. Между тем, только на основе такого статистического материала, полученного

в условиях экономической конкуренции, когда одну цифровую технологию параллельно развивают несколько инноваторов, можно достоверно (на основе математического аппарата проверки статистических гипотез) оценить вид и математические свойства функций $f_{TRL_j,TRL_{j+1}}^i(t)$.

Обсуждение результатов

Обобщая вышеизложенное, можно констатировать, что динамика развития каждой цифровой технологии, осуществляемая по траектории $TRL_j \rightarrow TR_{L_{j+1}}$, $TRL_j \in [TRL_1, TR_{L_9}]$ имеет на практике две составляющие. Первая составляющая детерминированная (поступательная), обусловлена существованием ступенчатых уровней готовности и скачкообразными переходами цифровой технологии между этими уровнями вверх по «лестнице» развития (см. рис. 3а), а вторая составляющая – вероятностная, определяющая случайное время, в течение которого цифровая технология пребывает (задерживается) на каждом конкретном уровне (каждой «ступеньке лестницы») своего развития (см. рис. 3б).

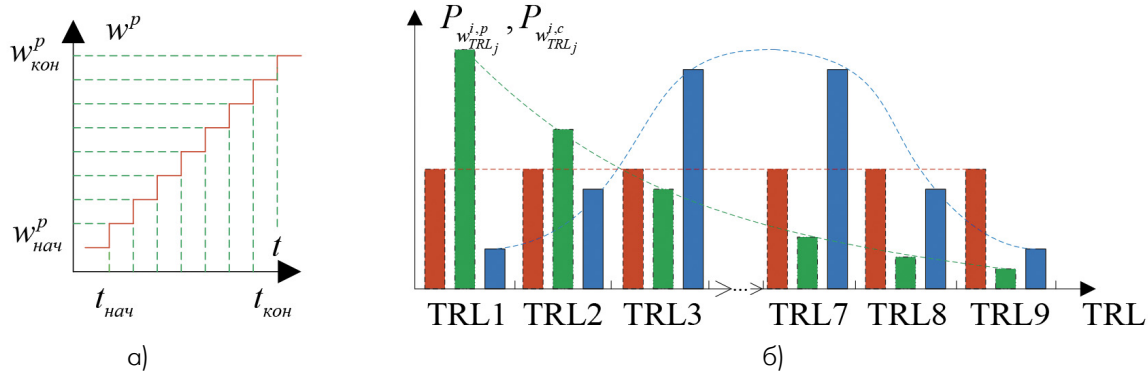


Рисунок 3. Графики динамики развития цифровых технологий: а) поступательная составляющая динамики со ступенчатообразной формой траектории движения цифровой технологии по уровням готовности; б) вероятностная составляющая динамики, соответствующая различным законам распределения времени пребывания цифровой технологии на каждом из уровней готовности (зрелости)
Figure 3. Graphs of the dynamics of digital technology development: a) the progressive component of the dynamics with a step-like trajectory of the digital technology's movement through the levels of readiness; b) the probabilistic component of the dynamics, corresponding to various laws of distribution of the time spent by the digital technology at each level of readiness (maturity)

Источник: составлено авторами
Source: compiled by the authors

В связи с этим особый научный интерес представляет сбор и систематизация статистических данных о процессах развития каждой цифровой технологии, на основе которых могут быть получены оценки параметров функций развития, релевантных экономической деятельности микро-, мезо- и макроуровневых экономических агентов, разрабатывающих и внедряющих технологические инновации в промышленное производство.

Такие данные позволят количественно обосновать корреляции затрат факторов производства по фактору труда и по фактору капитала в условиях конкретных технологических систем и определить относительные доли изменений материалоемкости, энергоемкости, трудоемкости и транзакционоемкости промышленного производства, возникающих при повышении уровней готовности цифровых технологий, а также оценить суммарный вклад таких изменений в валовый внутренний продукт России при переходе экономических агентов на цифровые технологии.

Заключение

Основой выполненного исследования является научная идея, заключающаяся в возможности повышения уровней готовности

развиваемых цифровых технологий за счет масштабного использования передовых интеллектуальных достижений экономических агентов, специализирующихся на технологических инновациях.

Применение полученных новых научных результатов целесообразно осуществлять вдоль линии «наука-технологии-производство», что окажет существенное влияние на качественное изменение существующей технологической системы национальной экономики, а также на темпы экономического роста и развития ключевых отраслей отечественной промышленности (Нигматов, 2024; Левшов & Сердечная, 2025).

Предлагаемый научно-методический аппарат и его потенциал использования согласуются с наблюдаемым сегодня повышением экономической роли своевременного обновления техники и технологий в современном промышленном производстве, а также соответствуют текущей благоприятной конъюнктуре инновационной деятельности экономических агентов в рамках реализации национальных проектов технологического лидерства России (Хамраева & Равшанова, 2024; Торжевский, 2024; Сураева, 2025).

Дополнительными стимулами, ускоряющими проведение экономическими агентами

научно-технологических исследований, необходимых для обновления технологической системы национальной экономики, являются внешние вызовы (лимит на привнесение извне технологий с новым цифровым качеством), обусловленные санкционными действиями группы недружественных стран коллективного Запада, формирующими вокруг России режим технологического и инвестиционного изоляционизма, затрудняющий приток передовых цифровых технологий и средств труда нового «цифрового» поколения.

Реализация идеи исследования на практике, очевидно, сопряжена со следующими изменениями промышленной инфраструктуры:

- а) кратное повышение значений коэффициентов обновления и выбытия основных средств, обусловленное ускоренными темпами замещения техники и технологий в технологической структуре национальной экономики в связи с наступлением «переломного момента» в научно-техническом прогрессе по большинству областей средств труда и технологий в ключевых отраслях промышленности;
- б) обучение и переобучение персонала производственных комплексов, необходимое для обеспечения повышенной готовности человеческого ресурса к выполнению трудовых функций и трудовых действий с «цифровыми» средствами производства;
- в) институциональное создание системы инвестиционных стимулов, мотивирующих топ-менеджмент экономических агентов к переходу на принципы и философию хозяйствования, соответствующие цифровой экономике и шестому технологическому

укладу, имеющим свое отражение в изменении принципов построения контуров совокупностей технологически сопряженных производств государственных корпораций.

Такие изменения технологической системы национальной экономики рекомендуется проводить в форсированном режиме, что обусловлено обострением политических и экономических противоречий между Россией и недружественными странами коллективного Запада, а также накопленными различиями в технологических возможностях зарубежных и отечественных экономических агентов.

Вклад участников научного исследования

Жаринов, И.О.: Разработка концепции, Формальный анализ, Проведение исследования, Написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Жаринов, О.О.: Разработка концепции, Формальный анализ, Проведение исследования, Написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Contributorship

Zharinov, I.O.: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Writing – review & editing.

Zharinov, O.O.: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Writing – review & editing.

Конкурирующие интересы

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The authors declare no conflict of interest.

Список источников / References

1. Агафонцев, С.А. (2025). Цифровое государство как технология управления в Российской Федерации: проблемы и перспективы развития. *Человек. Социум. Общество*, 1, 99–102. EDN: DIKFLS
Agafontsev, S.A. (2025). The digital state as a management technology in the Russian Federation: problems and prospects of development. *Human. Society. Community*, 1, 99–102. EDN: DIKFLS (in Russian)
2. Бурлов, Д.Ю., & Багинов, И.П. (2024). Влияние цифровых технологий на разработку программ стратегического развития предприятий малого и среднего бизнеса. *Инновации и инвестиции*, 7, 125–127. EDN: VBKXPW
Burlov, D.Yu., & Baginov, I.P. (2024). Influence of digital technologies on the development of strategic development programs for small and medium businesses. *Innovations and Investments*, 7, 125–127. EDN: VBKXPW (in Russian)

- 3.** Жаринов, И.О. (2023). Экономическая стратегия управляемой трансформации оборонно-промышленного комплекса на основе динамики суверенного стека сквозных цифровых технологий. *Вооружение и экономика*, 4(66), 69–82. EDN: WKSHSU
Zharinov, I.O. (2023). Economic strategy of the military-industrial complex managed transformation based on the sovereign stack dynamics of end-to-end digital technologies. *Armament and Economics*, 4(66), 69–82. EDN: WKSHSU (in Russian)
- 4.** Жаринов, И.О., & Жаринов, О.О. (2025). Оценка экономической безопасности России на основе анализа технологического платежного баланса. *Петербургский экономический журнал*, 1, 54–66. EDN: SOWYJE, <https://doi.org/10.32603/2307-5368-2025-1-54-66>
Zharinov, I.O., & Zharinov, O.O. (2025). Assessment of Russia's economic security based on the analysis of the technological balance of payments. *St. Petersburg Economic Journal*, 1, 54–66. EDN: SOWYJE (in Russian) <https://doi.org/10.32603/2307-5368-2025-1-54-66>
- 5.** Жаринов, И.О., & Жаринов, О.О. (2024). Экономика технологий в системе государственного статистического учета Российской Федерации. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 4(148), 49–59. EDN: EZBWXD
Zharinov, I.O., & Zharinov, O.O. (2024). The economics of technology in the system of State statistical accounting of the Russian Federation. *Proceedings of the Saint Petersburg State University of Economics*, 4(148), 49–59. EDN: EZBWXD (in Russian)
- 6.** Иванова, И.П., & Шепелева, О.П. (2025). Особенности развития института цифровой трансформации в условиях информационно-коммуникационных технологий. *Экономические науки*, 245, 263–266. EDN: WCWERL, <https://doi.org/10.14451/1.245.263>
Ivanova, I.P., & Shepeleva, O.P. (2025). Features of the development of the Institute of digital transformation in the context of information and communication technologies. *Economic Sciences*, 245, 263–266. EDN: WCWERL (in Russian) <https://doi.org/10.14451/1.245.263>
- 7.** Коробушин, Д.В., Макаров, В.М., Макаров С.М., Меньшиков В.В., & Уваров Р.И. (2024). Влияние глобальных экономических трендов на развитие инновационных технологий в условиях цифровой трансформации. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 14(9–1), 150–162. EDN: DGURAD
Korobushin, D.V., Makarov, V.M., Makarov, S.M. Men'shikov, V.V., & Uvarov, R.I. (2024). The impact of global economic trends on the development of innovative technologies in the context of digital transformation. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 14(9A), 150–162. EDN: DGURAD (in Russian)
- 8.** Ларкин, Е.В., & Сабо, Ю.И. (2004). *Сети Петри-Маркова и отказоустойчивость авионики*. Тульский государственный университет.
Larkin, E.V., & Sabo, Yu.I. (2004). *Petri-Markov networks and avionics fault tolerance*. Tula State University.
- 9.** Левшов, И.В., & Сердечная, Ю.Н. (2025). Перспективы использования инновационной инфраструктуры для развития цифровых технологий в России. *Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки*, 4, 232–239. EDN: NKMLXI, <https://doi.org/10.24412/2220-2404-2025-4-13>
Levshov, I.V., & Serdechnaya, Yu.N. (2025). Prospects for using innovative infrastructure for the development of digital technologies in Russia. *Humanities, Socio-economic and Social Sciences*, 4, 232–239. EDN: NKMLXI (in Russian) <https://doi.org/10.24412/2220-2404-2025-4-13>
- 10.** Матерова, Е.С., Дедин, А.В., & Шарафуллина, Р.Р. (2024). Формирование и развитие цифровых технологий в экономике России. *Вопросы экономики и права*, 196, 65–70. EDN: YZFGLG
Materova E.S., Dedin A.V., & Sharafullina R.R. (2024). Formation and development of digital technologies in the Russian economy. *Economics and Law Issues*, 196, 65–70. EDN: YZFGLG (in Russian)
- 11.** Мызрова, К.А., Мьялина, Н.Ж., Захарова, Ю.Н., & Заводцков, А.С. (2024). Цифровые технологии как фактор устойчивого развития малого бизнеса. *Креативная экономика*, 18(9), 2193–2210. EDN: URNKUH, <https://doi.org/10.18334/ce.18.9.121528>
Myzrova, K.A., Myavlina, N.Zh., Zakharova, Yu.N., Zavodtsov, A.S. (2024). Digital technologies as a factor of sustainable development of small business. *Creative Economy*, 18(9), 2193–2210. EDN: URNKUH (in Russian) <https://doi.org/10.18334/ce.18.9.121528>
- 12.** Нигматов, Р.Р. (2024). Аналитические аспекты распространения цифровых технологий в развитии высокотехнологичных отраслей промышленности. *Экономика и управление в машиностроении*, 1, 22–26. EDN: MZJRZR
Nigmatov, R.R. (2024). Analytical aspects of distribution of digital technologies in the development of high-tech industries. *Economics and Management in Mechanical Engineering*, 1, 22–26. EDN: MZJRZR (in Russian)
- 13.** Славин, Б.Б. (2025). Приоритетные направления развития цифровых технологий при реализации проекта «экономика данных». *Инновации и инвестиции*, 7, 242–245. EDN: XTYGVD
Slavin, B.B. (2025). Priority areas for the digital technologies development in the implementation of the data economy project. *Innovation & Investment*, 7, 242–245. EDN: XTYGVD (in Russian)

- 14.** Сураева, М.О. (2025). Инновационные технологии цифровой трансформации экономики: управление региональным развитием внутренних систем. *Актуальные проблемы экономики и управления*, 2(46), 115–120. EDN: BNEZZK
Suraeva, M.O. (2025). Innovation technologies of digital transformation of the economy: regional development management of internal systems. *Actual Problems of Economics and Management*, 2(46), 115–120. EDN: BNEZZK (in Russian)
- 15.** Сухарев, О.С. (2014). Институциональная теория технологических изменений: определения, классификация, модели. *Журнал институциональных исследований*, 6(1), 84–106. EDN: SCSEEX
Sukharev, O.S. (2014). Institutional theory of technological change: definition, classification, models. *Journal of Institutional Studies*, 6(1), 84–106. EDN: SCSEEX (in Russian)
- 16.** Торжевский, К.А. (2024). Системный подход к оценке роли инфраструктуры цифровых технологий на современном этапе общественного развития. *Управленческий учет*, 7, 347–353. EDN: CPJDIA
Torzhevsky, K.A. (2024). A systematic approach to assessing the role of digital technology infrastructure at the current stage of social development. *Management Accounting*, 7, 347–353. EDN: CPJDIA (in Russian)
- 17.** Трофимова, Н.Н. (2025) Инновации и устойчивое развитие: влияние цифровых технологий на бизнес-модели российских предприятий в условиях кризиса. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 1(1(154)). 70–77. EDN: UZQSXA, <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2025.01.01.007>
Trofimova, N.N. (2025) Innovation and sustainable development: the impact of digital technologies on business models of Russian enterprises in times of crisis. *Economics and Management: problems, solutions*, 1(1(154)). 70–77. EDN: UZQSXA (in Russian) <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2025.01.01.007>
- 18.** Хамраева, С., & Равшанова, Н. (2024). Приоритетные направления развития национального рынка цифровых технологий. *Экономика и социум*, 10–2(125), 991–997. EDN: FZKPKO
Khamraeva, S., & Ravshanova, N. (2024). Features of digital economy development. *Economics and Society*, 10–2(125), 991–997. EDN: FZKPKO (in Russian)
- 19.** Шумкова, К.Г., Сахнюк, Т.И., & Сахнюк, П.А. (2025). Развитие цифровых технологий для экономики России. *Финансовая экономика*, 4, 282–286. EDN: JWHOWE
Shumkova, K.G., Sakhnyuk, T.I., & Sakhnyuk, P.A. (2025). Development of digital technologies for the Russian economy. *Financial Economics*, 4, 282–286. EDN: JWHOWE (in Russian)

Информация об авторах

Жаринов Игорь Олегович – доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор, Заслуженный машиностроитель Российской Федерации, руководитель учебно-научного центра – ученый секретарь Научно-технического совета, Акционерное общество «Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова»; SPIN-код РИНЦ: 9355–5800, Scopus ID: 57212047827, ORCID: 0000-0003-2508-5939. (198095, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 40; e-mail: mpbva@mail.ru).

Жаринов Олег Олегович – кандидат технических наук, доцент, кафедра Прикладной информатики, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; SPIN-код РИНЦ: 9052–3378, Scopus ID: 56607172800, ORCID: 0000-0003-1219-8205. (190000, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67; e-mail: zharinov73@inbox.ru).

Authors

Igor O. Zharinov – Head of the Educational and Scientific Center – Scientific Secretary of the Scientific and Technical Council, Stock company «Experimental Design Bureau «Electroavtomatika» Named After P.A. Yefimov»; Scopus ID: 57212047827, ORCID: 0000-0003-2508-5939 (40, Marshal Govorov str., St. Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: mpbva@mail.ru).

Oleg O. Zharinov – Associate Professor of the Applied Informatics Department, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; Scopus ID: 56607172800, ORCID: 0000-0003-1219-8205 (67, Bolshaya Morskaya str., St. Petersburg, 190000, Russian Federation; e-mail: zharinov73@inbox.ru).

Поступила в редакцию (Received) 16.11.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 27.01.2026

Принята к публикации (Accepted) 18.02.2026

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТРАСЛИ
ЭКОНОМИКИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ**

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
УДК: 330.341.1
JEL: O33
EDN: KJJBSF

**Конкуренция и диффузия инноваций:
динамический аспект****В.В. Ерохин^{1,2}, О.А. Павлютенкова²**

¹ Московский государственный институт (университет) международных отношений Министерства иностранных дел Российской Федерации, <https://ror.org/04zn7jb34>, Москва, Российская Федерация; e-mail: erohinvv@mail.ru

² Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, <https://ror.org/00pb8h375>, Москва, Российская Федерация; e-mail: erohinvv@mail.ru, olgapavl@bmstu.ru

Аннотация. Статья критикует устоявшиеся модели диффузии (Фишера-Прая, Басса и другие), которые рассматривают замещение как игру с нулевой суммой и игнорируют возможность коэволюции технологий. В условиях, когда новые и старые технологии долго сосуществуют, необходим более гибкий аналитический инструмент, что является актуальным подходом в исследовании развития инновационных технологий. Цель работы – предложить новую, более детализированную модель диффузии инноваций, оспаривающую парадигму чистой конкуренции. Авторы вводят концепции «симбиотической» и «хищнической» конкуренции для описания динамики сосуществования новых и устоявшихся технологий, на основе модели Лотки-Вольтерра. Модель позволяет анализировать эволюцию продуктовых поколений, что способствует системному стратегическому мышлению, помогающему избегать чрезмерных инвестиций в устаревающие бизнесы и выявлять новые возможности роста. Основным выводом исследования является, что предложенный подход особенно важен для анализа «прорывных» инноваций в цифровую эпоху, где границы продуктов и рынков размыты (например, переход от физических носителей к стримингу), а взаимодействие технологий носит особенно сложный и динамичный характер. Предлагаемый концептуальный аппарат позволяет также анализировать специфику технологического замещения и коэволюции в условиях динамично развивающихся рынков, включая российский, где сосуществование унаследованных и новых технологических решений приобретает особую значимость.

Ключевые слова: диффузия инноваций, конкуренция технологий, модель Лотки-Вольтерра, симбиотическая конкуренция, хищническая конкуренция, коэволюция технологий, стратегическое управление инновациями, инновации, многомодовое взаимодействие, технологическое замещение, управление технологическими переходами, российский инновационный контекст

Информация о финансировании: данное исследование выполнено без внешнего финансирования.

Для цитирования: Ерохин, В.В., & Павлютенкова, О.А. (2026). Конкуренция и диффузия инноваций: динамический аспект. *Экономика науки*, 12(1), 122–135. EDN: KJJBSF

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS AND ITS IMPACT ON INDUSTRIES,
ECONOMIC GROWTH, AND INNOVATIVE DEVELOPMENT**

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
JEL: O33
EDN: KJJBSF

**Competition and the diffusion of innovations:
a dynamic perspective****V.V. Erokhin^{1,2}, O.A. Pavlyutenkova²**

¹ Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs, <https://ror.org/04zn7jb34>, Moscow, Russian Federation; e-mail: erohinvv@mail.ru

² Bauman Moscow State Technical University, <https://ror.org/00pb8h375>, Moscow, Russian Federation; e-mail: erohinvv@mail.ru, olgapavl@bmstu.ru

Abstract. The article criticizes established diffusion models (Fisher-Pry, Bass, etc.) that view technological substitution as a zero-sum game and ignore the possibility of technological co-evolution. In an environment where old and new technologies coexist for extended periods, a more flexible analytical tool is required, making this a relevant approach for studying the development of innovative technologies. The paper's objective is to propose a new, more nuanced model of innovation diffusion that challenges the paradigm of pure competition. The author introduces the concepts of "symbiotic" and "predator-prey" competition to describe the dynamics of coexistence between new and established technologies, based on the Lotka-Volterra model. This model facilitates the analysis of product generation evolution, fostering systemic strategic thinking that helps avoid excessive investment in declining businesses and identify new growth opportunities. The main conclusion of the research is that the proposed approach is particularly crucial for analyzing "breakthrough" innovations in the digital era, where product and market boundaries are blurred (e.g., the transition from physical media to streaming), and technological interaction is especially complex and dynamic. The proposed conceptual framework also allows for analyzing the specifics of technological substitution and coevolution in the context of dynamically developing markets, including the Russian market, where the coexistence of legacy and new technological solutions is of particular importance.

Keywords: diffusion of innovations, technology competition, Lotka-Volterra model, symbiotic competition, predatory competition, coevolution of technologies, strategic management of innovations, innovations, multimodal interaction, technological substitution, managing technological transitions, the Russian innovation context

Funding: This research received no external funding.

For citation: Erokhin, V.V., & Pavlyutenkova, O.A. (2026). Competition and the diffusion of innovations: a dynamic perspective. *Economics of Science*, 12(1), 122–135. EDN: KJJBFS

ВВЕДЕНИЕ

Диффузия инноваций – это процесс распространения новых продуктов, технологий, услуг или идей в социальной системе с течением времени. Понимание механизмов этого распространения критически важно, поскольку практическая значимость изобретений возникает лишь тогда, когда они преодолевают порог внедрения и получают массовое распространение.

Эверетт Роджерс (Rogers, 2015; Rogers, 2002) предложил рассматривать инновацию как процесс освоения ранее свободной рыночной ниши. Классической отправной точкой для анализа диффузии служит модель Эверетта Роджерса (Rogers, 2010; Rogers et al., 2019), согласно которой потребители делятся на группы по степени восприимчивости к новому: новаторы, ранние последователи, раннее большинство, позднее большинство и опоздавшие. Успех диффузии зависит от последовательного вовлечения этих групп, а типичная траектория описывается S-образной (логистической) кривой: медленный начальный рост, затем период быстрого распространения и насыщение рынка.

Вместе с тем применение классической модели к анализу прорывных технологических инноваций требует существенных оговорок. Модель Роджерса имплицитно предполагает, что инновация уже определена, её характеристики

понятны, а рыночная ниша идентифицируема. В условиях коэволюции технологий, симбиоза и размытых границ рынков эти предпосылки часто не выполняются. На этапе возникновения технологий рыночные ниши могут отсутствовать или одновременно формироваться в нескольких несвязанных областях, а сама инновация способна радикально меняться в процессе поиска «своего» рынка.

Более того, эмпирические исследования демонстрируют, что S-образная траектория далеко не универсальна. Реальный процесс диффузии технологических инноваций может характеризоваться существенными отклонениями: обрывами (резким прекращением диффузии вследствие появления технологии-субститута), экспоненциальными скачками (благодаря действию сетевых эффектов), циклами «бумов и спадов» (в результате корректировки завышенных ожиданий), а также мультимодальными траекториями, когда инновация переживает несколько волн роста.

Предпосылка о единой S-образной траектории является не столько законом, сколько частным случаем, описывающим успешное внедрение в стабильных условиях. Для анализа прорывных технологий в динамичной среде требуются более сложные модели, способные описывать динамику как до, так и в процессе формирования рыночных ниш. Эту задачу призвана решить предлагаемая в статье

модель на основе модифицированных уравнений Лотки-Вольтерра.

Дальнейшее развитие теория диффузии получила в работах Джона Нортон и Фрэнка Басса (Norton & Bass, 1987; Mahajan et al., 1993), которые формализовали процесс замещения продуктовых поколений. Их модель учитывает полный жизненный цикл и успешно описывает эстафетную передачу спроса, например, как в случае последовательных поколений микросхем памяти. Однако данная модель, будучи эффективной для анализа замещения продуктов внутри устоявшейся технологической парадигмы, сталкивается с ограничениями при анализе замещения самих технологий, характеризующегося изменением архитектурных принципов, возникновением новых рыночных ниш и длительным периодом сосуществования.

Параллельно развивалось эмпирическое направление, представленное работой Джона Фишера и Роберта Прая (Fisher & Pry, 1971). Исследователи обнаружили, что достижение новинкой порога в 3–5% рыночной доли делает её дальнейший рост высокопредсказуемым, что позволяло строить долгосрочные прогнозы полного цикла замещения на основе ранних данных.

Важным аспектом современного технологического развития, актуальным для применения предлагаемой модели, является анализ прорывных направлений, таких как искусственный интеллект. Как отмечает О.С. Сухарев (Сухарев, 2024; Сухарев, 2010), ИИ выступает не просто как отдельная технология, а как системный фактор, преобразующий производственные процессы, что приводит к формированию сложных, нелинейных траекторий его диффузии. Такой взгляд подтверждает необходимость перехода от моделей линейного замещения к инструментам, способным описывать многомодовые взаимодействия.

Каждый из рассмотренных подходов представляет собой определенное упрощение реальности. В реальной конкурентной борьбе участвует множество альтернатив, некоторые получают инвестиции, другие выбывают или занимают собственные ниши (Сухарев, 2020). Инновации могут выдвигаться как новыми

компаниями, так и игроками из смежных отраслей. Классический пример – гонка в компьютерной индустрии 1970-х гг. по замещению магнитной памяти на сердечниках (Utterback & Brown, 1972), где победителем стала полупроводниковая память на чипах, производившаяся компанией Intel наряду с другими компаниями. Сегодня аналогичную динамику мы наблюдаем в конкурентной борьбе между двигателем внутреннего сгорания и электромобилями, где участвуют гибриды, аккумуляторные и водородные модели.

Существующие модели, основанные на предпосылке чистой конкуренции и линейного замещения, оказываются недостаточны для анализа прорывных инноваций в цифровую эпоху, где границы рынков размыты, а взаимодействия носят сложный, коэволюционный характер.

Целью данного исследования является разработка новой, более детализированной модели диффузии инноваций, оспаривающей парадигму чистой конкуренции и позволяющей анализировать сложные динамические сценарии сосуществования, коэволюции и замещения технологических парадигм.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Разработать качественную многомодовую схему классификации взаимодействий между конкурирующими инновациями, выходящую за рамки чистой конкуренции и включающую сценарии симбиоза и «хищнической» динамики.
2. Сформулировать формальную математическую модель на основе адаптации уравнений Лотки-Вольтерра, способную описывать динамику рыночных долей инноваций в рамках предложенной классификации, и провести анализ возможных сценариев её развития.

Методологической основой исследования служит подход, базирующийся на модификации модели межвидовой конкуренции Лотки-Вольтерра, что позволяет формализовать и анализировать многомодовые взаимодействия инноваций. В разделе «Методология исследования» представлена математическая модель, описывающая предложенную многомодовую

систему. В разделе «Описание результатов» на её основе моделируется динамика взаимодействия двух конкурирующих инноваций. Оригинальный вклад заключается в разработке программного обеспечения, созданного для моделирования многомодовых взаимодействий, позволяющего оценивать параметры уравнений и определять режим взаимодействия. В заключительном разделе рассматриваются стратегические приложения модели и намечаются направления для будущих исследований.

Методология исследования

Для построения более точной модели диффузии инновационных технологий необходимо отказаться от представления об инновациях как независимых и чисто конкурентных. Взаимодействие технологий разнообразно, и на начальном этапе рынки как нового, так и старого продукта могут расти одновременно. Если новый конкурент стимулирует рост спроса на устоявшийся продукт, такую модель, по аналогии с экологией, можно назвать симбиозом. Пример – механическое производство льда в XIX веке, которое не сократило, а утроило спрос на лед, одновременно расширив сферу применения холода для охлаждения продуктов питания.

На практике же продукты чаще сосуществуют по модели «хищник-жертва», где новый продукт выступает «хищником». Эта динамика представляет собой колебательное равновесие: чрезмерный успех «хищника» подрывает его собственную базу, а его ослабление позволяет «жертве» восстановиться. Так, естественный и машинный лёд долгое время делили рынок, пока электрическое охлаждение не вытеснило их в узкие ниши.

Формы конкуренции не статичны. Динамический процесс часто начинается с симбиоза, переходит в фазу взаимодействия по типу «хищник-жертва» и лишь затем – к чистой конкуренции с возможным вытеснением одной из технологий.

В инноватике и экономике термин «конкуренция» часто используется без точного определения. Взаимодействие технологий редко сводится к чистой конфронтации; оно может

иметь и неконкурентный характер. Предлагаемый многомодовый подход описывает это сложное взаимодействие в рамках единой модели.

Ключевое преимущество подхода – возможность анализировать не только три статических режима (чистая конкуренция, симбиоз, «хищник-жертва»), но и динамические переходы между ними с течением времени. Именно эта способность описывать эволюцию взаимодействия отличает нашу модель от классических экологических аналогов.

Взаимодействие двух технологий определяется их взаимным влиянием на рост: взаимное подавление (конкуренция), взаимное усиление (симбиоз) или асимметрия, где одна технология стимулирует рост другой, будучи сама ею подавляема («хищник-жертва»). Хотя эта типология заимствована из экологии, её применение к технологиям, особенно режиму «хищник-жертва», ранее почти не рассматривалось в литературе. Такая схема (таблица 1) в принципе масштабируема на любое количество технологий и охватывает четыре типа парных взаимодействий (с учётом двух вариантов «хищник-жертва»). Однако в разрабатываемой модели мы будем рассматривать три базовых режима.

В рамках модифицированной модели Лотки-Вольтерра влияние технологии B на темп роста технологии A (и наоборот) формализуется через знак и величину коэффициента взаимодействия (c_{ab} и c_{ba}) в системе уравнений (4). На основе знака этого коэффициента можно выделить три фундаментальных типа взаимного влияния:

- 1) Негативное влияние (конкуренция, антагонизм): Технология B снижает темп роста технологии A , «отбирая» у неё рыночные ресурсы, инвестиции или внимание потребителей. В уравнениях это соответствует положительному значению коэффициента взаимодействия (c_{ab} , $c_{ba} > 0$), что уменьшает фактическую скорость роста каждой технологии в зависимости от численности другой.
- 2) Позитивное влияние (симбиоз, синергия): Технология B увеличивает темп роста технологии A , создавая для неё новые рыночные возможности, развивая

инфраструктуру или повышая общую привлекательность технологического кластера. В уравнениях это соответствует отрицательному значению коэффициента взаимодействия ($c_{ab}, c_{ba} < 0$), что приводит к взаимному усилению роста.

- 3) Нейтральное влияние (нейтрализм): Технология B не оказывает прямого воздействия на темп роста технологии A , и наоборот. Их сосуществование возможно, но не приводит к взаимному ускорению или замедлению. В уравнениях это соответствует нулевому значению коэффициента взаимодействия ($c_{ab}, c_{ba} = 0$).

Комбинируя возможные типы влияния технологии A на B и B на A , мы получаем многомодовую схему классификации, представленную в таблице 1.

В таблице 1 представлена многомодовая схема классификации взаимодействий между двумя технологиями (A и B), основанная на типе их взаимного влияния на темпы роста. Схема оформлена в виде матрицы 2×2 , где по осям отложены качественные эффекты влияния одной технологии на рост другой:

- по горизонтали (строка заголовка) указан «Эффект технологии A на темп роста B », который может быть положительным (стимулирующим) или отрицательным (ингибирующим).
- по вертикали (первый столбец) указан «Эффект технологии B на темп роста A », также с вариантами положительного или отрицательного воздействия.

На пересечении этих эффектов в ячейках матрицы определены четыре возможных режима (мода) взаимодействия:

- 1) Симбиоз. Ячейка на пересечении «Положительный эффект B на A » и «Поло-

жительный эффект A на B ». Обе технологии взаимно стимулируют рост друг друга.

- 2) «Хищник (B) – Жертва (A)». Ячейка на пересечении «Отрицательный эффект B на A » и «Положительный эффект A на B ». Технология B («хищник») подавляет рост технологии A (жертвы), в то время как A стимулирует рост B .
- 3) «Хищник (A) – Жертва (B)». Ячейка на пересечении «Положительный эффект B на A » и «Отрицательный эффект A на B ». Технология A («хищник») подавляет рост технологии B («жертвы»), в то время как B стимулирует рост A .
- 4) Чистая конкуренция. Ячейка на пересечении «Отрицательный эффект B на A » и «Отрицательный эффект A на B ». Технологии взаимно подавляют темпы роста друг друга, находясь в антагонистическом противостоянии.

Данная схема систематизирует все возможные двусторонние взаимодействия в зависимости от знака взаимного влияния, формируя основу для многомодового аналитического подхода.

Теоретически, возможны дополнительные режимы взаимодействия при нулевом влиянии одной технологии на другую. Однако для целей нашего исследования мы рассматриваем эти случаи как частные и фокусируемся на трёх основных режимах: симбиоз, «Хищник (A) – Жертва (B)», «Хищник (B) – Жертва (A)».

Предлагаемая модель описывает динамику рыночной доли (или численности пользователей) продуктовых поколений или рыночных решений, воплощающих в себе различные базовые технологические принципы. Для краткости и в соответствии с традицией исследований

Таблица 1. Многомодовая схема классификации взаимодействий между двумя технологиями (A и B)

Table 1. Multimode classification scheme for interactions between two technologies (A and B)

Влияние фактора B на темпы роста фактора A	Влияние фактора A на темпы роста фактора B	
	Положительный результат	Отрицательный результат
Положительный результат	Симбиоз	«Хищник (A) – Жертва (B)»
Отрицательный результат	«Хищник (B) – Жертва (A)»	Чистая конкуренция

Источник: разработано авторами
Source: developed by the authors based

диффузии инноваций мы далее будем использовать обобщающий термин «конкурирующие инновации» (A и B). Однако важно подчеркнуть, что модель фокусируется на макроуровне, где «инновация A » представляет собой не отдельный продукт, а технологически обусловленное продуктовое семейство или парадигму (например, электромобили как инновация A и автомобили с ДВС как инновация B ; стриминг и физические носители). В этом контексте «темпы роста» относится к распространению данной продуктивно-технологической парадигмы на рынке, а коэффициенты взаимодействия (cab , cba) отражают фундаментальный тип связи между этими парадигмами (симбиоз, «хищничество», конкуренция), выявленный на этапе качественного анализа (таблица 1).

Обсуждение результатов: анализ динамики конкуренции инноваций на основе модифицированной модели Лотки-Вольтерра

Основу предлагаемой модели диффузии инноваций составляют уравнения Лотки-Вольтерра, адаптированные из экологии. Ключевое отличие данной модели от классических моделей замещения (например, Фишера-Прая (Fisher & Pry, 1971)) заключается в отказе от унарной парадигмы. Традиционные модели описывают рост одной технологии в статичной рыночной нише, что априори предполагает вытеснение старой технологии по принципу «нулевой суммы». Они не позволяют смоделировать самостоятельную конкурентную динамику и ответное влияние устоявшейся технологии, поскольку сводят её к пассивному «остатку рынка» в рамках одного уравнения.

Как отмечает Граблер (Grubler, 1991), дискуссии о моделях диффузии часто ограничены унарной (рост в вакууме) или бинарной (технология против остального рынка) перспективой. Однако реальная диффузия требует мультивариантного подхода, учитывающего одновременную конкуренцию нескольких растущих технологий.

Описание этого процесса требует системы связанных дифференциальных уравнений,

поскольку одно уравнение не может отразить взаимное влияние технологий друг на друга. Каждая технология должна быть представлена собственным уравнением, учитывающим её драйверы, ограничения и коэффициенты связи, отражающие характер её воздействия на темпы роста конкурентов. А значит, классические модели замещения, основанные на одном уравнении, для этой цели непригодны.

Математическим аппаратом, подходящим для решения этой задачи, служат уравнения Лотки-Вольтерра (Bhargava, 1989). Ряд исследований подтвердил успешность их применения для моделирования технологической диффузии. Как отмечал Маркетти (Marchetti, 1987), эти уравнения, описывающие экологические системы, эффективно моделируют и конкуренцию в социально-технологической сфере.

Важно подчеркнуть, что термин «уравнения Лотки-Вольтерра» часто используется обобщённо для описания как чистой конкуренции, так и модели «хищник-жертва». Однако математические формулировки для этих режимов различны (что определяется знаком коэффициента связи), что приводит к принципиально разной динамике.

Для понимания основ системы Лотки-Вольтерра целесообразно начать с базовой логистической модели роста. Соответствующее дифференциальное уравнение представляется в виде (Girifalco, 1991):

$$dA/dt = a \times A - b \times A^2. \quad (1)$$

Анализ физической интерпретации отдельных членов уравнения (1) позволяет лучше понять модифицированные уравнения Лотки-Вольтерра для многомодового взаимодействия. В реальных условиях рост часто лимитирован ограниченными ресурсами. В такой среде отдельные элементы популяции вступают в конкурентную борьбу за эти ресурсы. Данный тип взаимодействия моделируется членом A^2 , который отражает взаимное влияние элементов популяции друг на друга и оказывает негативный эффект на темпы роста. Чтобы учесть это ограничение, в уравнение (1) добавляется член “ $- b \times A^2$ ”.

Первый член уравнения $a \times A$ (1) описывает экспоненциальный рост, где скорость роста в любой момент времени пропорциональна текущему значению A . Чем больше величина A , тем выше темп её роста, что отражено в решении (2), где A_0 является константой, задающей начальное условие.

$$A(t) = A_0 \times \exp(a \times t). \quad (2)$$

Это уравнение приводит к классической S-образной кривой для $A(t)$.

В решении (2), напротив, подразумевается отсутствие ограничений по ресурсам, а значит, и конкуренции между членами популяции, что соответствует условию $b = 0$.

Решение (1) – это хорошо известная S-образная кривая:

$$A(t) = a \times [b + b \times \exp(a(t_0 - t))]^{-1}. \quad (3)$$

Верхний предел роста S-образной кривой определяется отношением a/b , а момент времени t_0 соответствует достижению «половины пути» – половины предельного значения.

В уравнениях Лотки-Вольтерра для экосистем исходная посылка системы Лотки-Вольтерра заключается в том, что каждая популяция («вид») описывается собственным уравнением, аналогичным (1), при условии отсутствия взаимодействия с другими видами.

При возникновении взаимодействия между двумя или более популяциями в каждое уравнение добавляется член, описывающий это влияние.

Рассмотрим экосистему, где A – популяция «хищников», а B – популяция «жертв». Динамика такой системы описывается следующей парой уравнений (Carroll, 1981):

$$\begin{aligned} dA/dt &= a_a \times A - b_a \times A^2 + c_{ab} \times A \times B; \\ dB/dt &= a_b \times B - b_b \times B^2 + c_{ba} \times B \times A, \end{aligned} \quad (4)$$

где $c_{ab} > 0$ и $c_{ba} < 0$.

Члены $A \times B$ и $B \times A$ описывают взаимодействие элементов двух разных видов. Их форма и функция аналогичны членам A^2 и B^2 в логистическом уравнении, но они представляют межвидовое, а не внутривидовое взаимодействие.

Уравнения (4) явно описывают модель «хищник-жертва». Поскольку коэффициент $c_{ab} > 0$, контакт особей усиливает рост популяции «хищников» (A). Напротив, коэффициент $c_{ba} < 0$ означает, что взаимодействие негативно влияет на рост популяции «жертв» (B).

В природных экосистемах знаки этих коэффициентов постоянны. Однако в случае технологий режим взаимодействия и роли «хищника» и «жертвы» могут меняться со временем.

Здесь также предполагаем, что коэффициенты (a , b , c) постоянны, хотя для технологий они могут быть переменными. К этому вопросу вернёмся позднее.

Уравнения модели «хищник-жертва» (4) могут быть модифицированы для описания многомодовой системы, включающей чистую конкуренцию, симбиоз и взаимодействие «хищник-жертва».

Ключевая модификация заключается в том, что знаки коэффициентов связи (c) могут изменяться, а сами коэффициенты могут быть зависимыми от времени, а не константами, где различие между режимами взаимодействия определяется знаками коэффициентов связи (c). Случаи, когда $c = 0$, также могут рассматриваться как отдельные режимы.

Представим классификацию режимов взаимодействия двух технологий (A и B) в рамках модифицированной системы уравнений Лотки-Вольтерра. Классификация основана на знаках коэффициентов связи c_{ab} (влияние A на темп роста B) и c_{ba} (влияние B на темп роста A).

Определены четыре возможных режима:

- 1) Симбиоз, то есть обе технологии взаимно стимулируют рост друг друга. Режим определяется при $c_{ab} > 0$ и $c_{ba} > 0$.
- 2) «Хищник (A) – Жертва (B)», то есть технология A («хищник») подавляет рост технологии B («жертвы»), в то время как B стимулирует рост A . Режим определяется при $c_{ab} > 0$ и $c_{ba} < 0$.
- 3) «Хищник (B) – Жертва (A)», то есть технология B («хищник») подавляет рост технологии A («жертвы»), в то время как A стимулирует рост B . Режим определяется при $c_{ab} < 0$ и $c_{ba} > 0$.
- 4) Чистая конкуренция, то есть технологии взаимно подавляют темпы роста друг

друга, находясь в антагонистическом противостоянии. Режим определяется при $c_{ab} < 0$ и $c_{ba} < 0$.

Знаки пары коэффициентов (c_{ab} , c_{ba}) однозначно определяют тип динамического взаимодействия между двумя технологиями в предложенной модели.

Если перед коэффициентами всегда ставится знак '+', а сами коэффициенты c_{ab} и c_{ba} могут принимать как положительные, так и отрицательные значения, то программное обеспечение может одновременно оценивать как величину коэффициентов (интенсивность взаимодействия), так и их знак (режим взаимодействия). Это мощная концепция, позволяющая по набору данных автоматически определять характер и силу взаимного влияния технологий. Хотя уравнения Лотки-Вольтерра (особенно для чистой конкуренции) не имеют явного аналитического решения, они могут быть решены численно. Для этого можно применить разностную формулировку для случая чистой конкуренции, а затем, изменяя знаки перед с-коэффициентами, обобщить это решение для всех режимов взаимодействия.

Для наглядности используется исходное соглашение: коэффициенты $c > 0$, а режим взаимодействия явно задаётся знаком "+" или "-" перед ними.

Модифицированное решение для двух технологий в режиме «хищник (A) – жертва (B)» принимает следующий вид:

$$A(t+1) = A(t) \times \exp(a_a) \times [1 + A(t) \times b_a (\exp(a_a) - 1) \times a_a^{-1} - c_{ab} \times b_a^{-1} \times B(t) \times b_a (\exp(a_a) - 1) \times a_a^{-1}]^{-1};$$

$$B(t+1) = B(t) \times \exp(a_b) \times [1 + B(t) \times b_b (\exp(a_b) - 1) \times a_b^{-1} + c_{ba} \times b_b^{-1} \times A(t) \times b_b (\exp(a_b) - 1) \times a_b^{-1}]^{-1}. \quad (5)$$

На примере рынка композитных материалов в металлургической отрасли видна эволюция конкурентных режимов. Следующие композитные материалы, достигшие пика после Второй мировой войны, к 1980-м гг. столкнулись с кризисом сырьевой базы:

1. Броневые стали и комбинированная броня: гетерогенная броня – многослойные комбинации сталей разной твердости (например, поверхностно-упрочнённый слой с добавлением вязкой подложки); цементированная

броня – поверхностное насыщение стали углеродом для повышения твёрдости внешнего слоя; комбинированные конструкции – использование дополнительных экранов (например, сетчатые экраны из стальных прутьев на лёгкой технике для защиты от кумулятивных снарядов).

2. Стали с легирующими добавками (эконом-легирование). В условиях дефицита легирующих элементов (никель, хром, молибден) разрабатывались заменители и низколегированные композиции: использование марганца, кремния, алюминия в сочетании с термообработкой; использование стали 8С для противотанковых пушек (сочетание прочности и технологичности).
3. Биметаллы (слоистые композиты), то есть изготовление биметаллических стволов артиллерийских орудий, где внутренний слой состоит из износостойкой стали, внешний – из более дешёвой конструкционной стали (экономия высоколегированных материалов). Также использовались сварные комбинации – например, соединение броневых листов разных марок.
4. Металлокерамические композиты (твёрдые сплавы). Использовался материал Победит – сплав карбида вольфрама с кобальтом. Он использовался для режущих инструментов в металлообработке, броневой сердечков снарядов, керамико-металлических покрытий (повышения износостойкости деталей двигателей и гусениц).
5. Композитные сварочные материалы. Применялась порошковая проволока для сварки брони и ремонта техники в полевых условиях, комбинированные электроды с покрытиями, улучшающими свойства швов.

В качестве источников вышеприведенных данных использованы материалы ЦНИИЧермета и ВИАМ, документация металлургических заводов Урала и Сибири, а также научные труды и отчёты И.П. Бардина (металлургическое производство), А.А. Бочвара (легирование и термообработка) и Е.О. Патона (сварка и биметаллы).

Эволюция конкурентных режимов открыла путь новым композитам, которые стали применяться в различных формах, таким как:

1. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе эпоксидных и фенольных смол с армирующими наполнителями (стекловолокно, углеродное волокно). Они начали активно внедряться в аэрокосмической и оборонной промышленности с 1970–80-х гг. XX ст., а к 1990-м гг. стали критически важными для снижения веса летательных аппаратов (например, в самолётах Су и МиГ).
2. Металлические композиционные материалы (МКМ) с керамическими или интерметаллическими упрочнителями (например, алюминий – оксид алюминия, титан – бор). Они разрабатывались для высокотемпературных применений в двигателестроении.
3. Материалы, созданные методами порошковой металлургии, позволяющие получать композиты с контролируемой структурой (например, быстрорежущие стали с карбидами, твёрдые сплавы для инструмента).
4. Биметаллы и многослойные материалы, получаемые методами диффузионной сварки (например, сталь – алюминий в авиации) или напыления покрытий для создания износостойких и жаростойких поверхностей (например, лопатки турбин, режущий инструмент).
5. Композиты специального назначения, включая:
 - углепластики для спортивного инвентаря и медицинских протезов (в ограниченных масштабах);
 - стеклопластики для массового производства в строительстве и транспорте (вагоны, суда);
 - наноструктурированные материалы (например, наноструктурированный карбид вольфрама для инструмента).
6. Многослойные комбинированные броневые материалы, пришедшие на смену монолитной стальной броне. Конструкции типа «керамика – полимер – сталь» применяются в индивидуальной защите (бронезилеты) и лёгкой бронетехнике, включая алюминиевые и титановые сплавы с керамическими включениями. Итогом изменений, обусловленных эволюцией конкурентных режимов, к 1990-м гг. стали:
 - технологический прорыв в теории композитов, включая математическое моде-

лирование и появление новых классов материалов;

- смена парадигмы: переход от «монокристаллических металлов» к гибридным материалам, сочетающим металлы, полимеры и керамику;
- создание основ для будущего роста, когда в 2000-х гг. композиты стали ключевыми для авиации (МС-21, Су-57), космических отраслей и высокотехнологичных производств.

Анализ данных показывает, что волатильность рынка в основном затрагивала стали с легирующими добавками, в то время как продажи композитов устойчиво росли. Это указывает на динамику взаимодействия: начальная фаза симбиоза (параллельный рост) сменилась режимом «хищник-жертва», где ПКМ и МПК («хищник») подавляет рост стали с легирующими добавками («жертвы»), с потенциальным переходом к чистой конкуренции.

Упорство в инвестициях в устаревающую технологию, вопреки экономической логике, часто объясняется инерцией мышления, воспринимающего конкуренцию как игру с нулевой суммой. Однако реальный процесс – это динамическая смена режимов, где новые технологии не просто замещают старые, а могут временно стимулировать их рост, прежде чем начать вытеснение.

Новый анализ данных за шесть десятилетий (1964–2024 гг.) наглядно демонстрирует динамику смены режимов взаимодействия между сталями с легирующими добавками и ПКМ, МПК: от симбиоза (до 1983 г.) к отношениям «хищник-жертва» (до 1999 г.) и, наконец, к чистой конкуренции, что подтверждает исходную гипотезу.

Проведенный анализ динамики взаимодействия сталей с легирующими добавками, полимерных композиционных материалов (ПКМ) и металлополимерных композитов (МПК) позволяет сформулировать следующие основные выводы:

1. Динамика коэффициентов взаимодействия менялась со временем, что выражалось в изменении знака и величины коэффициентов связи (параметров, отражающих влияние рыночной ниши одной технологии

на темп роста другой). Ранний период (1960–1970-е гг.) характеризовался сильным взаимовлиянием технологий, которое постепенно ослабевало в последующие десятилетия по мере формирования устойчивых рыночных ниш.

2. Смена режимов взаимодействия подтверждена эмпирическими данными: эволюция режимов от симбиоза к конкуренции и обратно является не теоретическим постулатом, а наблюдаемым фактом. Многие существующие модели ошибочно постулируют постоянство коэффициентов взаимодействия, тогда как их изменчивость имеет критическое значение для понимания инновационной динамики и выработки адекватных стратегий.
3. Влияние внешних и внутренних факторов на смену режимов проявлялось двояко: с одной стороны, внешние шоки (экономические циклы, изменение промышленных стандартов, дефицит сырья) инициировали переходы между режимами; с другой – внутренняя динамика самой технологической системы (скачкообразное расширение производственных мощностей, появление новых рыночных ниш) также выступала драйвером изменений. Например, падение спроса в строительной отрасли часто сдвигало режим от симбиоза к модели «хищник – жертва» (где ПКМ и МПК выступали в роли хищника по отношению к традиционным сталям), тогда как рост спроса, напротив, возвращал систему в состояние симбиотического сосуществования.
4. Методологический прорыв предлагаемого подхода заключается в том, что компьютерное моделирование на основе модифицированных уравнений Лотки-Вольтерра позволило впервые не только количественно оценить величину коэффициентов взаимодействия, но и определить их знак в динамике. Это, в свою очередь, даёт возможность непосредственно устанавливать природу взаимодействия технологий (симбиоз, чистая конкуренция, режим «хищник – жертва») в каждый конкретный момент времени, что недоступно для классических моделей диффузии.

Кейс «стали с легирующими добавками и ПКМ, МПК» позволяет убедительно продемонстрировать, что конкурентное взаимодействие технологий является принципиально динамическим процессом, а не статичным противостоянием. Это создает основу для более точного моделирования сценариев и разработки стратегий в условиях технологических изменений.

Анализ выявил закономерную последовательность смены конкурентных режимов между технологиями: начальный симбиоз сменяется фазой «хищник-жертва», которая затем переходит в чистую конкуренцию. Примечательно, что в данном случае роль «хищника» всегда принадлежала новой технологии – ПКМ, МПК.

По результатам анализа динамики взаимодействия сталей с легирующими добавками, полимерных композиционных материалов (ПКМ) и металлополимерных композитов (МПК) можно заключить:

1. Начало диффузии. Новый продукт (ПКМ, МПК) первоначально выходит на рынок в симбиозе со сталями с легирующими добавками, взаимно стимулируя рост.
2. Ослабление симбиоза. Сила симбиотического эффекта ослабевает со временем (1964–1983 гг.).
3. Переходная фаза. Взаимодействие становится преимущественно «хищник-жертва» (ПКМ, МПК – «хищник»), хотя периодически возвращается к слабому симбиозу (1990–2011 гг.), когда влияние ПКМ, МПК на стали с легирующими добавками близко к нулю.
4. Финальная стадия. Доминирующим режимом становится чистая конкуренция, сила которой со временем нарастает, возможно, под влиянием внешних факторов.

Инновация (композитные изделия), сняв ограничения по сырью (лирированная сталь), не просто заместила старый продукт, а катализировала обновление металлургического производства, расширив сферу применения современных композитных материалов.

Проведенный анализ динамики взаимодействия материаловедческих инноваций позволяет сформулировать следующие практические рекомендации для менеджмента и промышленной политики:

1. Динамичность требует гибкости. Поскольку взаимодействие технологий носит многомерный характер (симбиоз, «хищник – жертва», чистая конкуренция) и эволюционирует во времени, стратегия должна быть адаптивной. Применение единой «постоянной» стратегии к разным режимам взаимодействия ведет к субоптимальным или катастрофическим результатам.
 2. Ранние сигналы для менеджмента. Внезапный рост зрелого продукта на фоне появления новой технологии может быть не поводом для оптимизма, а предвестником смены режима с симбиоза на «хищника – жертву». Игнорирование этой динамики – распространенная стратегическая ошибка, ведущая к упущенным возможностям или запоздалой реакции.
 3. Источники угроз и сопротивления. Наиболее серьезные вызовы для устоявшихся технологий часто исходят от новых игроков и неожиданных отраслей, а не от традиционных конкурентов. Сопротивление инновациям со стороны менеджмента естественно, особенно если отсутствует ясный путь адаптации, и часто приводит к политической защите статус-кво вместо поиска новых решений.
 4. Различия в восприятии конкурентной динамики. Новые участники рынка склонны воспринимать конкуренцию как возможность для симбиоза, захватывая свободные ниши и создавая новые применения. Менеджмент устоявшихся предприятий и государственных институтов, напротив, часто застревает в парадигме «хищника – жертвы» или игры с нулевой суммой, что ведет к чрезмерным инвестициям в гибридные или заведомо устаревающие решения.
- разработка практических диагностических инструментов для менеджеров по раннему распознаванию текущего режима взаимодействия;
 - анализ стратегий, оптимальных для каждой фазы (симбиоз, «хищник-жертва», конкуренция);
 - исследование когнитивных и организационных барьеров, мешающих фирмам адекватно реагировать на динамику технологического взаимодействия.

Ключевая проблема, выявляемая в ходе анализа диффузии инноваций, заключается в том, что новые, так называемые «прорывные» инновации часто сначала улучшают положение устоявшейся практики, подкрепляя консервативные аргументы об отсутствии угрозы. Наши исследования показывают типичную траекторию: взаимодействие начинается с симбиоза, переходит через фазу «хищник-жертва» и лишь затем приходит к чистой конкуренции.

Новая практика обычно зарождается в незанятых или недоступных для менеджмента рыночных нишах. Зрелый продукт может продолжить рост, а новая технология – захватывать премиальные сегменты. Этот паттерн подтверждается историческими примерами:

1. Появление машинного производства льда (1860-е гг.) резко увеличило спрос на природный лёд, сделав охлаждение доступным круглогодично и создав симбиоз. Лишь позже началось прямое замещение.
 2. Изобретение транзистора (1947 г.) не привело к немедленной смерти вакуумных ламп – их продажи росли ещё 15 лет. Технологии сосуществовали, порождая гибридные продукты (телевизоры с «мгновенным» включением). Даже сегодня лампы сохраняются в нишевых применениях, превратившись из товара в ценный реликт.
 3. Замещение керосина газовым освещением открыло для керосина новый крупный рынок – моторное топливо. А вытеснение газа электрическим светом стимулировало его использование для отопления и приготовления пищи.
- «Смерть» старой технологии при замене не является неизбежной – она часто

Обсуждение направлений для дальнейших исследований

Предложенная модель имеет практическую значимость для инновационной стратегии, предоставляя инструмент как для разработчиков новых, так и для защитников зрелых технологий.

Направления для будущих исследований:

- детальное изучение триггеров и закономерностей смены режимов;

трансформируется, находя новые, иногда более ценные, ниши.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Истоки многих ошибочных прогнозов скрыты в допущении, что любая конкурентная гонка является игрой с нулевой суммой. Однако на практике ситуация иная: взаимодействие технологий часто начинается с симбиоза. Так, ранние предложения о композитных материалах отвергались, пока не было осознано, что их траектория развития повторяет путь легированных сталей, а низкий барьер для эксперимента позволяет быстро достигать превосходства по ключевым параметрам.

Проведенное исследование демонстрирует, что взаимодействие технологий динамично и эволюционирует – от симбиоза через «хищническую» конкуренцию к чистой конкуренции. Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана модель диффузии технологий, описывающая не только прямую конкуренцию, но и альтернативные режимы взаимодействия: динамику «хищник – жертва» и состояние симбиоза.
2. Модель применима для анализа диффузии в условиях множественных технологий, а не только упрощённого противостояния одного нового и одного устоявшегося продукта.
3. Отказ от обязательного предположения о чистой конкуренции позволяет рассчитывать смену режимов взаимодействия технологий в динамике, год за годом.
4. Модель не требует априорной оценки общего размера рынка, что даёт возможность рассчитывать динамику рыночного проникновения по мере её развития.
5. Учёт влияния предшествующего развития обеспечивает различные результаты в зависимости от начальных условий конкуренции.

Полученные сценарии смены режимов взаимодействия содержательно соотносятся с теорией технологических укладов (Глазьев, 1993; Глазьев, 2010): фаза симбиоза соответствует зарождению нового уклада, «хищническая» конкуренция – его масштабному развёртыванию, а чистая конкуренция – фазе зрелости доминирующего уклада.

Предложенная модель может служить инструментом для микроуровневого анализа динамики на стыке макротехнологических волн, помогая идентифицировать точки бифуркации, когда взаимодействие технологий меняет свой характер, что сигнализирует о потенциальной смене доминирующего технологического режима. Это открывает возможности для более точного стратегического позиционирования в периоды великих технологических переходов, теоретически описанных в работах С.Ю. Глазьева (Глазьев, 1993; Глазьев, 2010; Глазьев и др., 2019).

Предложенная модель, однако, имеет ряд ограничений: высокий уровень абстракции, сложность эмпирической калибровки коэффициентов, предпосылка закрытой системе и ограниченность прямых управленческих рекомендаций. Тем не менее, её ценность заключается в систематизации мышления и качественном анализе сценариев, позволяя классифицировать тип конкурентной ситуации и заблаговременно идентифицировать риски или возможности.

Перспективные направления дальнейших исследований включают: моделирование с динамическими коэффициентами, разработку новых метрик для случаев перехода от продукта к услуге, определение границ продукта в условиях их размывания, а также верификацию модели на исторических кейсах и расширение на три и более взаимодействующих агента.

Вклад участников научного исследования

Ерохин, В.В.: Административное руководство исследованием, Проведение исследования, Написание черновика рукописи, Написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Павлютенкова, О.А.: Проведение исследования, Визуализация.

Contributions

Erokhin, V.V.: Administrative management of the research project, Investigation, Original Draft Preparation, Writing the manuscript – reviewing and editing.

Pavlyutenkova, O.A.: Investigation, Visualization.

Конкурирующие интересы

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The authors declare no conflict of interest.

Список источников/References

1. Глазьев, С.Ю. (2010). *Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса*. Экономика. EDN: QUGVQF
Glazyev, S.Yu. (2010). *Strategy for Russian growth in the context of the global economic crisis*. Ekonomika. EDN: QUGVQF (in Russian)
2. Глазьев, С.Ю. (1993). *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. ВладДар. EDN: YSXIUV
Glazyev, S.Yu. (1993). *Theory of long-term technical and economic development*. VlaDar. EDN: YSXIUV (in Russian)
3. Глазьев, С.Ю., Айвазов, А.Э., & Беликов, В.А. (2019). Циклически-волновые теории экономического развития и перспективы мировой экономики. Предсказуемо ли среднесрочное и долгосрочное развитие мировой экономики. *Научные труды Вольного экономического общества России*, 219(5), 177–211. EDN: XWMZDH
Glazyev, S.Yu., Aivazov, A.E., & Belikov, V.A. (2019). Cyclic wave theories of economic development and the outlook for the global economy: is global growth predictable in the medium and long term? *The Proceedings of the Free Economic Society of Russia*, 219 (5), 177–211. EDN: XWMZDH (in Russian)
4. Сухарев, О.С. (2010). Иерархические структуры и инновационное развитие. *Экономический анализ: теория и практика*, 37(202), 2–14. EDN: MVUITT
Sukharev, O.S. (2010). Hierarchical structures and innovative development. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 37(202), 2–14. EDN: MVUITT (in Russian)
5. Сухарев, О.С. (2024). Технологическое развитие: перспективы искусственного интеллекта. *Эргодизайн*, 4(26), 424–434. EDN: GQFVHE, <https://doi.org/10.30987/2658-4026-2024-4-424-434>
Sukharev, O.S. (2024). Technological development: the prospects of artificial intelligence. *Ergodesign*, 4(26), 424–434. EDN: GQFVHE (in Russian) <https://doi.org/10.30987/2658-4026-2024-4-424-434>
6. Сухарев, О.С. (2020). Эффективность наукоемких фирм и формирование инновационной динамики. *Федерализм*, 1(97), 44–65. EDN: JKZPML, <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2020-1-44-65>
Sukharev, O.S. (2020). Efficiency of scientific companies and formation of innovative dynamics. *Federalism*, 1(97), 44–65. EDN: JKZPML (in Russian) <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2020-1-44-65>
7. Bhargava, S.C. (1989). Generalized Lotka-Volterra equations and the mechanism of technological substitution. *Technological Forecasting and Social Change*, 35(4), 319–326. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(89\)90068-1](https://doi.org/10.1016/0040-1625(89)90068-1)
8. Carroll, G.R. (1981). Dynamics of organizational expansion in national systems of education. *American Sociological Review*, 46(5), 585–599. <https://doi.org/10.2307/2094940>
9. Fisher, J.C., & Pry, R.H. (1971). A simple substitution model of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 75–88. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(71\)80005-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(71)80005-7)
10. Girifalco, L.A. (1991). *Dynamics of technological change*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6509-9>
11. Grubler, A. (1991). Diffusion: long-term patterns and discontinuities. *Technological Forecasting and Social Change*, 39(1–2), 159–180. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(91\)90034-D](https://doi.org/10.1016/0040-1625(91)90034-D)
12. Mahajan, V., Muller, E., & Bass, F.M. (1993). *New-product diffusion models*. In *Handbooks in Operations research and management science* (Vol. 5, pp. 349–408). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(05\)80031-3](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(05)80031-3)
13. Marchetti, C. (1987). Infrastructures for movement. *Technological Forecasting and Social Change*, 32(4). [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(87\)90053-9](https://doi.org/10.1016/0040-1625(87)90053-9)
14. Norton, J.A., & Bass, F.M. (1987). A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products. *Management Science*, 33(9), 1069–1086. <http://www.jstor.org/stable/2631875>
15. Rogers, E.M. (2002). Diffusion of preventive innovations. *Addictive Behaviors*, 27(6), 989–993. [https://doi.org/10.1016/S0306-4603\(02\)00300-3](https://doi.org/10.1016/S0306-4603(02)00300-3)
16. Rogers, E.M. (2010). *Diffusion of Innovations (4th ed.)*. Simon and Schuster.
17. Rogers, E.M. (2015). *Evolution: diffusion of innovations*. In *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (2nd ed., pp. 378–381). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.81064-8>

18. Rogers, E.M., Singhal, A., & Quinlan, M. (2019). *Diffusion of innovations. In an integrated approach to communication theory and research* (pp. 182–186). Lawrence Erlbaum Associates. EDN: GRFQHN, <https://doi.org/10.4324/9780203710753-35>
19. Utterback, J.M., & Brown, J.W. (1972). Profiles of the future monitoring for technological opportunities. *Business Horizons*, 15(5), 5–15. [https://doi.org/10.1016/0007-6813\(72\)90042-0](https://doi.org/10.1016/0007-6813(72)90042-0)

Информация об авторах

Ерохин Виктор Викторович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры “Математические методы и бизнес-информатика” Московского государственного института (университет) международных отношений Министерства иностранных дел Российской Федерации, профессор кафедры “Инновационное предпринимательство” Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана; SPIN-код РИНЦ 8268–7382, Scopus Author ID: 57195330507, ORCID: 0000-0002-8754-0012 (Российская Федерация, 119454, Москва, проспект Вернадского, дом 76; erohinvv@mail.ru).

Павлютенкова Ольга Алексеевна – кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры “Инновационное предпринимательство” Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана; SPIN-код РИНЦ 3499–1721 (Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр. 1; olgapavl@bmstu.ru).

Authors

Viktor V. Erokhin – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mathematical Methods and Business Informatics of the Moscow State Institute (University) of International Relations of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, Professor of the Department of Innovative Entrepreneurship of Bauman Moscow State Technical University; Scopus Author ID: 57195330507, ORCID: 0000-0002-8754-0012 (76, Vernadskogo pr., Moscow, 119454, Russian Federation; erohinvv@mail.ru).

Olga A. Pavlyutenkova – Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Innovative Entrepreneurship of Bauman Moscow State Technical University (5/12nd Baumanskaya Street, Moscow, 105005, Russian Federation; olgapavl@bmstu.ru).

Поступила в редакцию (Received) 20.12.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 10.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 26.02.2026

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТРАСЛИ
ЭКОНОМИКИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ**

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
УДК 338.2
JEL: D81, M10, C89
EDN: HTRVPO

Технология управления по слабым сигналам в информационно избыточных средах «экономики данных»

С.Г. Камолов¹, Д.Б. Алексеев², Д.Д. Девятова³

¹ Московский государственный институт международных отношений Министерства иностранных дел Российской Федерации, <https://ror.org/04zn7jb34>, Москва, Российская Федерация; e-mail: s.kamolov@inno.mgimo.ru

² Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, <https://ror.org/04xnm9a92>, Москва, Российская Федерация; e-mail: alekseev-db@ranepa.ru

³ АНО «Институт сравнительных исследований умных городов», Москва, Российская Федерация; e-mail: thesvirina@gmail.com

Аннотация. Целью настоящего исследования является библиометрическая систематизация подходов к технологии управления по слабым сигналам с последующим синтезом верифицируемой онтологической модели концепта. Научная новизна исследования заключается в реконструкции трансдисциплинарной онтологической структуры слабого сигнала как управленческой категории, объединяющей кибернетические, информационные и стратегические основания. Для ее достижения решаются две ключевые задачи: определение семантического поля, локализирующего концепт слабого сигнала в междисциплинарном пространстве, и реконструкция трансдисциплинарной онтологической карты технологии управления. Применены библиометрические статистические инструменты, семантическое кодирование и картографирование. Методологической основой исследования выступает сочетание библиометрического анализа, семантической нормировки и онтологического моделирования. Корпус исследования включает 210 публикаций, отобранных за период 1996–2023 г. на основе сплошной выборки из международных баз научного цитирования. Верификация концепта слабых сигналов выполнена на двух кейсах. *Результатами* исследования являются: формирование семантической карты концепта «слабого сигнала»; выявление устойчивых кластеров научного дискурса и их сравнительная характеристика; построение онтологической модели технологии управления по слабым сигналам. Авторами созданы методологические основания для дальнейшей разработки концепта менеджмента по слабым сигналам и применения в управлении сложными наукоёмкими организационными системами в условиях экономики данных.

Ключевые слова: слабые сигналы, стратегический менеджмент, кибернетика, теория информации, библиометрический анализ, неопределенность

Информация о финансировании: Данное исследование выполнено без внешнего финансирования.

Для цитирования: Камолов, С.Г., Алексеев, Д.Б., & Девятова, Д.Д. (2026). Технология управления по слабым сигналам в информационно избыточных средах «экономики данных». *Экономика науки*, 12(1), 136–150.

EDN: HTRVPO

SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS AND ITS IMPACT ON INDUSTRIES,
ECONOMIC GROWTH, AND INNOVATIVE DEVELOPMENT

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
JEL: D81, M10, C89
EDN: HTRVPO

Technology of management by weak signals in information redundant environments of the data economy

S.G. Kamolov¹, D.B. Alekseev², D.D. Devyatova³

¹ Moscow State Institute of International Relations of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, <https://ror.org/04zn7jb34>, Moscow, Russian Federation; e-mail: s.kamolov@inno.mgimo.ru

² Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, <https://ror.org/04xnm9a92>, Moscow, Russian Federation; e-mail: alekseev-db@ranepa.ru

³ ANO "Institute for Comparative Studies of Smart Cities", Moscow, Russian Federation; e-mail: thesvirina@gmail.com

Abstract. *Relevance.* Today, the government is making significant efforts for implementation of the national project "Data Economics and Digital Transformation of the State", which will create an advanced technological infrastructure for real-time processing of management information in unprecedented volumes. A dialectical view of the processes of shaping an economic environment saturated with data allows us to consider a number of challenges that require scientific understanding. The key one is the need to distinguish between data with the management value and disparate information arrays. At a fundamental level, this problem was foreseen by the founders of cybernetics, developing the "weak signal–noise" dichotomy, where weak signals can be considered as proto-data. A weak signal is an inconspicuous, not yet classified, but potentially critical for decision–making, sign of changes in the internal and external environment that eludes standard perception and analysis procedures. Technology of management by weak signals issues have been the subject of research not only in cybernetics, but also in information theory and strategic management, but the task of developing a unified applied management methodology has not yet been solved. The *purpose* of this study is the bibliometric systematization of approaches to the technology of weak signal management, followed by the synthesis of a verifiable ontological model of the concept. The scientific novelty of the study lies in the reconstruction of a transdisciplinary ontological structure of the weak signal as a managerial category that integrates cybernetic, informational, and strategic foundations. To achieve this goal, two key tasks were solved: defining a semantic field that localizes the concept of a weak signal in an interdisciplinary space, and transdisciplinary ontological mapping of such technology. Bibliometric statistical tools, semantic coding and mapping are used. The methodological basis of the study is the combination of bibliometric analysis, semantic normalization, and ontological modeling. The research corpus includes 210 publications selected for the period 1996–2023 based on a continuous sample from international scientific citation databases. Verification of the concept of weak signals was carried out on two cases. The *results* of the study include: the construction of a semantic map of the "weak signal" concept; the identification of stable clusters of scientific discourse and their comparative characterization; and the development of an ontological model of the technology of management by weak signals. The authors have created methodological foundations for the further development of the concept of management by weak signals and its application in the governance of complex organizational systems in data economy.

Keywords: weak signals, strategic management, cybernetics, information theory, bibliometric analysis, uncertainty

Funding: This research received no external funding.

For citation: Kamolov, S.G., Alekseev, D.B., & Devyatova, D.D. (2026). Technology of management by weak signals in information redundant environments of the data economy. *Economics of Science*, 12(1), 136–150. EDN: HTRVPO

Введение

Сегодня государство предпринимает значительные усилия по реализации национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация

государства», направленного на создание передовой технологической инфраструктуры для обработки управленческой информации в режиме реального времени и в беспрецедентных объёмах. Диалектический взгляд на

процессы формирования экономической среды, перенасыщенной данными, позволяет выявить ряд вызовов, требующих научного осмысления. Ключевой из них – различение данных, имеющих ценность для управления, и разрозненных информационных массивов.

На фундаментальном уровне эту проблему предвидели основоположники кибернетики, разрабатывая дихотомию «слабый сигнал – шум», где слабые сигналы могут рассматриваться в качестве прото-данных. Слабый сигнал – малозаметный, ещё не классифицированный, но потенциально критический для принятия решений признак изменений во внутренней и внешней среде, ускользающий от стандартных процедур восприятия и анализа.

Технология управления по слабым сигналам становилась предметом исследования не только в кибернетике, но и в теории информации и стратегическом менеджменте, однако задача разработки единой прикладной методологии до сих пор не решена.

Проблема слабых сигналов проявляется в диапазоне между ригидными классическими управленческими моделями, основанными на «план-факт» анализе (ex-post), и подвижными вероятностными стратегиями форсайт-исследований, сценарного планирования (ex-ante). В этом пространстве возникают ситуации, где планирование не достигает необходимого детерминизма, а предиктивные модели управления еще недостаточно зрелые. «Слабый сигнал» рассматривается авторами не как феноменологический маркер происходящих изменений (Weick, 1995), а как индикатор, указывающий на пределы институциональной чувствительности управляющей системы, свидетельствующий о достижении когнитивной границы распознавания. Информационная избыточность становится неотъемлемым свойством современной экономики знаний и выражается в усложнении обстоятельств принятия решений, несмотря на насыщение информационного поля большими данными. Это состояние связано с ограниченностью ключевого управленческого ресурса – внимания и интерпретационных возможностей лиц, принимающих решения, вследствие чего критическим становится различение значимых

сигналов на фоне шума (Daft, Lengel, 1986; Shannon, 1948, Ackoff, 1989).

Феномен слабых сигналов в управлении является предметом одновременно трех научных дисциплин – кибернетики, теории информации и стратегического менеджмента (Shannon, 1948; Wiener, 1948; Ansoff, 1975). Отсутствие трансдисциплинарного онтологического описания данного концепта затрудняет формирование универсальной методологии и прикладной технологии управления в условиях наращивания зависимости организационных структур от данных (King, 1957; Bloom et al., 2016; Bryson, 2021). Настоящее исследование направлено на преодоление междисциплинарной фрагментации данного концепта на основе двух аналитических векторов:

- 1) библиометрического – как инструмента картографирования научного ландшафта и выявления центров исследовательского притяжения;
- 2) онтологического – как способа выявления структурных инвариантов концепта управления по слабым сигналам, в котором «слабый сигнал», как элементарная информационная единица, обретает смысловую форму, управленческую применимость и интегрируется в технологию управления.

Целью настоящего исследования является библиометрическая систематизация подходов к управлению по слабым сигналам с последующим синтезом верифицируемой онтологической модели, воспроизводящей ключевые признаки и атрибуты концепта технологии управления по слабым сигналам. Для ее достижения должны быть решены следующие задачи: – построить семантическое поле для локализации концепта «слабого сигнала»; выполнить реконструкцию трансдисциплинарной онтологической карты пересечений между кибернетикой, теорией информации и менеджментом, и построить онтологическую модель концепта управления по слабым сигналам.

Методология

Основоположники кибернетики и теории информации интерпретировали слабый сигнал как незначительное возмущение, способное

нарушить системное равновесие (Wiener, 1948; Ashby, 1956). В работах Винера и Эшби сигнал осмысливается как критическое возмущение, активирующее контур обратной связи и инициирующее переход системы к иной конфигурации устойчивости. Теория информации Шеннона и Уивера развила это представление об организационной динамике, предложив количественные методы фильтрации и идентификации значимой информации на фоне шума (Shannon & Weaver, 1949).

В 1980-х гг. возникают управленческие трактовки понятия слабого сигнала. Для Ансоффа это ранний индикатор стратегических изменений (Ansoff, 1975). Минцберг и Сенге связывают эффективность детекции сигналов с обучаемостью, структурной гибкостью и коллективным осмыслением (Mintzberg, 1987; Senge, 1990). Так «слабый сигнал» трансформируется в управленческий индикатор, требующий действия.

Кроме того, дискурс о слабых сигналах развивали системная школа (сигналы как микровозмущения в обратных связях) (Beer, 1979; Forrester, 1961; Von Foerster, 1984, Sterman, 2000), конструктивистская (сигналы как результат интерпретации и согласования смысла)

(Weick, 1995; Daft & Lengel, 1986) и поведенческая (сигналы как искаженное или игнорируемое восприятие) (Simon, 1957; Kahneman et al., 1972; Rasmussen, 1983; Tversky, 1974, Chandola et al, 2009).

Мы выявили устойчивые сопряжения теории и прикладного исследовательского инструментария вокруг проблемы слабого сигнала, представленные на *рисунке 1*, иллюстрирующем, какие методологические звенья формируют когнитивную чувствительность управленческих систем – от восприятия аномалий до принятия стратегических решений.

На следующем этапе исследования были систематизированы ключевые категории трёх смысловых пространств: кибернетики (обратная связь, гомеостаз, адаптация) (Ashby, 1956; Beer, 1979), теории информации (шум, фильтрация, энтропия) (Shannon & Weaver, 1949) и стратегического менеджмента (управленческая чувствительность, сценарное мышление, предвидение) (Senge, 1990; Schoemaker, 1995). На основе методик выявления устойчивых смысловых структур (Krippendorff, 2018; Braun & Clarke, 2006) разработана сводная семантическая карта концепта слабого сигнала (*таблица 1*).



Рисунок 1. Систематизация исследовательских подходов к слабым сигналам

Figure 1. Systematization of Research Approaches to Weak Signal

Источник: составлено авторами
 Source: compiled by the authors

Таблица 1. Фрагмент семантической карты концепта «слабого сигнала» в трех областях знаний*
Table 1. A fragment of Semantic Map of the Concept of «Weak Signal» in Three Areas of Knowledge

Термин	Определение	Год первого упоминания	Оценочная встречаемость
<i>Кибернетика</i>			
Чувствительность системы	Способность обнаруживать слабые внешние воздействия	1950-е	средняя (1)
<i>Теория информации</i>			
Сигнал	Информация, несущая смысл в системе	1948	очень высокая (3)
<i>Стратегический менеджмент</i>			
Слабый сигнал	Ранний признак потенциальных изменений	1948	высокая (2)

* Примечание: Встречаемость оценивалась по шкале от 0 (отсутствие в корпусе) до 3 (высокая устойчивость термина в академическом обороте).

Источник: разработано авторами
Source: developed by the authors

Также авторы разработали онтологическую карту понятий концепции слабых сигналов, представленную на рисунке 2.

Центр онтологического графа образуют узлы, отражающие междисциплинарные пересечения, что подтверждает концептуальную связанность областей знаний, устойчивость онтологической структуры и формирование

семантического ядра, характеризующего слабый сигнал как предвестника системного сдвига, требующего когнитивного постижения (Weick, 1995; Daft & Lengel, 1986).

В рассмотренных работах признаётся необходимость обеспечения сигнальной чувствительности как условия для адаптации и трансформации. На этом основании авторы предлагают

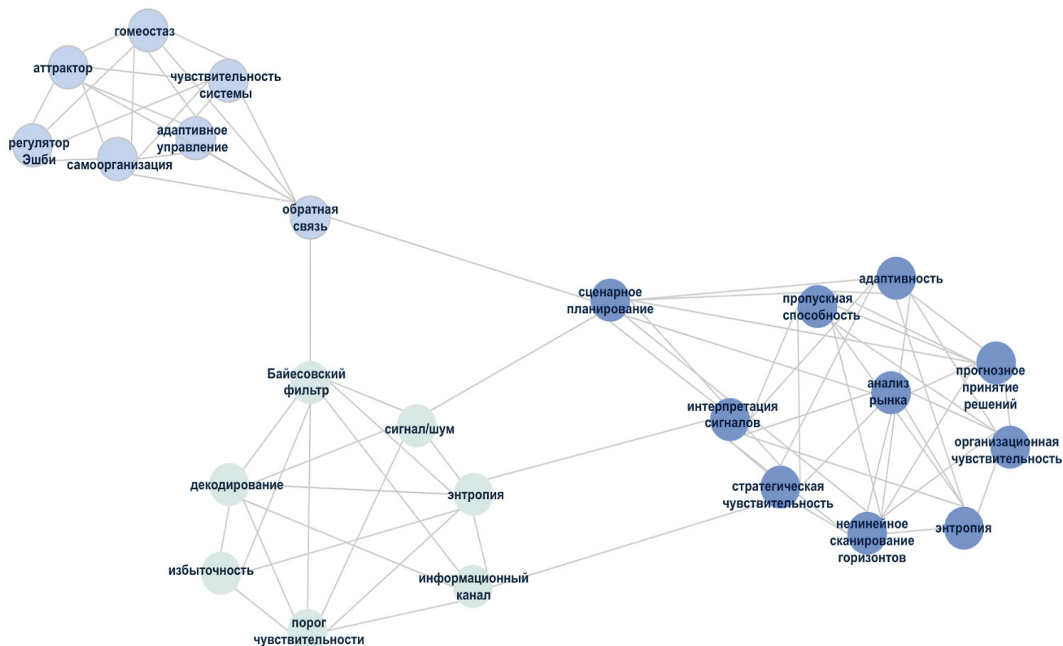


Рисунок 2. Онтологическая карта ключевых понятий концепции слабых сигналов
Figure 2. Ontological map of key concepts in weak signal theory

Источник: разработано авторами
Source: developed by the authors

следующее обобщающее определение: слабый сигнал – малозаметный, еще не классифицированный признак изменений во внутренней и внешней среде, находящийся на границе восприятия, но потенциально несущий информацию о возможных отклонениях в будущем поведении системы.

Слабые сигналы – не аномалии в информационном потоке, а индикаторы системной устойчивости и способности к управляемым изменениям. Через них выстраивается связка между когнитивным восприятием и стратегическими контурами принятия решений. На этом основании предлагается рассматривать слабый сигнал как интегральный элемент современных технологий управления и, в особенности, управления, основанного на данных (data-based management), и доказательного управления (evidence-based management). Предлагаемый подход логично встраивает сложившиеся представления о менеджменте, как о технологии (знании и способности) преобразования ресурсов организации в целевой результат, в контекст «экономики данных».

Методический инструментарий

Процесс библиометрического исследования состоит из пяти последовательных фаз от отбора релевантных данных до интерпретации выявленных структур:

1. Научный дизайн исследования. Выбор ключевых областей знания – кибернетика, теория информации и стратегический менеджмент; формирование списка поисковых запросов: «weak signal», «entropy», «early indicator», «foresight», «noise», «feedback», «adaptation».
2. Формирование эмпирической базы. Отбор релевантных публикаций из международных баз научного цитирования за период 1996–2023 гг.
3. Предварительная обработка и анализ. Построение карт со-цитирования и сетей сопряженных терминов с использованием автоматизированных инструментов обработки и анализа данных.
4. Визуализация результатов. Создание overlay-карт и тематических графов для иллюстрации междисциплинарных связей

и пространственного расположения кластеров в научном поле.

5. Консолидация и интерпретация кластеров. На основе критериев центральности и плотности связей выделение трех кластеров – кибернетического, информационного и управленческого.

Исследование строится на интеграции количественных и качественных методов, включая библиометрический и семантический анализ понятий (Aria & Cuccurullo, 2017; Krippendorff, 2018). Статистическое моделирование динамики публикаций, матрицы соавторства и весовые характеристики терминов формируют карту ключевых понятий и научных направлений (Weick, 1995).

Корпус англоязычных публикаций извлечен по ключевым словам, из международных библиографических и реферативных баз научной литературы (Web of Science, Scopus, Lens.org, Dimensions.ai) за период 1996–2023 гг.¹ Первичный «неочищенный» массив составил 49 232 междисциплинарные публикации. После многоступенчатой фильтрации по критериям релевантности и фокусировки на управленческом контексте, выборка была сужена до 210 публикаций, которые легли в основу последующего построения модели на основе распределения Ципфа, обеспечивающей аналитическую воспроизводимость корпуса исследования.

Инструменты анализа: VOSviewer и Bibliometrix (карты со-цитирования, ко-терминов и динамики публикаций), CiteSpace («всплески» цитируемости, overlay-карты), NVivo (семантический и контент-анализ), BibExcel (предварительная обработка экспортированных данных – форматирование, очистка и трансформация выгрузок).

Основной паттерн: («weak signal») AND («strategic management») AND («horizon scanning»).

Ключевые слова: entropy, noise, feedback, adaptation, foresight, early indicators.

¹ Данные Web of Science и Scopus получены в период действовавшего институционального доступа (до 2022–2023 гг.) и использованы в виде архивных выгрузок. Для проверки полноты корпуса и сопоставимости выборки применялись открытые агрегаторы Lens и Dimensions.

Типы документов: обзорные статьи, эмпирические исследования, конференционные доклады, монографии и диссертации.

Критерии включения: явная привязка к слабым сигналам в стратегическом и организационном контексте; эмпирические или теоретические методы обнаружения и интерпретации сигналов.

Критерии исключения: отсутствие методологической, теоретической или эмпирической составляющей работы с слабыми сигналами; публикации за пределами стратегического менеджмента и организационных исследований.

Количественная реконструкция понятийного ландшафта, матрица весов и структурная значимость терминов

Нормированная рангово-весовая модель воспроизводит иерархию понятий: от частотной интенсивности до смысловой вариативности, от центральных понятий до периферийных значений, и является основой для оценки категориальной вариативности.

Для упорядочения ключевых терминов и исследований в кибернетике, теории информации и стратегическом менеджменте авторами построена матрица «термин×кластер». Каждому элементу присваиваются две нормированные метрики: частота упоминаний и показатель «всплеска» цитируемости, вычисляемый в CiteSpace. Полученные значения конвертируются в ранговую шкалу и агрегируются в единый балл, отражающий совокупное влияние каждого термина или автора в пределах каждой области.

Агрегированный балл определяется по формуле:

$$C_i = \frac{\text{частота}_i - \min(\text{частота})}{\max(\text{частота}) - \min(\text{частота})} + \frac{\text{всплеск}_i - \min(\text{всплеск})}{\max(\text{всплеск}) - \min(\text{всплеск})} \quad (1)$$

Для каждого кластера используются векторные ранги:

$$E[p] = \frac{1}{H_C} \sum_{i=1}^{H_C} c_i, \\ \text{Var}(p) = \frac{1}{H_C} \sum_{i=1}^{H_C} (p_i - E[p])^2 \quad (2)$$

где i – индекс элемента (термина, автора и т.д.) внутри кластера;

H_C – количество элементов в кластере;

c_i – агрегированный балл i -го элемента;

p_i – значение переменной p для i -го элемента;

$E(p)$ – математическое ожидание (среднее значение);

$\text{Var}(p)$ – дисперсия.

Итоговая матрица должна показать какие концепты образуют ядро научного дискурса о слабых сигналах, а какие – периферию.

Вариативность и семантическое кодирование

Следующий шаг исследования – расчет параметров рангового вектора, отражающих характеристики распределения: математическое ожидание рангового балла, отражающее средний уровень «центральности» терминов в кластере; дисперсия рангов, показывающая степень внутрикластерной неоднородности от консолидированного ядра до широкого диапазона понятий. Чтобы оценить, насколько однородно распределена значимость терминов внутри каждого тематического кластера и выявить как централизованные, так и маргинальные элементы, каждому термину из глоссария присваивается вес $w_i \in \{0, 1, 2, 3\}$ в зависимости от доли публикаций (0–4,9% → «0»; 5–15% → «1»; 16–30% → «2»; > 30% → «3»). По векторам весов внутри каждого кластера рассчитываются:

1. Дисперсия:

$$\text{Var}(w) = \frac{1}{N_C - 1} \sum_{i=1}^{N_C} (w_i - E[w])^2 \quad (3)$$

где отражается степень разброса весов внутри кластера (низкое значение указывает на то, что все термины кластера встречаются примерно с одинаковой частотой, а высокое значение – что среди них есть как очень частотные (вес = 3), так и крайне редкие (вес = 0) понятия.

2. Математическое ожидание:

$$E[w] = \frac{1}{N_C} \sum_{i=1}^{N_C} w_i \quad (4)$$

где N_C – число терминов в кластере, w_i – вес i -го термина. Показатель $E[w]$ отражает средний уровень значимости терминов (чем выше, тем «тяжелее» ядро семантического поля).

Результаты

Данный раздел освещает две ключевые задачи исследования, фокусируясь на онтологическом моделировании слабого сигнала как

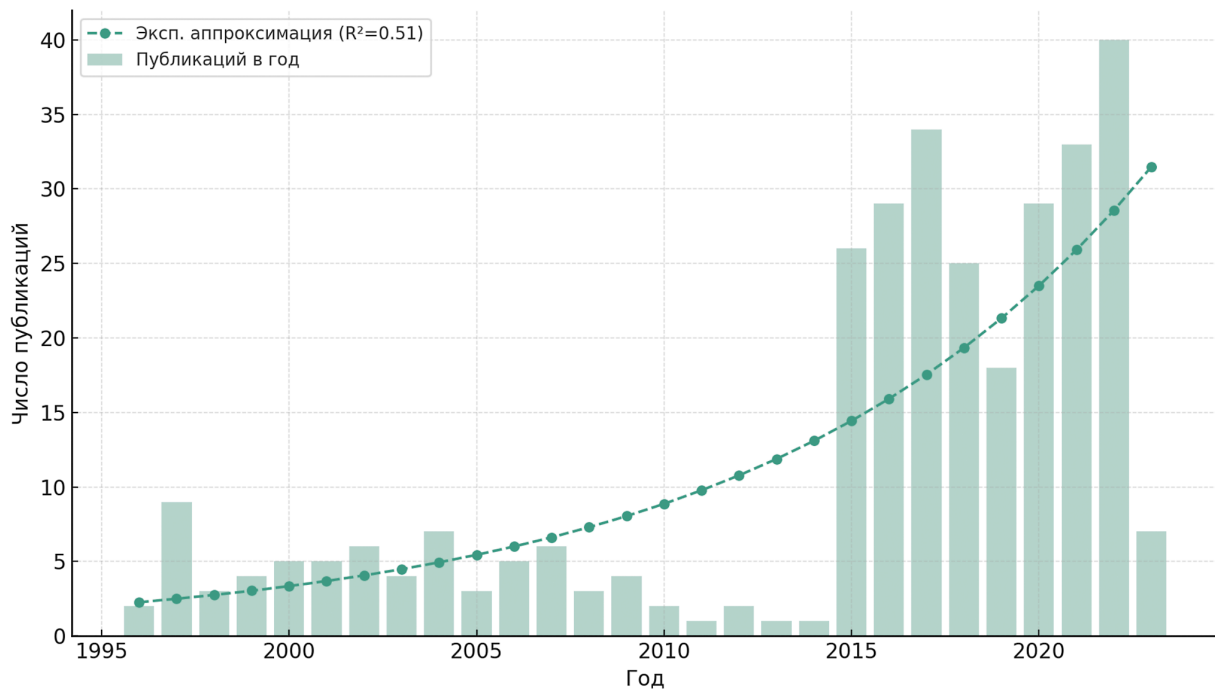


Рисунок 3. Рост публикационной активности по теме слабых сигналов
Figure 3. The Growth of Publication Activity on the Topic of Weak Signals

Источник: разработано авторами
Source: developed by the authors

познавательной формы, отражающей связь между знанием, прогнозом и управляемостью.

Анализ публикационной активности по теме слабых сигналов позволяет не только зафиксировать количественный рост упоминаний, но и отследить, как расширялась и углублялась смысловая структура концепта (рисунки 3).

График (рисунки 3) отражает неравномерную, но устойчивую нарастающую динамику исследовательского интереса к концепту слабых сигналов. Начальный период (1996–2010 гг.) предстает как латентная фаза, в которой дискурс остается фрагментированным. В 2014–2015 гг. наблюдается фазовый сдвиг: повышение публикационной активности, что свидетельствует о формировании концепт-связки слабого сигнала с другими исследовательскими направлениями. Пик 2023 г. фиксирует переход исследований слабого сигнала в режим устойчивой цитируемости.

Ландшафт научных публикаций по проблеме слабых сигналов демонстрирует плотность институциональных и интеллектуальных связей между исследователями: от кибернетических

контуров к предиктивным управленческим программам, от информационных инвариантов до динамических способностей к адаптации (рисунки 4).

Представленная картография кластеров отражает топологию смысловых притяжений трёх авторских пространств, формирующих домены знаний о технологиях управления по слабым сигналам:

- Кластер Popper – форсайт-методология, где слабые сигналы трактуются как операторы сценарного проецирования возможных миров (Popper, 1959).
- Кластер Ansoff–Rohrbeck – стратегическая чувствительность как когнитивная установка, позволяющая детектировать ранние индикаторы системных сдвигов (Ansoff 1975; Rohrbeck & Bade, 2012).
- Кластер Day–Teese – концепция динамических потенциалов и институциональных алгоритмов адаптивной перестройки в условиях турбулентности (Day, Schoemaker, 2005; Teece et al., 1997).

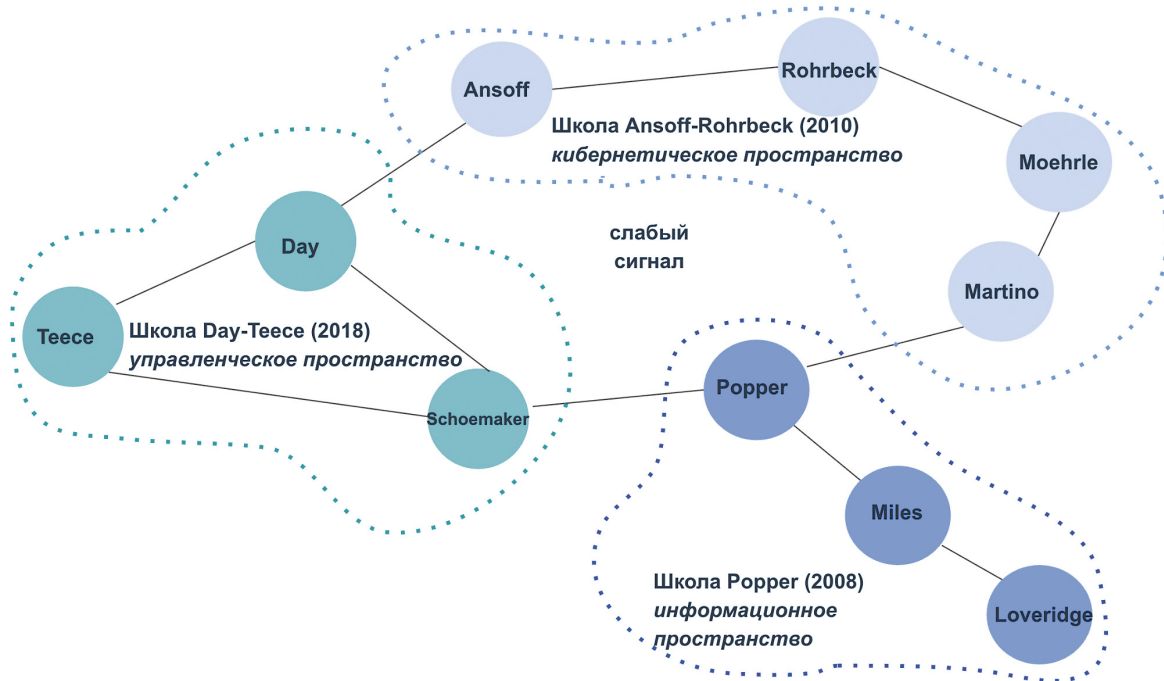


Рисунок 4. Картография кластеров в научном поле слабых сигналов
Figure 4. Cluster Mapping in the Scientific Field of Weak Signals

Источник: разработано авторами
Source: developed by the authors

Метрики значимости и внутренняя гравитация дискурса

При идентичном среднем ранге ($E(r) = 4.0$) различия проявляются в дисперсиях $Var(r)$, фиксирующих степень поляризации дискурса:

- в кибернетике и теории информации: высокая семантическая напряженность между ядром и периферией;
- в стратегическом менеджменте: наблюдается терминологическая консолидация.

Такая конфигурация указывает на зрелость и структурную плотность семантики управленческого кластера и фрагментированность

понятийных полей в инженерной и информационной областях знаний (таблица 2).

Все научные дисциплины показывают идентичное среднее значение агрегированного ранга ($E(r) = 4,00$), что указывает на сбалансированное распределение: ни кибернетика, ни теория информации, ни стратегический менеджмент не доминируют по совокупному влиянию терминов и авторов.

Для оценки степени терминологической централизации и внутренней однородности дискурса в рамках исследуемых областей знаний были рассчитаны математическое ожидание веса $E(w)$ и внутрикластерная дисперсия $Var(w)$. В основе

Таблица 2. Итоговые результаты расчетов поляризации дискурса
Table 2. Final Calculation Results for Discourse Polarization

Область знаний	N_c	$E(r)$	$Var(r)$
Кибернетика	7	4.0000	3.6429
Теория информации	7	4.0000	3.5714
Стратегический менеджмент	7	4.0000	3.0000

Источник: рассчитано авторами
Source: calculated by the authors

Таблица 3. Итоговые результаты расчетов терминологической централизации и внутренней однородности дискурса

Table 3. Final Calculation Results for Terminological Centralization and Internal Homogeneity of Discourse

Область знаний	N_c	$E(w)$	$Var(w)$
Кибернетика	7	1.4286	0.8162
Теория информации	7	2.1429	0.6939
Стратегический менеджмент	7	1.4286	0.2449

Источник: рассчитано авторами
 Source: calculated by the authors

расчетов лежат векторы весов, отражающие частотность упоминания ключевых терминов в каждой области знания. Для всех трех областей знаний число терминов одинаково ($N_c = 7$). Итоговые значения сведены в таблицу 3.

Сводные показатели по областям знаний (число терминов N_c , математическое ожидание $E(w)$ и дисперсия $Var(w)$) позволяют оценить степень централизации и распределённости понятийного ядра.

Централизация $E(w)$: кибернетика и стратегический менеджмент демонстрируют идентичные средние значения (~1,3), что свидетельствует о сопоставимом уровне терминологической значимости. Теория информации выделяется наиболее высоким показателем (~2,14).

Флуктуации значимости $Var(w)$: максимальная дисперсия в кибернетике (~0,82) сигнализирует

о поляризации понятий: от интенсивных смысловых узлов до терминов с нулевой представленностью. У теории информации разброс умерен (~0,69), а стратегический менеджмент (~0,24) демонстрирует наиболее консолидированное ядро.

Комбинация и показывает, что теория информации формирует насыщенное смысловое ядро; кибернетика остается фрагментированной; стратегический менеджмент – тематически выровнен.

Построенная на основе метода терминологического картирования визуализация фиксирует выявленные терминологические сопряжения и смысловые резонансы онтологии слабого сигнала, наполненной инженерными, информационными и управленческими проекциями (рисунок 5).



Рисунок 5. Онтологическая модель концепта слабых сигналов

Figure 5. Ontological Model of the Weak Signals Concept

Источник: разработано авторами
 Source: developed by the authors

Обсуждение и кейс-стади

Управленческий кейс – не просто локализованное событие, а реальная ситуация, где воспроизводятся разные способы восприятия и интерпретации происходящего.

Крах предсказуемости: ипотечный кризис 2008 г. в США как провал институциональной перцепции

Кризис 2007–2008 гг. в США проявил пределы институционального мышления в среде, насыщенной данными, но лишённой чувствительности. Аномалии, наблюдавшиеся в 2005–2006 гг. – *рост рискованных займов, ослабление регулирования и быстрая секьюритизация* – не были интерпретированы как признаки надвигающегося кризиса. Институциональные конфигурации воспроизводили модель устойчивости, исключаящую логику отклонений от нормы. Слабые сигналы растворялись в шуме ретроспективных эвристик, а сам рынок функционировал как система, отторгающая будущие траектории, не вписывающиеся в сложившийся консенсус. Невозможность распознать надвигающееся – не следствие информационного дефицита, а проявление когнитивной закрытости. Кризис возникает не вопреки (не)знанию, а внутри режима, который блокирует различие как форму действия (таблица 4).

Сигналы как триггер: удар Израиля по Ирану как проявление чувствительности разведки

Упреждающий авиаудар Израиля в июне 2025 г. по инфраструктурным объектам

в Иране демонстрирует высокую институциональную восприимчивость к слабо выраженным, но стратегически значимым сигналам. Наблюдавшиеся в течение месяцев сигналы (активизация работ в комплексе Фордо, скрытые перемещения техники) не обладали полной семантической артикуляцией. Однако разведывательные системы Израиля интерпретировали эти паттерны как набор частных, но согласованных признаков, указывающих на необходимость превентивных действий (Meridor & Eldadi, 2019) (таблица 5). В этом кейсе «слабый сигнал» не затерялся в шуме ретроспективной инерции, но был вычленен, усилен и встроен в решение. Сработал институциональный механизм интерпретации сигналов, способный оперировать в условиях неполной информации и когнитивного риска. «Иранский прецедент» показывает, что операционная чувствительность возможна при наличии институционализированных каналов тревоги, сочетающих технический мониторинг с интеллектуальным осмыслением.

Как показано на примерах, слабые сигналы не были интерпретированы как значимые не по причине их малозаметности, а вследствие ограниченности управляющих систем, настроенных на ретроспективную, метрически подтверждаемую реальность. «Слабый сигнал» предстает не просто как ранний индикатор, но и как тест институциональной чувствительности – маркер способности к действиям в условиях неполной, неустойчивой и фрагментарной информации, показатель готовности различать смысл до его оформления в управленческую метрику.

Таблица 4. Характеристика слабого сигнала в разрезе макроэкономического кейса

Table 4. Characteristics of a Weak Signal in the Context of a Macroeconomic Case

Контур анализа	Репрезентация
Тип кейса	Макроэкономический
Слабые сигналы	Рост доли ипотек с плавающей ставкой, дерегуляция, секьюритизация некачественных активов
Игнорирование	Финансовые регуляторы, рейтинговые агентства, банки
Последствия	Кризис ликвидности, глобальная рецессия, банкротства

*Источник: разработано авторами
Source: developed by the authors*

Таблица 5. Характеристика слабого сигнала в разрезе геополитического кейса
Table 5. Characteristics of a Weak Signal in the Context of the Geopolitical Case

Контур анализа	Репрезентация
Тип кейса	Геополитический
Слабые сигналы	Рост активности в Фордо, движение ракетных систем, утечки по обогащению урана
Отслежены	Разведывательные структуры
Последствия	Упреждающий авиаудар, рост региональной напряженности, мобилизация дипломатии

Источник: разработано авторами
 Source: developed by the authors

Онтологическая модель концепта технологии управления по слабым сигналам

Управление осуществляется внутри информационного контура, представляющего собой замкнутую систему сигналов и реакций. Руководящее воздействие инициируется импульсом (директива, план, команда) и проходит стадии трансляции, исполнения, интерпретации и обратной связи. При этом управление разворачивается не в идеальной среде, а в среде, насыщенной шумом – информационными помехами и искаженными сигналами (Shannon, 1948; Wiener, 1948; Ashby, 1956).

Классические функции управления (Fayol, 1916) дополняются положениями кибернетики и теории информации, указывающими на то, что циркуляцию информации сопровождает два феномена: сигнал (смысл) и шум (искажение, потеря, вторжение). Это принципиально отличает современные интерпретации от классических моделей управленческого рационализма (Жуков и др., 2018). Когнитивная фиксация «слабого сигнала» требует настройки институциональной чувствительности. Именно в шумовой среде сигнал должен быть выделен, усилен, интерпретирован и встроен в сценарное дерево управленческого реагирования (Ansoff, 1984).

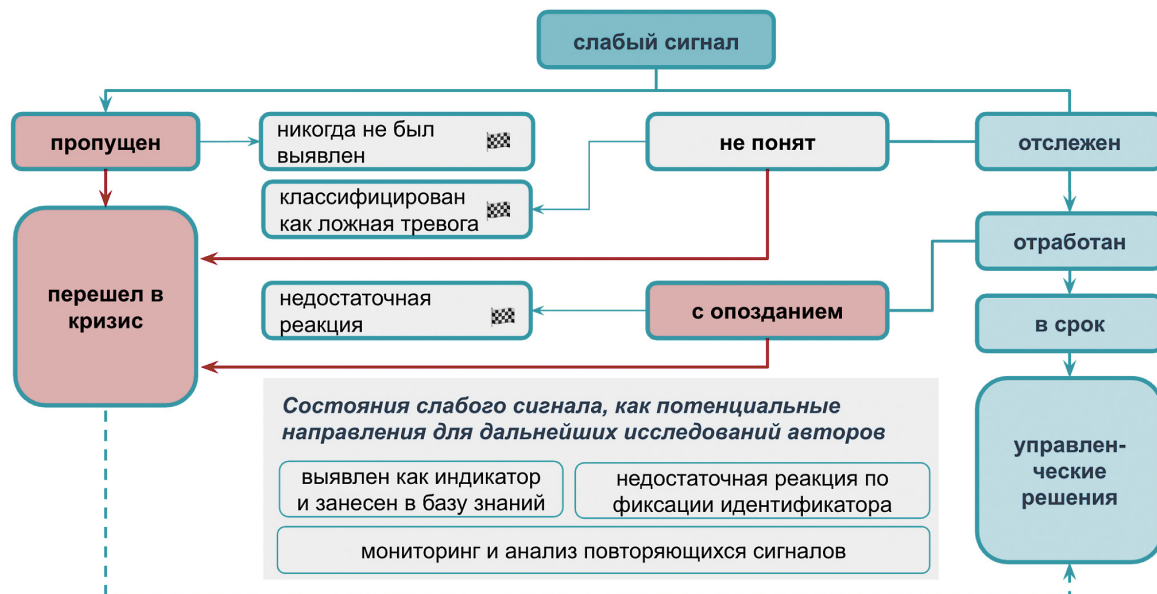


Рисунок 6. Онтологическая модель технологии управления по слабым сигналам в контуре менеджмента
Figure 6. Ontological Model of Technology of Management by Weak Signals in the Organizational Loop System

Источник: разработано авторами
 Source: developed by the authors

Вызовы, связанные с управлением в условиях переизбытка информации и ускоренной смены контекстов, требуют переосмысления феномена шума. Современные теоретики трактуют шум как имманентное состояние процесса управления, а не как отклонение. Он становится средой, внутри которой сигнал должен быть не только зафиксирован, но и верифицирован, чтобы стать основой принятия решений (рисунки а, б).

Таким образом, онтологическая модель слабого сигнала разворачивается как технология, в которой информационное искажение (шум) и смысловое содержание (сигнал) неразделимы, а эффективное управление предполагает способность выделения, интерпретации и реагирования на еще не классифицированные признаки изменений.

Заключение

Настоящее исследование подтвердило, что концепт слабого сигнала функционирует не как локальная аналитическая категория, а как онтологический узел, сопрягающий кибернетику (обратная связь, регулятор), теорию информации (шум, энтропия) и менеджмент (предвосхищение, чувствительность). Его смысловая форма не укладывается в рамки одной области знаний: она обретает операционную применимость в трансдисциплинарной архитектуре.

Задача построения семантического поля для локализации концепта «слабого сигнала» была реализована через библиометрическое картографирование, нормировку ключевых категорий и анализ семантических связей. Выделены ключевые категории: обратная связь, шум, энтропия, стратегическая чувствительность, гомеостаз, осмысливание, и зафиксирован их онтологический статус.

Задача реконструкции трансдисциплинарной онтологической карты пересечений между кибернетикой, теорией информации и менеджментом, и построения онтологической модели концепта управления по слабым сигналам была достигнута через построение когнитивной карты сопряжения дисциплин, на которой указаны точки смыслового пересечения и формализованы инварианты дискурса слабых сигналов.

Дано обобщающее авторское определение, которое репрезентирует «слабый сигнал» как малозаметный, ещё не классифицируемый признак изменений, воспринимаемый на границе когнитивной чувствительности, но несущий прогностическую нагрузку. Междисциплинарный подход, примененный авторами, демонстрирует потенциал перехода от реагирования к упреждению, где «слабый сигнал» выступает как активный механизм перспективной технологии управления, адаптированной для информационно избыточной среды «экономики данных».

Развитие методологии управления по слабым сигналам позволяет развивать институциональную чувствительность наукоёмких и высокотехнологичных структур, чья бизнес-модель связана с работой в средах с избыточными информационными потоками, а также может использоваться государственными ведомствами для расширения возможностей форсайт-моделирования и управления на длинных горизонтах планирования.

Авторство и вклад участников научного исследования

Камолов, С.Г.: Разработка концепции, Постановка научной задачи, Подбор кейсов, Разработка методологии, Написание рукописи – рецензирование и редактирование

Алексеев, Д.Б.: Курирование данных, Написание рукописи – рецензирование и редактирование, Валидация результатов

Девятова, Д.Д.: Обработка массива данных, Декомпозиция и развертывание прикладных частей исследования, Формирование корпуса источников, Визуализация, Написание черновика рукописи

Contributions

Kamolov, S.G.: Conceptualization; Formulation of the research problem; Case selection; Methodology development; Writing – review and editing

Alekseev, D.B.: Data curation; Writing – review and editing; Validation of results

Devyatova, D.D.: Data processing; Decomposition and operationalization of applied research components; Compilation of the source corpus; Visualization; Writing – original draft preparation

Конкурирующие интересы

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Competing Interests

The authors declare no conflict of interest.

Список источников / References

1. Жуков, А.О., Камолов, С.Г., & Хрусталеv, Е.Ю. (2018). *Модели и методы стимулирования инновационного развития наукоемкого сектора российской экономики: монография*. МГИМО-Университет. EDN: YMAFKP Zhukov, A.O., Kamolov, S.G., & Khrustalev, E.Yu. (2018). *Models and methods of stimulating the innovative development of the knowledge-intensive sector of the Russian economy: monograph*. MGIMO University. EDN: YMAFKP (in Russian)
2. Ackoff, R.L. (1989). From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, 16, 3–9.
3. Ansoff, H.I. (1975). Managing strategic surprise by response to weak signals. *California Management Review*, 18(2), 21–33. <https://doi.org/10.2307/4116435>
4. Ansoff, I.H., & McDonnell E. (1990). *Implanting strategic management*. Prentice Hall.
5. Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
6. Ashby, W.R. (1956). *An introduction to cybernetics*. Chapman & Hall Ltd.
7. Beer, S. (1979). *The heart of enterprise*. Chichester: John Wiley & Sons.
8. Bloom N., Sadun R., & Van Reenen J. (2016). Management as a technology, " *NBER Working Paper*, 22327. <https://doi.org/10.3386/w22327>
9. Braun, V. & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3, 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
10. Bryson A., & White M. (2021). High-performance work systems and the performance of public sector workplaces in Britain. *Oxford Economic Papers*, 73(3), 1057–1076. EDN: PYSBIF, <https://doi.org/10.1093/oep/gpab004>
11. Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: a survey. *ACM Computing Surveys*, 41(3), 1–58. EDN: MYREHF, <https://doi.org/10.1145/1541880.1541882>
12. Daft, R.L., & Lengel, R.H. (1986). Organizational information requirements, media richness and structural design. *Management Science*, 32(5), 554–571. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.5.554>
13. Day, G.S., & Schoemaker, P.J.H. (2005). Scanning the periphery. *Harvard Business Review*, 83(11), 135–148.
14. Fayol, H. (1918). *Administration industrielle et générale*. Dunod.
15. Forrester, J.W. (1961). *Industrial dynamics*. MIT Press, Cambridge, Mass.
16. Kahneman, D., & Tversky, A. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*, 185(4157), 1124–1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>
17. King, A. (1957). Management as a technology. *Impact of science on society*, 8(2), 65–85. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000262024.locale=ru>
18. Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: an introduction to its methodology (4th ed.)*. SAGE Publications.
19. Meridor, D. & Eldadi, R. (2019). *Israel's National Security Doctrine: The Report of the Committee on the Formulation of the National Security Doctrine (Meridor Committee), Ten Years Later*. Institute for National Security Studies.
20. Mintzberg, H. (1987). Crafting strategy. *Harvard Business Review*, 65(4), 66–75.
21. Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Prentice-Hall.
22. Popper, K.R. (1959). *The logic of scientific discovery*. Abingdon-on-Thames, United Kingdom: Routledge. <https://doi.org/10.1063/1.3060577>
23. Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13(3), 257–266. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
24. Rohrbeck, R., & Bade, M. (2012). Environmental scanning, futures research, strategic foresight and organizational future orientation: A review, integration, and future research directions. *ISPIIM Annual Conference Proceedings*, Barcelona, Spain. <https://ssrn.com/abstract=2080448>
25. Schoemaker, P.J.H. (1995). Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*, 36, 25–40.
26. Senge, P.M. (1990). *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday.
27. Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
28. Shannon, C.E., & Weaver W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.

29. Simon, H.A. (1947). *Administrative behavior: a study of decision-making processes in administrative organization*. Macmillan.
30. Sterman, J.D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill.
31. Teece, D.J., Pisano, G. & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0266\(199708\)18:7<509::aid-smj882>3.0.co;2-z](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0266(199708)18:7<509::aid-smj882>3.0.co;2-z)
32. Von Foerster, H. (1981). *Observing systems*. Intersystems Publications.
33. Weick, K.E. (1995). *Sensemaking in organizations*. SAGE Publications.
34. Wiener, N. (1961). *Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine (2nd ed.)*. MIT Press.

Информация об авторах

Камолов Сергей Георгиевич – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры управления активами, факультет международных экономических отношений. Московский государственный институт международных отношений Министерства иностранных дел Российской Федерации, SPIN-код РИНЦ: 5117-4523, Scopus Author ID: 57195267672, Researcher ID Web of Science: G-2191-2016; ORCID ID: 0000-0003-1144-4486. (Российская Федерация, 119454, Москва, проспект Вернадского, 76, e-mail: s.kamolov@inno.mgimo.ru).

Алексеев Денис Борисович – проректор, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Author ID: 141979, ORCID ID: 0000-0003-0945-0721. (Российская Федерация, 119571, Москва, проспект Вернадского, 82, e-mail: alekseev-db@ranepa.ru).

Девятова Дарья Дмитриевна – старший аналитик, АНО «Институт сравнительных исследований умных городов», SPIN-код РИНЦ: 5508-1356; ORCID ID: 0000-0002-6463-3494. (Российская Федерация, 101000, Москва, улица Малая Лубянка, 16, e-mail: thesvirina@gmail.com).

Authors

Sergey G. Kamolov – Doctor of Economics, Associate Professor, Professor Department of Asset Management, Faculty of International Economic Relations, Moscow State Institute of International Relations; Scopus Author ID: 57195267672; ORCID: 0000-0003-1144-4486; Researcher ID Web of Science: G-2191-2016 (76, Vernadsky Avenue, Moscow, 119454, Russian Federation; e-mail: s.kamolov@inno.mgimo.ru).

Denis B. Alekseev – Vice-Rector, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration; ORCID: 0000-0003-0945-0721 (82, Vernadsky Avenue, Moscow, 119571, Russian Federation; e-mail: alekseev-db@ranepa.ru).

Daria D. Devyatova – Senior Analyst, Autonomous Non-Profit Organization “Institute for Comparative Studies of Smart Cities”; ORCID: 0000-0002-6463-3494 (16, Malaya Lubyanka Street, Moscow, 101000, Russian Federation; e-mail: thesvirina@gmail.com).

Поступила в редакцию (Received) 11.12.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 12.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 14.03.2026

**ЭКОНОМИКА
НАУКИ** ▶

**ECONOMICS
OF SCIENCE**

