



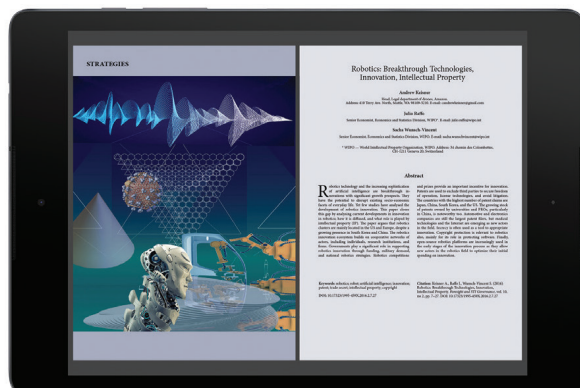
В НОМЕРЕ

- Сетевая модель многовариантного будущего
- Малые страны на фоне конкуренции США и Китая в сфере искусственного интеллекта
- Экспансия компаний-единорогов



ФОРСАЙТ

НА МОБИЛЬНЫХ
ПЛАТФОРМАХ



РЕЙТИНГ ЖУРНАЛА

по импакт-фактору
в Российском индексе
научного цитирования (2023)

- Науковедение 1
- Организация и управление 1
- Экономика 2

В соответствии с решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ журнал «Форсайт» включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по направлению «Экономика»

*Протокол заседания президиума ВАК
№ 6/6 от 19 февраля 2010 г.*

ПОДПИСКА

Объединенный каталог
«Пресса России»
80690

Журнал входит
в 1-й квартиль (Q1)
рейтинга Scopus Cite
Score по направлению

«History and
Philosophy
of Science»

«Форсайт» вошел в число победителей открытого конкурса Министерства образования и науки РФ по государственной поддержке программ развития и продвижению российских научных журналов в международное научно-информационное пространство

По итогам экспертизы большого числа российских научных журналов, проведенной компанией Macmillan Science Communication (UK), «Форсайт» вошел в тройку наиболее перспективных изданий

ИНДЕКСИРОВАНИЕ

WEB OF SCIENCE™
CORE COLLECTION
EMERGING SOURCES
CITATION INDEX

SCOPUS™

中国知识基础设施工程
CNKI • 中国知网

RUSSIAN SCIENCE CITATION INDEX
WEB OF SCIENCE

EBSCO

Academic
Search
Premier

DOAJ

ProQuest
Start here.

OAJI
.net

RePEc

ECONSTOR

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

GENAMICS™ JOURNALSEEK

eLIBRARY.RU

ICJ WORLD
JOURNALS

CYBERLENINKA

ERIH PLUS
EUROPEAN REFERENCE INDEX FOR THE
HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES

DRJI

SHERPA
RoMEO

ИЗДАНИЯ ИСИЭЗ

Аналитические
доклады



Статистические сборники



С этими и другими изданиями можно
ознакомиться в интернете или
приобрести в книжных магазинах



Главный редактор Леонид Гохберг (НИУ ВШЭ)

Заместители главного редактора

Манлио дель Джудиче (Link Campus Rome, Италия)

Дирк Майсснер (НИУ ВШЭ)

Александр Соколов (НИУ ВШЭ)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Николас Вонортас (Университет Джорджа Вашингтона, США)

Фред Голт (Маастрихтский университет, Нидерланды, и Университет Йоханнесбурга, ЮАР)

Тугрул Дайм (Портлендский государственный университет, США)

Люк Джорджиу (Университет Манчестера, Великобритания)

Алина Зоргнер (Университет Джона Кэбота, Италия, и Кильский институт мировой экономики, Германия)

Криштиану Каньин (Европейский фонд профессионального развития, Италия)

Элиас Караяннис (Университет Джорджа Вашингтона, США)

Майкл Кинэн (ОЭСР, Франция)

Татьяна Кузнецова (НИУ ВШЭ)

Ярослав Кузьминов (НИУ ВШЭ)

Джонатан Кэлоф (Университет Оттавы, Канада, и НИУ ВШЭ)

Кэрол Леонард (Оксфордский университет, Великобритания)

Кеун Ли (Сеульский национальный университет, Корея, и НИУ ВШЭ)

Йен Майлс (Университет Манчестера, Великобритания)

Сандро Мендонса (Университет Лиссабона, Португалия)

Ронпин Му (Институт политики и управления, Китайская академия наук)

Вольфганг Полт (Венский университет экономики и бизнеса, Австрия)

Озчан Саритас (Рочестерский технологический институт в Дубаи, ОАЭ, и НИУ ВШЭ)

Марио Сервантес (ОЭСР, Франция)

Томас Тернер (НИУ ВШЭ)

Анджела Уилкинсон (Всемирный энергетический совет и Оксфордский университет, Великобритания)

Фред Филлипс (Университет Нью-Мексико и Университет штата Нью-Йорк в Стоуни-Брук, США)

Тед Фуллер (Университет Линкольна, Великобритания)

Аттила Хаваш (Институт экономики, Венгерская академия наук)

Карел Хагеман (Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии, Бельгия)

Александр Чепуренко (НИУ ВШЭ)

Клаус Шух (Центр социальных инноваций, Австрия)

Чарльз Эдквист (Университет Лунда, Швеция)

РЕДАКЦИЯ

Ответственный редактор

Марина Бойкова

Менеджер по развитию

Наталия Гавриличева

Литературные редакторы

Яков Охонько, Кейтлин Монтгомери

Корректор

Елизавета Полукеева

Художник

Марина Бойкова

Верстка

Михаил Салазкин

Учредитель

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС 77-68124 от 27.12.2016 г.

Тираж 150 экз.

Заказ 0000

Отпечатано ООО «Компания Полиграфмастер»
125130, Москва, ул. Клары Цеткин, д. 28

© Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», 2007–2025

FORESIGHT

AND STI GOVERNANCE

Foresight and STI Governance (formerly *Foresight-Russia*) — an international journal established by the National Research University Higher School of Economics (HSE) and administered by the HSE Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge (ISSEK), located in Moscow, Russia. The mission of the journal is to support the creation of Foresight culture through dissemination of the best national and international practices of future-oriented innovation development. It also provides a framework for discussing S&T trends and policies. Topics covered include:

- Foresight methods
- Results of Foresight studies
- Long-term priorities for social, economic and S&T development
- S&T and innovation trends and indicators
- S&T and innovation policies
- Strategic programmes of innovation development at national, regional, sectoral and corporate levels
- State-of-the-art methods and best practices of S&T analysis and Foresight.

The target audience of the journal comprises research scholars, university professors, policy-makers, businessmen, expert community, post-graduates, undergraduates and others who are interested in S&T and innovation analyses, Foresight and policy issues.

The thematic coverage of the journal makes it a unique title in its field. *Foresight and STI Governance* is published quarterly and distributed in Russia and abroad.

***Foresight and STI Governance* is ranked in the 1st quartile (Q1) of the Scopus Cite Score Rank in the fields:**

- **History and Philosophy of Science** (miscellaneous)
- **Social Sciences** (miscellaneous)

INDEXING AND ABSTRACTING

WEB OF SCIENCE™
CORE COLLECTION
EMERGING SOURCES
CITATION INDEX

SCOPUS™

中国知识基础设施工程
CNKI • 中国知网

SHERPA/ROMEO

Directory of Research
Journal Indexing

ERIH PLUS

I WORLD
JOURNALS

RePEc ProQuest

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

EBSCO Academic
Search Premier

GENAMICS™ JOURNALSEEK

ECONSTOR

eLIBRARY.RU

OAJ Open Academic
Journals Index

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

National Research University
Higher School of Economics



Editor-in-Chief

Leonid Gokhberg, First Vice-Rector, HSE, and Director, ISSEK, HSE, Russian Federation

Assistant Editors

Manlio del Giudice (Link Campus Rome, Italy)

Dirk Meissner, HSE, Russian Federation

Alexander Sokolov, HSE, Russian Federation

EDITORIAL BOARD

Cristiano Cagnin, European Training Foundation, Italy

Jonathan Calof, University of Ottawa, Canada, and HSE, Russian Federation

Elias Carayannis, George Washington University, United States

Mario Cervantes, OECD

Alexander Chepurensky, HSE, Russian Federation

Tugrul Daim, Portland State University, United States

Charles Edquist, Lund University, Sweden

Ted Fuller, University of Lincoln, United Kingdom

Fred Gault, Maastricht University, Netherlands, and University of Johannesburg, South Africa

Luke Georgiou, University of Manchester, United Kingdom

Karel Haegeman, EU Joint Research Centre, Belgium

Attila Havas, Hungarian Academy of Sciences, Hungary

Michael Keenan, OECD, France

Yaroslav Kuzminov, HSE, Russian Federation

Tatiana Kuznetsova, HSE, Russian Federation

Keun Lee, Seoul National University, Korea, and HSE, Russian Federation

Carol S. Leonard, University of Oxford, United Kingdom

Sandro Mendonca, Lisbon University, Portugal

Ian Miles, University of Manchester, United Kingdom

Rongping Mu, Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, China

Fred Phillips, University of New Mexico and Stony Brook University – State University of New York, United States

Wolfgang Polt, Vienna University of Economics and Business, Austria

Ozcan Saritas, Rochester Institute of Technology Dubai, United Arab Emirates, and HSE, Russian Federation

Klaus Schuch, Centre for Social Innovation, Austria

Alina Sorgner, John Cabot University, Italy, and Kiel Institute for the World Economy, Germany

Thomas Thurner, HSE, Russian Federation

Nicholas Vonortas, George Washington University, United States

Angela Wilkinson, World Energy Council and University of Oxford, United Kingdom

EDITORIAL OFFICE

Operation Management

Marina Boykova

Development Management

Natalia Gavrilicheva

Literary Editing

Yakov Okhonko, Caitlin Montgomery

Proofreading

Elizaveta Polukeeva

Design

Marina Boykova

Layout

Mikhail Salazkin

Address: National Research University Higher School of Economics
20 Myasnitskaya str., 101000 Moscow, Russia
Tel: +7 (495) 621-40-38 E-mail: foresight-journal@hse.ru
Web: <https://foresight-journal.hse.ru/en/>

СОДЕРЖАНИЕ

T. 19. № 2

СТРАТЕГИИ

От воронки к сети: парадигмальный сдвиг
в моделировании будущего

Алиреза Хиджази

6

Малые страны на фоне конкуренции
США и Китая в сфере искусственного
интеллекта

Алексис Хосе Кольменарес-Сапата

19

Как транспорт на альтернативном топливе
трансформирует рынки цветных металлов:
сценарный подход

*Игорь Макаров, Григорий Баранов, Матвей
Чистиков*

28

ИННОВАЦИИ

Изучение динамики связей в
предпринимательских экосистемах и их
эффектов для инновационной деятельности

*Дамарис Кьерегато Вичентин, Густаво Эрминьо
Салати Маркондес де Мораеш, Нажела Бьянка
ду Прадо, Бруно Брандао Фишер, Бетания Силва
Карнейро Кампелло, Росли Анхолон*

43

Экспансия единорогов: моделирование
распространения уникальных стартапов

Бесма Теффахи, Ламия Буазиз

54

Роль управленческих компетенций в
цифровой трансформации организаций

*Филипп Гетцингер, Марио Спремич, Божидар
Якович*

68

Патентные тренды как предикторы
стратегии

*Нестор Брандао Нето, Лестер Фариа, Франсиско
Кристовао Лоренсу де Мелу*

77

МАСТЕР-КЛАСС

Футурограмотность: развитие навыков
по работе с будущим

*Роли Хавьер Гутарра Ромеро, Альма Габриэла
Валенте Меркадо, Луис Рамирес Сирго*

85

CONTENTS

Vol. 19. No. 2

STRATEGIES

Addressing the Limitations of the Futures
Cone: Introducing the Adaptive Futures Mesh

Alireza Hejazi

6

AI amid the US-China Rivalry:
Scenarios and Policies
for Small States

Alexis José Colmenares-Zapata

19

Scenarios of Development for Non-Ferrous
Metal Markets amid the Spread of Alternative
Fuel Vehicles

*Igor Makarov, Grigory Baranov,
Matvey Chistikov*

28

INNOVATION

Exploring the Relationship Dynamics in
Entrepreneurial Ecosystems and Their Impact
upon Innovation

*Damaris Chieregato Vicentin, Gustavo Hermínio Salati
Marcondes de Moraes, Nágela Bianca do Prado, Bruno
Brandão Fischer, Betania Silva Carneiro Campello,
Rosley Anholon*

43

Modeling and Forecasting the Diffusion of
Unicorn Startups

Besma Teffahi, Lamia Bouaziz

54

The Role of Digital Leadership Capabilities in
Enterprise-Wide Digital Transformation

*Philipp Goetzinger, Mario Spremić,
Božidar Jaković*

68

Patent Trends Analysis as a Basis for Innovation
Strategies

*Nestor Brandão Neto, Lester Faria, Francisco Cristovão
Lourenço de Melo*

77

MASTER CLASS

Dynamic Capabilities: Toward an Assessment
of Futures Literacy Competency

*Roly Javier Gutarra Romero, Alma Gabriela Valente
Mercado, Luis Ramírez Sirgo*

85



От воронки к сети: парадигмальный сдвиг в моделировании будущего

Алиреза Хиджази

Приглашенный исследователь, alirhej@mail.regent.edu

Регентский университет (Regent University), США, 1000 Regent University Dr, Virginia-Beach, Virginia 23464, USA

Аннотация

К середине 2020-х годов традиционные методологии стратегического прогнозирования продемонстрировали свою ограниченную применимость в условиях нарастающей сложности и неопределенности глобальных процессов. В статье предпринимается попытка преодолеть эти ограничения, в частности через отказ от ранее применявшейся модели конуса будущего (Futures Cone, FC). Исследование базируется на концептуальном анализе с опорой на системное мышление, науки о сложности и принципы совместного проектирования (participatory design). В качестве альтернативы предлагается новая аналитическая рамка адаптивной сетевой модели (Adaptive Futures Mesh, AFM), обеспечивающей более эффективное управление

неопределенностью благодаря учету «неизвестных неизвестных» переменных. AFM визуализирует каскадные воздействия с акцентом на человеческой агентности, а работа с петлями обратной связи позволяет адаптироваться к меняющимся условиям. К ограничениям исследования относятся отсутствие эмпирической проверки AFM и вероятные затруднения при внедрении в различных контекстах. Вместе с тем, она обладает значительным потенциалом по оптимизации практики стратегического планирования. С ее помощью организации смогут выйти за узкие рамки прогнозирования, повышая готовность к будущему и стратегическую устойчивость в условиях сложности и поликризиса.

Ключевые слова: адаптивная сетевая модель (AFM); конус будущего (FC); разработка стратегий; устойчивость; стратегический Форсайт; неопределенность; философия; когнитивная психология; квантовая физика; история и философия науки; сложные адаптивные системы (САС)

Цитирование: Hejazi A. (2025) Addressing the Limitations of the Futures Cone: Introducing the Adaptive Futures Mesh. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 6–18. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.24819>

Addressing the Limitations of the Futures Cone: Introducing the Adaptive Futures Mesh

Alireza Hejazi

Independent Researcher, alirhej@mail.regent.edu

Regent University, 1000 Regent University Dr, Virginia-Beach, Virginia 23464, USA

Abstract

This paper aims to address the limitations of traditional strategic foresight methodologies, specifically the Futures Cone (FC), by introducing and evaluating a novel framework called the Adaptive Futures Mesh (AFM). The study employs a conceptual analysis, drawing on systems thinking, complexity science, and participatory design principles to develop the AFM. The AFM is structured around key components including a dynamic mesh network, uncertainty gradients, adaptive feedback loops, and an emergence engine. The analysis finds that the AFM offers a more robust approach to navigating uncertainty by explicitly incorporating unknown unknowns (dark matter nodes). It visualizes cascading impacts,

emphasizing human agency, and enables continuous adaptation through feedback loops. Research limitations include the lack of empirical validation and potential challenges in implementing the AFM across diverse contexts. However, the AFM offers significant practical implications for strategic planning. It enables organizations to move beyond prediction and cultivate futures-readiness. Socially, the AFM promotes more inclusive and equitable futures by democratizing foresight and empowering stakeholders to shape their own destinies. The originality and value of this paper lie in its articulation of a novel, adaptive framework that enhances strategic resilience in facing complexity and multiple crises.

Keywords: Adaptive Futures Mesh (AFM), Futures Cone (FC), strategy development; resilience, strategic foresight; uncertainty; philosophy; cognitive psychology; quantum physics; history and philosophy of science; complex adaptive systems (CAS)

Citation: Hejazi A. (2025) Addressing the Limitations of the Futures Cone: Introducing the Adaptive Futures Mesh. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 6–18.
<https://doi.org/10.17323/fstig.2025.24819>

В области Форсайт-исследований концептуальный тон долгое время задавала модель конуса будущего (Futures Cone, FC) (Gall et al., 2022). Она наглядно отображает потенциальные варианты развития событий для принятия на их основе стратегических решений индивидами и организациями. Однако по мере углубления понимания категорий времени, сложности и неопределенности предстоит актуализировать инструментарий для эффективного решения новых задач.

Конус будущего представляет собой двух- или трехмерную форму, расширяющуюся в одном направлении от настоящего (Migone, Howlett, 2024). Впервые модель была представлена канадским специалистом в области образования Норманом Хенчи (Henchey, 1977), предложившим четыре категории сценариев: возможное будущее (любой мыслимый вариант), правдоподобное (проистекающее из логического смысла), вероятное (проецируемое на основе текущих тенденций) и предпочтительное (наилучшее из возможных). Позднее эти категории визуализировали американские исследователи Тревор Хэнкок и Клемент Безольд (Hancock, Bezold, 1994), а затем переосмыслил австралийский футуролог Джозеф Ворос (Voros, 2003), иллюстрируя расширяющийся спектр вариантов будущего во временной перспективе.

Предлагаемый анализ не умаляет значимости существующих исследований, опиравшихся на конус будущего. Он позволял специалистам вести продуктивную дискуссию о возможных перспективах и координации стратегического планирования (Mao, Liu, 2023; Migone, Howlett, 2024; Park, Shin, 2024). Признавая достоинства этой модели, нельзя не отметить ее объективные ограничения, связанные с линейным образом будущего и уязвимостью к когнитивным искажениям.

Как показано на рис. 1, данный подход стимулирует изучение альтернативных сценариев и осмысление динамики перемен. При всей ценности такой визуализации, критический анализ с философской, естественно-научной и когнитивной точек зрения выявляет случаи, когда конус будущего чрезмерно упрощает природу времени и будущих возможностей.

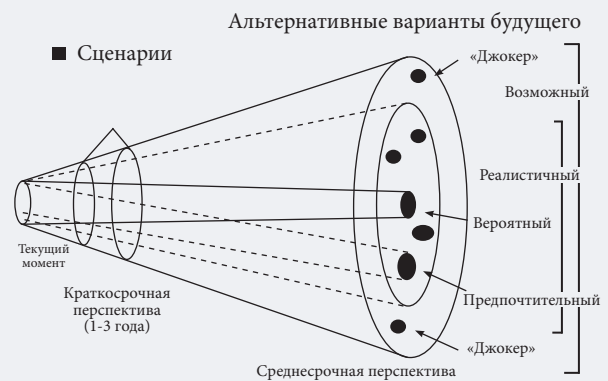
Наше исследование рассматривает расхождения между реальным положением вещей и гипотезой о линейности времени в модели конуса будущего, недостаточным учетом фактора неопределенности в ней и когнитивными искажениями. Далее формулируются рекомендации по улучшению методов идентификации будущих событий. На основе всестороннего анализа ограничений конуса будущего предлагается альтернатива, более адекватная динамике и взаимосвязанности процессов в условиях беспрецедентных глобальных изменений. Это адаптивная сетевая модель (Adaptive Futures Mesh, AFM), которая устраняет выявленные недостатки конуса будущего, объединяя динамическое системное мышление, партисипативную агентность (*participatory agency*) и принятие неопределенности в качестве фундамента для более эффективного и ответственного моделирования будущего.

На рис. 2 представлены ключевые компоненты AFM: двигатель эмерджентности (*emergence engine*), адаптив-

ные петли обратной связи (*adaptive feedback loops*) и динамика нарастания неопределенности. Такой подход обеспечивает надежную основу для понимания потенциального будущего и стимулирует развитие Форсайт-исследований, совершенствуя инструментарий работы с вероятными событиями. В условиях взаимного обучения практикующих специалистов критически важно сохранять открытость и поддерживать совместные усилия по созданию образов будущего, которое не только возможно, но и предпочтительно для всех заинтересованных сторон.

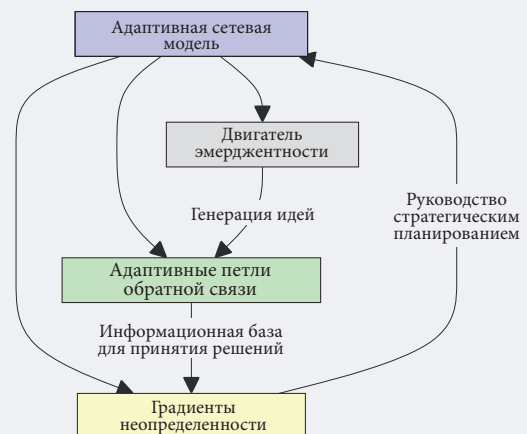
В последующих разделах представлены методология, теоретическая основа, недостатки ключевых допущений модели конуса будущего, междисциплинарный анализ и альтернативная модель. В заключении обосновывается необходимость внедрения предлагаемой аналитической рамки для совершенствования Форсайт-исследований.

Рис. 1. Конус будущего (исходная модель)



Источник: (Hancock, Bezold, 1994).

Рис. 2. Общая схема модели AFM



Источник: составлено автором.

Метод

Методология исследования опирается на структурированный междисциплинарный подход (Hvidtfeldt, 2018), интегрирующий идеи философии, квантовой физики и когнитивной психологии. Ключевая задача — создание более гибких моделей Форсайта с учетом многогранности, сложности и неопределенности контекста, а также взаимосвязанности эффектов от будущих событий. Работа преодолевает ограничения традиционных моделей, включая конус будущего, для поиска альтернативных подходов. Оценивается практическая применимость и эффективность предлагаемых инструментов при разработке стратегий в таких комплексных областях, как развитие искусственного интеллекта (ИИ) и проблемы климатических изменений.

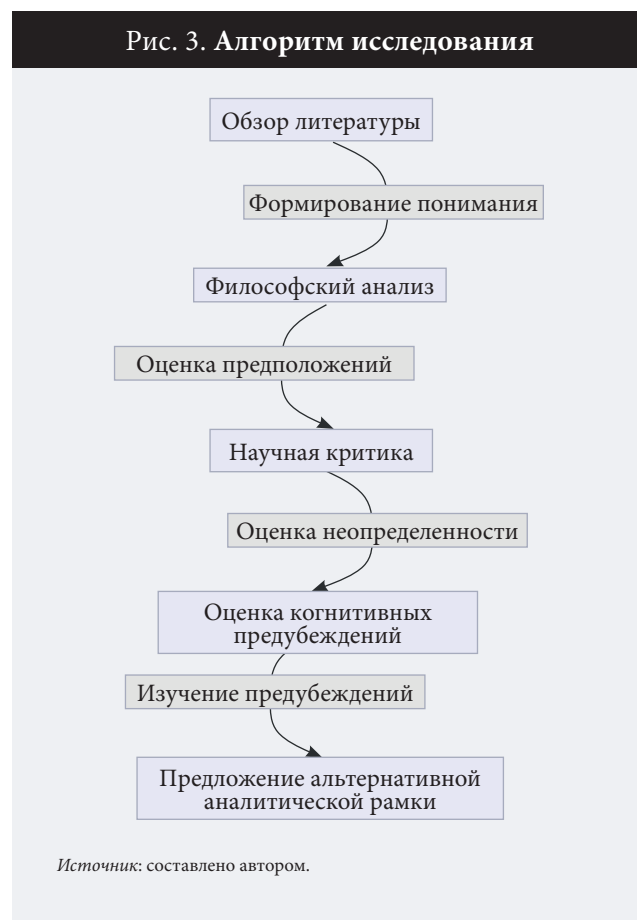
Эпистемологическое измерение предлагаемого подхода проявляется в нескольких аспектах. Рассматриваются особенности методологической парадигмы конуса будущего, механизмы формирования и проверки знаний о потенциальных траекториях развития. Исследуются базовые допущения модели и способы интеграции данных разных дисциплин для обогащения представлений о будущем. *Онтологическое измерение* сосредоточено на природе времени и реальности. Критически оценивается потенциал конуса будущего по выявлению возможных событий различного характера, согласованность его прогностической аксиоматики с современными естественно-научными теориями (прежде всего квантовой физикой) и механизмами когнитивных искажений. Предлагается альтернативная аналитическая рамка и обосновывается ее точность в отражении будущих реалий.

Анализ открывается обзором литературы, сформировавшей фундаментальное представление о структуре конуса будущего и областях его применения. Рассматриваются классические работы, описывающие историю возникновения модели и ее последующую эволюцию (Hancok, Bezold, 1994), а также философские труды, посвященные категориям времени и опровергающие линейные допущения, лежащие в основе конуса будущего (Eliade, 2018; Hawking, 2011). Схема исследовательского процесса представлена на рис. 3.

Комплексный философский инструментарий при изучении ключевых темпоральных допущений конуса будущего обнаруживает существенные ограничения модели. Ее линейная логика не отражает реалии сложных циклических процессов с их переплетением прошлого, настоящего и будущего. Восточные концепции времени как повторяющегося цикла и современные физические теории, включая петлевую квантовую гравитацию (*loop quantum gravity*) (Rovelli, 2007), свидетельствуют о том, что линейное мышление, заложенное в конусе будущего, лишь частично отражает сложную систему взаимосвязей, порождающих будущие события.

На следующем этапе рассматривается трактовка категорий неопределенности и предсказуемости в конусе будущего. Критические аргументы основаны на принципах квантовой физики и теории сложных адаптивных систем (САС). Квантовая механика подчеркивает вероятностную природу исходов событий, опровергая

Рис. 3. Алгоритм исследования



представления об их предопределенности (Bohr, 2011; Heisenberg, 2013). Теория САС фокусируется на эмерджентных процессах и нелинейной динамике (Érdi, 2008; Sterman, 2000). Как будет показано ниже, статическая классификация будущих событий на «вероятные», «правдоподобные», «возможные» и «предпочтительные» в конусе будущего создает упрощенную картину сложных прогностических процессов.

Помимо философских и научных перспектив рассмотрены когнитивные искажения и их влияние на применение модели и интерпретацию результатов. Среди таких факторов наиболее негативно на работу с будущим влияют предвзятость подтверждения (*confirmation bias*) и эффект якорения (*anchoring bias*), в силу чего принимающие решения лица часто отдают приоритет одним лишь ожиданиям, игнорируя альтернативные сценарии (Ramos, 2019). Преодолеть эти ловушки помогут диверсификация точек зрения и инклюзивность при стратегическом планировании.

Анализ недостатков конуса будущего позволяет предложить альтернативную модель, учитывающую выявленные ограничения.

Теоретическая основа

Нелинейное (сетевое) восприятие будущего соотносится с рядом теорий и подходов, включая сетевой Форсайт, системное мышление и концепции социально-экологических систем (СЭС). Эти научные направления подчеркивают взаимосвязанность элементов, динами-

ческое взаимодействие и значимость множественных перспектив для целостного (холистического) понимания сложности и неопределенности.

Системное мышление

Системное мышление представляет собой целостный подход, сосредоточенный на анализе взаимосвязей между частями системы в противовес изучению отдельных элементов. Согласно этой методологии, поведение системы определяется взаимодействием и обратными связями между ее частями (Meadows, Wright, 2008). В контексте Форсайт-исследований системное мышление ориентирует специалистов на учет широких социальных, технологических, экономических, экологических и политических факторов, формирующих облик будущего (Hynes et al., 2020). Такой подход раскрывает сложные взаимозависимости, помогает определить ключевые точки воздействия и непреднамеренные эффекты, которые ускользают от линейной логики.

Междисциплинарный подход

Учет множественных перспектив — важнейший компонент сложного сетевого мышления. Подобный подход требует от практиков выхода за рамки устоявшихся конвенций Форсайта и интеграции методов других дисциплин, в частности когнитивной психологии. Когнитивные ловушки могут существенно искажать понимание будущего, порождая неточные прогнозы.

Современные физические теории, такие как петлевая квантовая гравитация, подразумевают принципиальную нелинейность связи «пространство – время» (Rovelli, 2007). Эти концепции демонстрируют ограниченность линейной логики в понимании сущности времени и необходимость расширения аналитических рамок. Квантовая физика опровергает допущения конуса будущего, вводя принципы неопределенности и нелинейности. На квантовом уровне частицы существуют в суперпозициях состояний до момента измерения, что указывает на вероятностный характер явлений вместо их детерминированности (Heisenberg, 2013). Фундаментальная неопределенность свидетельствует о том, что будущее нельзя предсказать, опираясь исключительно на текущие условия.

Специалисты-практики могут варьировать перспективы и гипотезы для минимизации влияния когнитивных искажений и получения более полного представления о спектре возможных сценариев будущего. Этот метод нацелен на создание дискуссионной среды, учитывающей разнообразные точки зрения и задействующей коллективный интеллект (van den Ende et al., 2022). На образ будущего оказывают влияние самые разные факторы, например негативный взгляд на настоящее как пронизанное социальной аномией. Все это лишний раз подчеркивает необходимость учета различных перспектив.

Динамическая перспектива

Нелинейная оптика отражает динамичную, эволюционирующую природу будущего. В отличие от конуса

будущего с его статичным взглядом на потенциальные эффекты событий, нелинейный подход признает постоянное развитие под влиянием множества взаимосвязанных факторов. Принимающие решения лица, использующие динамическую перспективу, сохраняют гибкость и рефлексивность к меняющимся условиям, адаптируя свои стратегии по мере поступления новой информации. Такой метод, согласующийся с нелинейным мышлением, стимулирует непрерывный поиск новых возможностей и учитывает турбулентности на этом пути (Stechert, 2006). Сетевой анализ способен выявить структурные связи между тенденциями и возникающими проблемами, обогащая тем самым Форсайт-исследования.

Социально-экологическая перспектива

Концепция СЭС признает взаимопроникновение и коэволюцию человеческих обществ и природных экосистем (Walker et al., 2004). Понимание динамики СЭС критически важно для реализации сценариев будущего, соответствующих принципам устойчивого развития. Данный подход подчеркивает связь между антропологической деятельностью и экологическими последствиями (Partelow, 2018). В рамках модели конуса будущего оптика СЭС позволяет специалистам рассматривать встречное влияние социальных и экологических факторов в долгосрочной динамике (Drees et al., 2022).

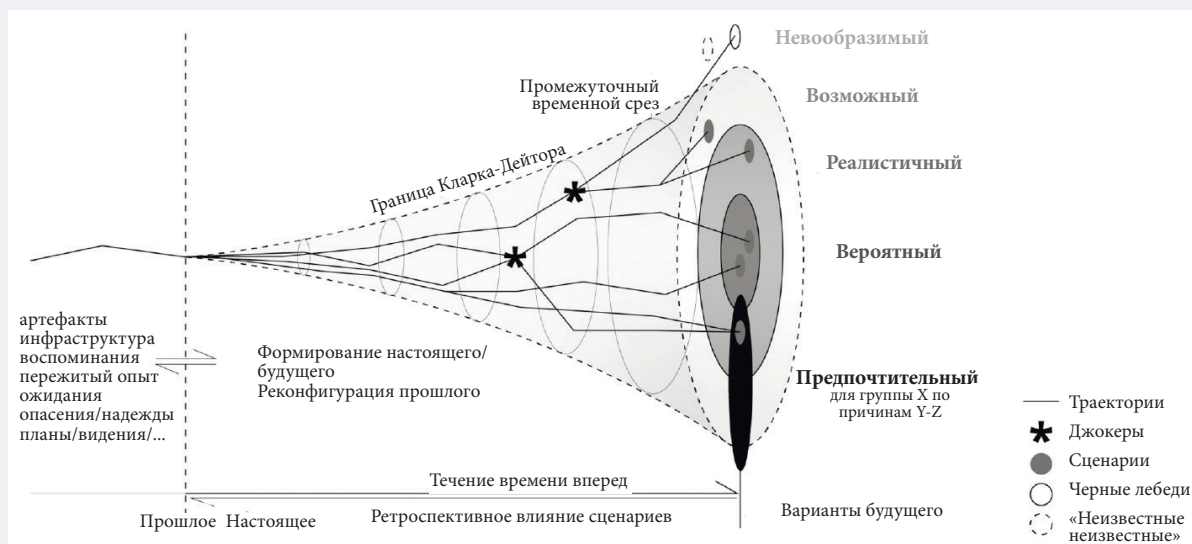
Вышесказанное предполагает вовлечение широкого круга стейкхолдеров — ученых, предпринимателей, государственных служащих, землевладельцев и представителей некоммерческого сектора — в разработку комплексных систем управления ресурсами и укрепления устойчивости в условиях неопределенности. Концепция СЭС также фокусируется на сценарном анализе катастрофических побочных эффектов развития передовых технологий и реализации масштабных проектов. Минимизация подобных рисков требует этического предвидения и надежных механизмов предотвращения исходов с долгосрочными или нарастающими потерями.

Навыки работы с будущим

Грамотность при работе с будущим (*futures literacy*) представляет собой способность моделировать последующее развитие и формировать стратегии достижения предпочтительных сценариев (Miller, 2018). Совершенствование этой ключевой компетенции требует приоритетного внимания к ней современной образовательной системы. Подобные навыки позволяют оптимизировать поиск инновационных подходов к работе с глобальными тенденциями, предвидеть возникающие социально-экономические и этические вызовы, выдвигая эффективные решения (Mangnus et al., 2021).

Нелинейное восприятие играет определяющую роль в развитии данной компетенции, обеспечивающей целостный и адаптивный подход к Форсайт-исследованиям. Навыки работы с будущим интегрируются в междисциплинарную и системную методологию изучения альтернативных траекторий технологиче-

Рис. 4. Конус будущего (обновленная модель)



Источник: (Gall et al., 2022).

ского и социального развития, создавая основу для разработки устойчивых стратегий навигации в сложном взаимосвязанном мире.

Основные недостатки конической модели

Конус будущего, несмотря на свою значимость для стратегического планирования, обнаруживает существенные ограничения при столкновении с комплексными реальными сценариями. Ключевой недостаток модели — неспособность адекватно учитывать неизвестные неизвестные (*unknown unknowns*) — непредсказуемые события, порождающие принципиально иные эффекты, чем ожидаемые, а также «динамичную, нелинейную природу реальности» (Heisenberg, 2013). В конечном счете эти дефекты могут выражаться в негибких стратегических решениях и снижать способность реагировать на вызовы неопределенного будущего. Рассмотрим ограничения конуса будущего детальнее.

Линейная концепция

Конус будущего изначально опирается на линейную прогрессию времени, чья теоретическая валидность подвергается серьезной философской и естественнонаучной критике. Согласно линейной логике, будущее последовательно разворачивается из настоящего, распадаясь на спектр возможностей. Происходит поэтапное движение от текущего момента к различным потенциальным исходам. Однако «статичные и линейные допущения», лежащие в основе конуса будущего, не отражают комплексную, динамическую природу реальности (Migone, Howlett, 2024). Модель игнорирует сложные корреляции, петли обратной связи и эмерджентные явления, постоянно преобразующие мир.

Конус будущего не обеспечивает динамичной адаптации к новой информации, а его применение порождает

быстро устаревающие стратегии. Реальность характеризуется непрерывными изменениями и взаимосвязанностью компонентов, что делает линейную статическую модель неадекватной для ее описания. Как показано на рис. 4, даже модернизированные версии конуса будущего, призванные оптимизировать его структуру, лишь усилили степень линейности (Gall et al., 2022).

В современной философии утвердился критический взгляд на линейную концепцию времени. В различных описаниях темпоральность может демонстрировать циклическую природу (Overton, 1994), комплексные взаимозависимости (Hawking, Penrose, 2015) или даже рассматриваться как эпистемологическая иллюзия (Jaffe, 2018). Этот вопрос будет детально проанализирован в следующем разделе.

Иллюзия полноты

Один из ключевых недостатков конуса будущего — создаваемое им ложное ощущение всеохватности. Потенциальное будущее разделяется на дискретные сегменты («вероятное», «правдоподобное», «возможное» и «предпочтительное»), порождая иллюзию учета всех значимых сценариев. Однако модель демонстрирует фундаментальную нечувствительность к слепым пятнам и черным лебедям — значимым непредвиденным явлениям, не вписывающимся в существующие рамки понимания (Taleb, 2010). Опираясь исключительно на доступное или допустимое, конус будущего систематически упускает из виду принципиально неизвестное лицам, принимающим решения.

Недооценка человеческой агентности и коммуникации

Другое существенное ограничение конуса будущего — игнорирование решающей роли человеческого фактора и социального взаимодействия в формировании обра-

зов завтрашнего дня. Модель тяготеет к детерминистскому представлению о будущем как о чем-то предданном или самопроизвольно сложившемся. При этом недооцениваются проактивные решения, инновации и комплексные сопряжения между различными сценариями и деятельностью стейкхолдеров. Конус будущего опирается на упрощенные допущения, неспособные адекватно отразить сети разнонаправленных связей, которые могут кардинально изменить ход событий. В результате модель существенно снижает значимость человеческой субъектности в формировании будущего.

Недооценка неопределенности

Конус будущего преуменьшает реальный масштаб неопределенности через выделение дискретных категорий. Такая сегментация внушает необоснованную уверенность в достижимости стратегических планов. Как следствие, организации сосредотачиваются на «вероятных» или «правдоподобных» траекториях, пренебрегая возможностями радикальных внешних трансформаций. Это повышает их уязвимость к непредвиденным вызовам и снижает способность преодолевать трудности динамичной среды. Недооценка неопределенности угрожает устойчивости любой деятельности.

В современных условиях возрастает роль адаптивности и гибкости при принятии стратегических решений, тогда как планы, выработанные с помощью модели конуса будущего, зачастую страдают ригидностью, неполнотой и в конечном счете неэффективностью. Для выработки по-настоящему устойчивых образов будущего принимающие решения лица должны развивать адаптивный потенциал, повышать свою готовность к быстрому переключению между альтернативными сценариями и осознавать собственную ограниченность перед лицом неизвестного. Рациональный подход требует признания пределов прогностических моделей и выработки способности оперативно реагировать на непредвиденные события — задачи, для решения которых конус будущего структурно не предназначен.

Анализ

Предлагаемая альтернатива конусу будущего интегрирует концепции из различных областей знания — философии, квантовой физики и когнитивной психологии, обеспечивая комплексное понимание того, как формируются представления о последующем развитии. Ограничения конуса будущего были проанализированы с использованием междисциплинарной оптики. Новая концептуальная модель учитывает сложную природу темпоральности, неопределенности и когнитивных процессов в осмыслении диапазона будущих возможностей.

Философская перспектива

Философские концепции времени отличаются значительным разнообразием. Аристотель определяет время как «меру движения», неразрывно связанную с изменениями (Hutton, 1977). Альтернативная ньютоновская версия постулирует существование «абсолютного вре-

мени», текущего равномерно и независимо от внешних явлений (Schliesser, 2013). Реляционисты, в частности Лейбниц, напротив, утверждали, что время существует не независимо от событий, а представляет собой последовательность моментов, которые находятся с текущими событиями в отношениях «раньше, чем» и «одновременно с» (Futch, 2008). Столь разные воззрения отражают фундаментальную дискуссию о природе времени: является ли оно объективной реальностью или конструктором, обусловленным восприятием и происходящими событиями.

История философии сохранила множество подходов, противоречащих линейным представлениям о времени. Концепция циклического времени (Oosterling, Tiemersma, 1996), преобладавшая во многих древних культурах, фундаментально противоречит линейной логике конуса будущего. Время в этих традициях рассматривается как система повторяющихся эпох и циклов, где будущее воспроизводит паттерны прошлого (Bendor et al., 2021). Такой циклический взгляд принципиально отличается от однонаправленной проекции конуса будущего, где завтрашний день предстает ответвлением от сегодняшнего, а не воспроизведением прежних тенденций.

Дальнейшее развитие философии породило концепции, которые также оспаривают традиционное понимание времени. Возник целый ряд гипотез о времени как иллюзии: все события существуют одновременно, а их кажущаяся последовательность — не более чем ментальный конструкт (Merleau-Ponty, 2004). Некоторые мыслители сосредоточились на субъективном восприятии времени, подчеркивая роль сознания и изменчивого темпорального опыта человека (Varela, Depraz, 2005). Кант отнес время и пространство к проецируемым разумом априорным формам (Copenhaver, 2019), которые опосредуют восприятие внешнего мира. Эти концепции делают акцент на человеческом понимании, которое не взаимодействует с объективной реальностью напрямую, а преломляется призмой когнитивных процессов (Nozick, 2001).

Тем самым конический образ будущего как набора возможных событий, ответвляющихся от настоящего, выглядит неоправданным упрощением. Более адекватный подход, учитывающий влияние исторических паттернов, актуальных условий и субъективного опыта людей, описывает последующее развитие в виде сложной сети взаимосвязанных событий. Эта перспектива согласуется с теорией САС (Estrada, 2024), где минимальные изменения чреваты масштабными и непредсказуемыми эффектами. Такой альтернативный взгляд акцентирует взаимозависимость и эмерджентные свойства будущего.

Естественно-научная перспектива

Квантовая физика радикально трансформирует представление о детерминизме. На квантовом уровне частицы не обладают определенными свойствами до момента наблюдения, существуя в суперпозиции возможных состояний (Colosi, Rovelli, 2009). Этот принцип демонстрирует, что будущее не является линейным про-

должением настоящего, но формируется под влиянием вероятностных исходов, не predetermined заранее. Нильс Бор отмечал: «Мы должны четко понимать, что, когда речь идет об атомах, язык может использоваться только в качестве поэзии» (цит. по: Anderson, 1971). Данное высказывание подчеркивает ограниченность классических детерминистических моделей в прогнозировании будущих событий.

Опора конуса будущего на вероятностные оценки не учитывает фундаментальную квантовую неопределенность, предлагая упрощенную модель развития событий. Теория САС выдвигает еще более радикальные возражения против линейных темпоральных концепций. В сложных системах минимальные изменения начальных условий могут вызывать непропорционально масштабные последствия — феномен, известный как эффект бабочки (Érdei, 2008). Такая принципиальная непредсказуемость указывает на то, что даже наиболее вероятные тенденции могут быть прерваны под влиянием неучтенных внешних факторов или внутрисистемных возмущений. Тем самым конус будущего создает иллюзию возможности достоверного прогнозирования на основе анализа текущей ситуации.

Детерминистские закономерности в сложных системах действуют лишь в определенных пространственно-временных масштабах. Краткосрочные прогнозы могут демонстрировать приемлемую точность благодаря относительной стабильности условий, тогда как долгосрочные предсказания утрачивают достоверность по мере введения новых переменных и стохастических факторов. Это ограничение критически важно для понимания того, как конус будущего искажает представление о подлинной пластичности и многомерности возможных сценариев. Игнорирование подобной динамики порождает избыточно упрощенные модели, не отражающие комплексные взаимозависимости реальных ситуаций (Sterman, 2000).

В свете упомянутых научных концепций становится очевидной необходимость переосмысления модели конуса будущего. Вместо рассмотрения будущего как набора траекторий, расходящихся из фиксированной точки настоящего, продуктивнее представить его в виде динамической сети взаимосвязанных потенциальностей, формируемых множеством факторов — как прогнозируемых, так и непредсказуемых. Принятие имманентной сложности и неопределенности будущего, о которых свидетельствуют квантовая механика и теория САС, позволит разработать более адекватные модели, отражающие подлинную природу темпоральности и вероятных исходов.

Когнитивная перспектива

Модель конуса будущего изначально уязвима для когнитивных искажений, которые могут существенно ограничивать качество Форсайт-исследований и проактивных стратегий. Когнитивные искажения представляют собой систематические отклонения от рациональности в процессе формирования суждений вследствие особенностей обработки информации человеческим мозгом (Muntwiler, 2023). Эти искажения влияют на

восприятие настоящего, интерпретацию сигналов и конструирование образов потенциального будущего, что может приводить к ошибочным суждениям и нерациональным решениям.

Одна из ключевых когнитивных ловушек модели — игнорирование альтернативных сценариев в угоду определенному образу будущего. В основе этого искажения зачастую лежит предвзятость подтверждения: люди избирательно ищут и интерпретируют информацию, подкрепляющую их существующие убеждения или гипотезы (Nickerson, 1998). Например, сторонник возобновляемой энергетики может переоценивать тенденции, поддерживающие эту точку зрения, и пренебрегать свидетельствами, которые ей противоречат. Такой суженный фокус приводит к фрагментарному или прямо ошибочному пониманию спектра возможных вариантов развития, ограничивая эффективность стратегического планирования и оценки рисков (Cristofaro et al., 2021).

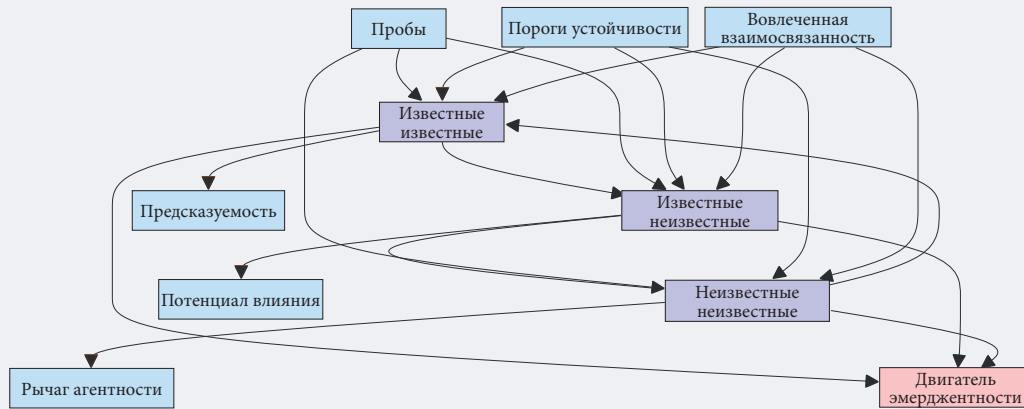
Конус будущего может подспудно способствовать возникновению когнитивных искажений. Сегментация будущего на «возможное», «правдоподобное», «вероятное» и «предпочтительное» создает ментальную рамку, которая побуждает отдавать приоритет сценариям, соответствующим текущим ожиданиям или предпочтениям. Это порождает самосбывающиеся пророчества, при которых ресурсы направляются на реализацию конкретного варианта будущего при одновременном пренебрежении альтернативными траекториями, потенциально более гибкими или устойчивыми к непредвиденным обстоятельствам.

Не менее значимой проблемой при применении конуса будущего выступает эффект якорения, который проявляется в избыточной опоре при принятии решений на первично полученную информацию (Charman, Johnson, 1994). Исходные допущения или выявленные тенденции могут оказывать непропорционально сильное влияние на последующий анализ и конструирование сценариев. Это ограничивает возможности выхода за рамки вероятностного диапазона, существенно снижая шансы обнаружения правдоподобных или возможных альтернатив.

Чтобы смягчить влияние когнитивных искажений принимающим решения лицам необходимо осознавать наличие паттернов мышления и сопротивляться им (Winkler, Moser, 2016). Добиться этого можно за счет интеграции различных перспектив, ревизии исходных гипотез и применения структурированных методик принятия решений, обеспечивающих анализ максимально широкого спектра возможностей. Мониторинг среды для выявления слабых сигналов и зарождающихся тенденций также способствует идентификации событий, обладающих подрывным потенциалом, которые могут остаться незамеченными в силу когнитивных искажений (Tabatabaei, 2011).

Поскольку мировоззренческие установки зачастую неосознанны, а практики Форсайта могут не отдавать себе отчета в собственных когнитивных искажениях, конус будущего требует расширения (Kunseler et al., 2015). В интересах качества и инклюзивности прогнози-

Рис. 5. Ключевые компоненты адаптивной сетевой модели



Источник: составлено автором.

рования анализом должны быть охвачены как прошлое, так и настоящее. Включение вероятностных факторов, системных взаимосвязностей и динамики властных отношений способно обогатить сценарное планирование и обеспечить максимально широкий охват возможных будущих событий.

Адаптивная сетевая модель

В противовес линейному подходу конуса будущего нелинейный сетевой принцип предлагает более гибкую и устойчивую структуру для осмысления природы времени и будущего. AFM позволяет реагировать на неожиданные события посредством нескольких ключевых компонентов, функционирующих как единое целое и обеспечивающих комплексное, надежное понимание будущего. Альтернативная перспектива признает сложную взаимосвязность прошлого, настоящего и будущего, а также имманентную неопределенность и многосоставность потенциальных результатов. AFM интегрирует множественные перспективы, существенно минимизирует когнитивные искажения, акцентирует динамичную и эволюционирующую природу будущего и предлагает более эффективные практические методы прогнозирования.

Принципы

В основе AFM лежит ряд фундаментальных принципов реконцептуализации будущего. Во-первых, его нелинейная взаимосвязанность: на смену конусовидной линейности приходит сетевая динамичность, отражающая сложность реальных взаимодействий. Во-вторых, неопределенность рассматривается как ключевая переменная, а не периферийный фактор, что обеспечивает большую реалистичность разрабатываемых сценариев. В-третьих, вводится концепция коллективной эмерджентности (*participatory emergence*), в которой будущее выступает результатом совместных усилий человеческих и нечеловеческих агентов. Наконец, AFM предполагает непрерывность адаптационных процессов,

благодаря циклам обратной связи, которые заменяют статичные сценарии динамичными стратегиями.

Компоненты

Ключевой характеристикой AFM выступает сетевая архитектура. В отличие от упрощенной конусовидной визуализации, эта модель представляет будущее в виде трехмерной сети взаимосвязанных узлов. Последние подразделяются на несколько категорий: известные известные (установленные тенденции и данные), известные неизвестные (идентифицированные риски) и неизвестные неизвестные. По аналогии с астрофизикой, AFM обозначает их как узлы темной материи, заключающие в себе неопределенность (Choudhury, 2023).

Темной материи в космологии и астрофизике отводят свыше 80% всего вещества во Вселенной, однако она остается невидимой для наблюдателей. Не излучая ни света, ни энергии, она не поддается обнаружению традиционными методами и представляет собой сетчатую структуру, на пересечениях нитей которой формируются галактические скопления (Garrett, Duda, 2011). Сходным образом, узлы внутри AFM динамически адаптируются к поступающим в реальном времени данным, действиям заинтересованных сторон и внешним шокам. На рис. 5 представлены ключевые компоненты AFM.

В терминах когнитивной науки, важным элементом AFM выступает концепция градиентов неопределенности (*uncertainty gradients*) (Skov, Nadal, 2023). Каждый узел оценивается по трем отдельным параметрам. Первый — предсказуемость (*predictability*) — определяет меру нашего понимания узла. Второй — потенциал воздействия (*impact potential*) — измеряет возможный подрывной масштаб. Третий — рычаг агентности (*agency leverage*) — отражает степень влияния заинтересованных сторон. Совокупность этих градиентов формирует тепловую карту, направляющую стратегическое распределение ресурсов (рис. 6).

AFM включает также адаптивные петли обратной связи (Zavala Rodríguez et al., 2019) в виде пробных

Рис. 6. Градиенты неопределенности

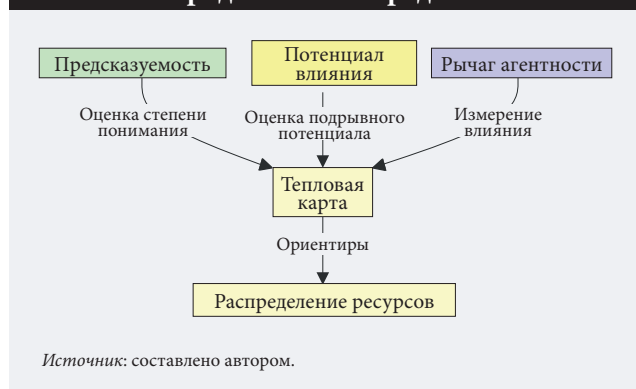


Рис. 7. Адаптивные петли обратной связи

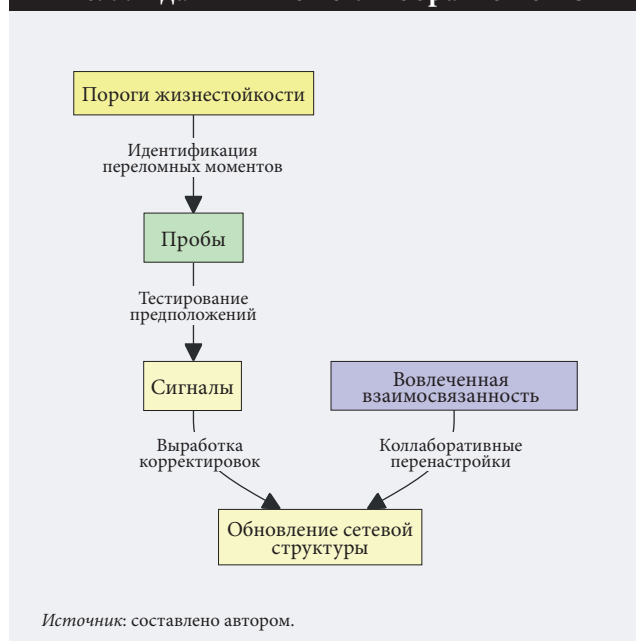
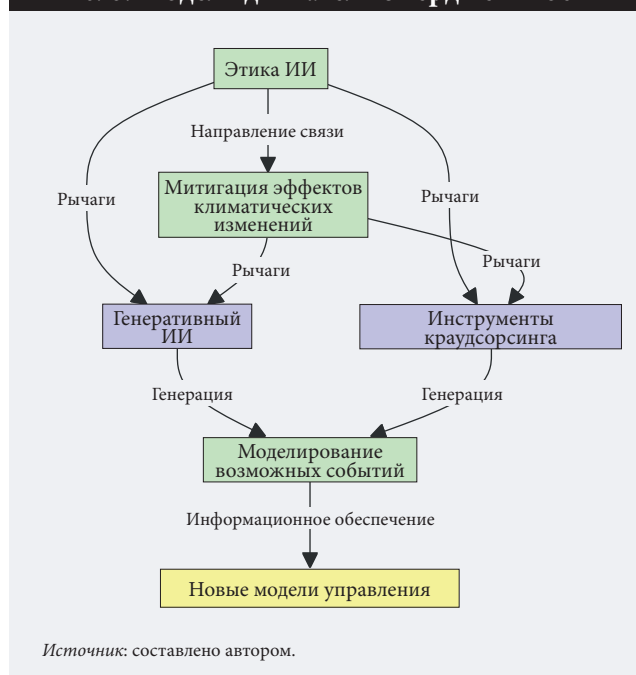


Рис. 8. Модель двигателя эмерджентности



экспериментов (зондирования), с помощью которых проверяются гипотезы и генерируются сигналы для корректировки сетевой структуры. При идентификации критических точек перелома, требующих пересмотра стратегий в ответ на значительные внешние изменения, устанавливаются пороги устойчивости (*resilience thresholds*). Вовлеченная взаимосвязанность (*participatory weaving*) помогает стейкхолдерам совместно добавлять или удалять узлы, гарантируя, что возникающие риски будут зафиксированы теми, кто имеет наибольшие шансы с ними столкнуться. На рис. 7 показано, как петли обратной связи позволяют AFM обновляться.

Наконец, двигатель эмерджентности (*emergence engine*) выступает звеном, в котором формируются варианты будущего в результате взаимодействия между узлами (Maltarich, Havrylyshyn, 2023). Например, новые модели управления могут возникнуть из взаимосвязи между вопросами этики ИИ и проблемами климатической миграции. Этот механизм использует генеративный ИИ или краудсорсинговые методы для моделирования различных комбинаторных возможностей. Рис. 8 иллюстрирует данные компоненты и потоки.

Преодоление недостатков конуса будущего

AFM эффективно устраняет ряд недостатков традиционных подходов. Через метафору узлов темной материи она вводит в модель неизвестные неизвестные, культивируя смирение, скромность перед неопределенностью будущего (*humility in foresight*), что открывает пространство для непредвиденных сценариев. Нелинейная структура визуализирует каскадные эффекты: например, крах узла в цепочке поставок может радикально изменить геополитическую динамику. Особо подчеркивается значимость человеческого фактора: посредством своих решений и действий стейкхолдеры способны реконфигурировать структуру сети. Наконец, интеграция петель обратной связи обеспечивает своевременную адаптацию стратегий для опережения дестабилизирующих событий.

Преимущества альтернативной модели

AFM согласуется с концепцией антихрупкости Нассима Талеба (Taleb, 2012), допуская возможность процветания в условиях волатильности. Неопределенность рассматривается не как препятствие, а как катализатор инноваций. Освоение будущего демократизируется, благодаря учету разных голосов при выработке траекторий развития в формате коллективного конструирования. Стратегия приобретает живой характер: планы не фиксируются навсегда, а органически эволюционируют в ответ на меняющиеся обстоятельства. Внедрение AFM знаменует принципиальный переход от предвосхищения к готовности к будущему, что особенно ценно в условиях текущего поликризиса (Raczkowski, Komorowski, 2025). Организации, заинтересованные в практическом применении данного подхода, могут разрабатывать индивидуальные решения, адаптированные к их отраслевым контекстам.

Адаптивная сетевая модель в действии

Рассмотрим компанию, разрабатывающую климатическую стратегию до 2030 г. Традиционный конический подход может фокусироваться на вероятном введении углеродного налога. AFM, напротив, обеспечивает более комплексную перспективу и позволяет компании картировать различные узлы: геотехнологические стартапы, конфликты за водные ресурсы, неизвестные климатические циклы обратной связи. Такое всеобъемлющее моделирование помогает идентифицировать узел темной материи — например, высвобождение метана из вечной мерзлоты, создающее значительные риски для других элементов корпоративной стратегии. Инвестируя в прототипы инновационных технологий улавливания метана и постоянно мониторя арктические условия, компания может адаптировать свою стратегию по мере возникновения новых узлов, таких как судебные процессы по климатическим инцидентам, инициируемые молодежными активистами.

Заключение

Представленный критический анализ конической модели, получившей широкое распространение в Форсайт-исследованиях, указывает на ее существенные недостатки. Несмотря на определенную эпистемологическую ценность классификации потенциальных сценариев на вероятные, правдоподобные, возможные и предпочтительные для визуализации альтернативных вариантов будущего и стимулирования стратегического мышления, опора на линейную прогрессию времени чрезмерно упрощает сложность и неопределенность прогнозирования.

Философская критика оспаривает концепцию линейного времени, предлагая ее альтернативное понимание как циклического или комплексного феномена, где прошлое, настоящее и будущее взаимосвязаны. Достижения квантовой физики и теории сложных систем подчеркивают непредсказуемость будущих событий, значение случайности и изменчивых факторов, а не детерминированных траекторий. Ключевую роль в интерпретации результатов при работе с моделью конуса будущего играют когнитивные искажения. Склонность к подтверждению существующих убеждений и эффект якорения могут приводить к фокусировке на определенных вариантах будущего и игнорированию альтернативных сценариев. Для минимизации влияния таких искажений необходимо интегрировать различные перспективы и комплексные допущения. Осознание этих ограничений позволит принимающим решения лицам избегать самоуспокоения и оперировать более целостным представлением о спектре потенциальных вариантов будущего.

В качестве альтернативы предложена AFM, преодолевающая ограничения конической модели. Новый подход акцентирует взаимосвязанность временных измерений, признавая фундаментальную неопределенность и сложность прогнозирования. AFM интегрирует

множественные перспективы и учитывает динамичную природу будущих тенденций, обеспечивая тем самым более надежную основу для принятия решений и стратегического планирования. Освоение данного инструмента комплексного мышления позволит организациям сохранять гибкость в условиях неопределенности и своевременно адаптировать стратегии при поступлении новой информации.

Изучение альтернативных концептуальных моделей, включая нелинейное восприятие, критически важно для совершенствования прогностических и адаптационных возможностей практиков Форсайта. В условиях возрастающей сложности мира, характеризующегося непрерывными изменениями и высокой неопределенностью, освоение комплексных подходов к осмыслению будущего становится решающим фактором для развития устойчивости и адаптивности организаций. AFM преодолевает ограничения конической модели, обеспечивая более целостный взгляд на потенциальные сценарии и предоставляя принимающим решения лицам надежную информационную основу для эффективного реагирования на возникающие вызовы и возможности.

Несмотря на детальное рассмотрение AFM как инновационной модели стратегического Форсайта, ограничения нашего исследования связаны с его преимущественно теоретическим и концептуальным характером. Предлагаемая модель требует масштабной эмпирической валидации в разнообразных реальных сценариях и организационных контекстах. Эффективность специфических компонентов, таких как узлы темной материи и двигатель эмерджентности, нуждается в тщательном тестировании для определения их практической пользы в совершенствовании процесса принятия решений. Исследование также учитывает потенциальные сложности имплементации AFM, включая необходимость сотрудничества между различными подразделениями, доступности данных и взаимодействия со стейкхолдерами, набор которых может существенно варьировать в зависимости от конкретного контекста.

Дальнейшие изыскания следует сосредоточить на эмпирической валидации модели AFM через анализ конкретных ситуаций и экспериментальные проекты: разработку количественных метрик для оценки эффективности AFM в сравнении с традиционными методами стратегического Форсайта, включая коническую модель. Критически важными направлениями будущих исследований выступают изучение оптимальных способов идентификации и управления узлами темной материи, а также анализ этических аспектов применения ИИ и краудсорсинга в двигателе эмерджентности. Кроме того, необходимо исследовать практические вопросы интеграции AFM в различные организационные контексты, включая разработку лучших практик по формированию экспертных команд, управлению данными и взаимодействию со стейкхолдерами для максимизации эффектов от внедрения модели.

Библиография

- Anderson E.E. (1971) *Modern physics and quantum mechanics*, Philadelphia, PA: Saunders.
- Bendor R., Eriksson E., Pargman D. (2021) Looking backward to the future: On past-facing approaches to futuring. *Futures*, 125, 102666. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102666>
- Bohr N. (2011) *Atomic theory and the description of nature: Four essays with an introductory survey*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Chapman G.B., Johnson E.J. (1994) The limits of anchoring. *Journal of Behavioral Decision Making*, 7(4), 223–242. <https://doi.org/10.1002/bdm.3960070402>
- Choudhury P.P. (2023) Formation of multiphase plasma in galactic haloes and an analogy to solar plasma. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 10, 1155865. <https://doi.org/10.3389/fspas.2023.1155865>
- Colosi D., Rovelli C. (2009) What is a particle? *Classical and Quantum Gravity*, 26(2), 025002. <https://doi.org/10.1088/0264-9381/26/2/025002>
- Copenhaver R. (2019) *Philosophy of mind in the early modern and modern ages*, New York: Routledge.
- Cristofaro M., Sousa M.J., Sánchez-García J.C., Larsson A. (eds.) (2021) *Managerial and entrepreneurial decision making: Emerging issues*, Basel: MDPI.
- Drees L., Liehr S., Batbuyan B., Marg O., Mehring M. (2022) In search of a nomadic pastoralism for the 21st century. A transdisciplinary development of future scenarios to foster a social-ecological transformation in Mongolia. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 35(3), 481–505. <https://doi.org/10.1080/13511610.2022.2100744>
- Eliade M., Trask W.R., Smith J.Z. (2018) *The myth of the eternal return: Cosmos and history* (1st ed.), Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Érdi P. (2008) *Complexity explained*, Cham: Springer.
- Estrada E. (2024) What is a complex system, after all? *Foundations of Science*, 29(4), 1143–1170. <https://doi.org/10.1007/s10699-023-09917-w>
- Futch M.J. (2008) *Leibniz's metaphysics of time and space*, Cham: Springer.
- Gall T., Vallet F., Yannou B. (2022) How to visualise futures studies concepts: Revision of the futures cone. *Futures*, 143, 103024. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.103024>
- Garrett K., Duda G. (2011) Dark Matter: A Primer. *Advances in Astronomy*, 2011, 968283. <https://doi.org/10.1155/2011/968283>
- Hancock T., Bezold C. (1994) Possible futures, preferable futures. *Healthcare Forum Journal*, 37(2), 23–29.
- Hawking S.W. (2011) *A brief history of time: From the big bang to black holes*, New York: Bantam.
- Hawking S.W., Penrose R. (2015) *The nature of space and time* (2nd ed.), Princeton, NJ: Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400834747>
- Heisenberg W. (2013) *Physical principles of the quantum theory* (first published in 1930), New York: Dover Publications.
- Henchey N. (1977) The future of Quebec: Alternative scenarios. *McGill Journal of Education*, 12(1), 17–27.
- Hutton S. (1977) Some renaissance critiques of Aristotle's theory of time. *Annals of Science*, 34(4), 345–363. <https://doi.org/10.1080/00033797700200271>
- Hvidtfeldt R. (2018) *The structure of interdisciplinary science*, Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90872-4>
- Hynes W., Lees M., Müller J.M. (eds.) (2020) *Systemic thinking for policy making: The potential of systems analysis for addressing global policy challenges in the 21st century*, Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/879c4f7a-en>
- Jaffe A. (2018) The illusion of time. *Nature*, 556(7701), 304–305. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-04558-7>
- Kunseler E.-M., Tuinstra W., Vasileiadou E., Petersen A.C. (2015) The reflective futures practitioner: Balancing salience, credibility and legitimacy in generating foresight knowledge with stakeholders. *Futures*, 66, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.10.006>
- Maltarich M., Havrylyshyn A. (2023) The emergence engine: Socially mediated individual change. *Academy of Management Proceedings*, 2023(1), 13126. <https://doi.org/10.5465/AMPROC.2023.84bp>
- Mangnus A.C., Oomen J., Vervoort J.M., Hajer M.A. (2021) Futures literacy and the diversity of the future. *Futures*, 132, 102793. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102793>
- Mao H., Liu S. (2023) Research on the influence of innovative design based on the futures cone In: *Proceedings of the 2022 2nd International Conference on Computer Technology and Media Convergence Design* (CTMCD 2022) (eds. K. Subramanian, J. Ouyang, W. Wei.), New York: Atlantis Press International BV, vol. 99, pp. 403–410. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-046-6_48
- Meadows D.H., Wright D. (2008) *Thinking in systems: A primer*, London: Chelsea Green Pub.
- Merleau-Ponty M. (2004) *World of perception*, New York: Routledge.
- Migone A., Howlett M. (2024) Multiple streams and plausibility cones: Using concepts from future studies to depict policy dynamics. *International Journal of Public Administration*, 48(5–6), 368–380. <https://doi.org/10.1080/01900692.2024.2381769>
- Miller R. (2018) *Transforming the future: Anticipation in the 21st century*, New York: Routledge.
- Muntwiler C. (2023) *Cognitive biases and debiasing in strategic decision making* (PhD thesis), St. Gallen: University of St. Gallen.
- Nickerson R.S. (1998) Confirmation bias: A ubiquitous phenomenon in many guises. *Review of General Psychology*, 2(2), 175–220. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.2.175>
- Nozick R. (2001) *Invariances: The structure of the objective world*, Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press.
- Oosterling H.A.F., Tiemersma D. (eds.) (1996) *Time and temporality in intercultural perspective*, Leiden (Netherlands): Brill.
- Overton W.F. (1994) The arrow of time and the cycle of time: Concepts of change, cognition, and embodiment. *Psychological Inquiry*, 5(3), 215–237. https://doi.org/10.1207/s15327965pli0503_9

- Partelow S. (2018) A review of the social-ecological systems framework. *Ecology and Society*, 23(4), 26796887. JSTOR. <https://www.jstor.org/stable/26796887>
- Raczkowski K., Komorowski P. (eds.) (2025) *International economic policy for the polycrisis*, New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003487913>
- Ramos V.J. (2019) *Analyzing the role of cognitive biases in the decision making process*, Hershey, PA: IGI Global.
- Rovelli C. (2007) *Quantum gravity*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Schliesser E. (2013) Newton's philosophy of time. In: *A companion to the philosophy of time* (eds. H. Dyke, A. Bardon), New York: Wiley, pp. 87–101. <https://doi.org/10.1002/9781118522097.ch6>
- Skov M., Nadal M. (eds.) (2023) *The Routledge international handbook of neuroaesthetics*, New York: Routledge.
- Stechert P. (2006) Informatics system comprehension: A learner-centred cognitive approach to networked thinking. *Education and Information Technologies*, 11(3–4), 305–318. <https://doi.org/10.1007/s10639-006-9014-4>
- Sterman J.D. (2000) *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world* (International student edition), New York: McGraw-Hill.
- Park E., Shin H. (2024) *Contextualizing comedy techniques for speculative design: Unraveling futures cone from sketch comedy series, '2032/2033 futures'*. Paper presented at the DRS2024 Conference, 23–28 June, Boston, USA. <https://doi.org/10.21606/drs.2024.433>
- Tabatabaei N. (2011) *Detecting weak signals by internet-based environmental scanning* (Master's Thesis), Waterloo: University of Waterloo.
- Taleb N.N. (2010) *The black swan: The impact of the highly improbable* (2nd ed.), New York: Random House.
- Taleb N.N. (2012) *Antifragile: Things That Gain From Disorder*, New York: Random House.
- Van den Ende M.A., Wardekker A., Hegger D.L.T., Mees H.L.P., Vervoort J.M. (2022) Reflection: Applying participatory foresight methods in practice. In: *Towards a climate-resilient future together* (eds. M.A. van den Ende, A. Wardekker, D.L.T. Hegger, H.L.P. Mees, J.M. Vervoort), Cham: Springer International Publishing, pp. 61–70. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07682-4_4
- Varela F.J., Depraz N. (2005) At the source of time: Valence and the constitutional dynamics of affect. *Journal of Consciousness Studies*, 12(8–10), 61–81.
- Voros J. (2003) A generic foresight process framework. *Foresight*, 5(3), 10–21. <https://doi.org/10.1108/14636680310698379>
- Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., Kinzig A.P. (2004) Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>
- Winkler J., Moser R. (2016) Biases in future-oriented Delphi studies: A cognitive perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 105, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.01.021>
- Zavala Rodríguez E.B., Marco Gómez J., Franch Gutiérrez J. (2019) *Towards adaptative monitoring for self-adaptative systems*, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Малые страны на фоне конкуренции США и Китая в сфере искусственного интеллекта

Алексис Хосе Кольменарес-Сапата

Координатор магистерской программы, профессор, Школа международных отношений (International Relations School),
alexis.colmenares@iaen.edu.ec

Национальный институт передовых исследований (Instituto de Altos Estudios Nacionales, IAEN), Эквадор,
Av. Amazonas N37-271 y Villalengua, Quito, Ecuador

Аннотация

Стремительное развитие технологии искусственного интеллекта (ИИ) ведет к усилению глобальной конкуренции, меняя динамику соотношения сил между разными странами. В статье анализируются влияние распространения ИИ на перспективы соперничества в оборонной сфере между США и Китаем, а также эффекты этого процесса для небольших стран с ограниченным геополитическим влиянием. На основании обзора тематической литературы и опроса экспертов составлен набор возможных сценариев на период до 2050 г., которые описывают разные варианты развития противостояния США и Китая на Земле и в космосе, отражают соответствующие векторы стратегий для малых стран в том или ином контексте. Сценарии могут служить

стратегической канвой для разработки проактивной политики национальной безопасности с учетом меняющегося международного ландшафта. Предложенные рекомендации направлены на то, чтобы «выровнять игровое поле» и помочь таким субъектам не только решать проблемы, связанные с развитием ИИ в военной сфере, но и использовать возможности, возникающие в результате технологических сдвигов. Представленные выводы формируют потенциальную основу для разработки стратегий национальной безопасности даже в условиях институциональных и инфраструктурных ограничений. Лица, принимающие решения, могут ориентироваться в сложной среде, динамизм которой во многом определяют технологии ИИ.

Ключевые слова: соперничество США и Китая; инновации в оборонном секторе; искусственный интеллект; технологическая конкуренция; национальные стратегии; Форсайт; малые государства

Цитирование: Colmenares-Zapata A.J. (2025) AI amid the US-China Rivalry: Scenarios and Policies for Small States. *Foresight and STI Governance*, 19(1), pp. 19–27. <https://doi.org/10.17323/fstg.2025.27128>

AI amid the US-China Rivalry: Scenarios and Policies for Small States

Alexis José Colmenares-Zapata

Coordinator of the Master's Program in International Relations and Diplomacy, Professor of International Relations School of IAEN,
Ph.D.in International Studies, alexis.colmenares@iaen.edu.ec

Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN), Av. Amazonas N37-271 y Villalengua, Quito, Ecuador

Abstract

Emerging disruptive technologies such as artificial intelligence (AI) are fueling global rivalry by changing the power dynamics among countries. This article examines the implications of AI for the prospects of defense competition between major powers such as the United States and China. It presents possible scenarios of such competition through 2050 and their implications for smaller countries with limited geopolitical influence as they adapt to the increasingly complex context these processes create. The scenarios provide not only structured pictures of possible futures but also a strategic canvas for developing proactive national security policies in the changing international

landscape. In the context of rapid technological advances and strategic competition, smaller countries face both challenges and opportunities as they navigate their own paths. The proposed recommendations aim to “level the playing field” and help such states not only address the challenges posed by AI in the military sphere but also seize the opportunities arising from technological shifts. The findings presented can serve as a basis for developing national security strategies even in the context of institutional and infrastructural limitations. Decision makers will be able to navigate and effectively act in a complex, changing arena, the dynamism of which is largely determined by AI technologies.

Keywords: US-China rivalry; innovation in the defense sector; artificial intelligence (AI); technological competition; national strategies; foresight; small states; global security; international cooperation

Citation: Colmenares-Zapata A.J. (2025) AI amid the US-China Rivalry: Scenarios and Policies for Small States. *Foresight and STI Governance*, 19(1), pp. 19–27. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.27128>

Под влиянием динамичного развития новых технологий радикально трансформируется широкий спектр видов деятельности как в гражданской, так и в военной сферах. Особенно это касается технологий двойного назначения, включая искусственный интеллект (ИИ). Усиленная интеграция ИИ в военные стратегии переформатирует сферу глобальной безопасности, меняет характер стратегического планирования, сбора данных и т. п. (Johnson, 2019; Mori, 2018). Возникают качественно иные подходы к принятию решений, появляется возможность точнее предвидеть тактику и стратегию соперников, расширяется арсенал средств для ответных шагов. Динамика соотношения сил в международных отношениях тесно связана с экономическим и технологическим развитием. По некоторым оценкам, к 2030 г. благодаря распространению технологии ИИ мировой ВВП может увеличиться на 15,7 трлн долл., причем 70% вклада в данный прирост придется на две наиболее влиятельные державы — США и Китай (PWC, 2017). Соперничество между указанными странами, в том числе за создание технологий для военного сектора, усиливает глобальную напряженность. Центр новой американской безопасности (Center for a New American Security, CNAS) сравнивает подобную технологическую конкуренцию с космической гонкой прошлых десятилетий (Horowitz et al., 2018). Подчеркивается критическая роль ИИ в формировании будущего геополитического ландшафта не только для государств — мировых лидеров, но и для других игроков (Fernández-Montesinos, 2019). Небольшие страны в этом случае столкнутся с расширением технологического разрыва, который приведет их к критической уязвимости перед широким веером сложных вызовов. В отличие от крупных держав подобные субъекты не обладают достаточными технологическими и военными ресурсами для прямой конкуренции. Как следствие, риски дестабилизации для них возрастают. Однако при условии вовлечения в многостороннее международное сотрудничество и формирования стратегических альянсов, способствующих этичному управлению ИИ, у них появляется больше возможностей укрепить свою безопасность и суверенитет.

Настоящая статья заполняет критический пробел в существующей литературе: исследователи пока редко рассматривают долгосрочное влияние ИИ в отношении динамики сил в мире и его последствия для разных государств. Анализируется трансформационный эффект ИИ в отношении будущих конфликтов между США и Китаем, с акцентом на военной сфере и геополитике. Составлен набор возможных сценариев до 2050 г. Предложены практические рекомендации, которые помогут малым государствам ориентироваться в быстро меняющейся системе международных отношений, используя гибкие, адаптивные и проактивные подходы. Представленный анализ рисков и возможностей может

стать прочной основой для будущих исследований и разработки стратегий в эпоху геополитики, формируемой под влиянием ИИ.

Обзор литературы

*Общие тенденции развития ИИ в военной сфере*¹

По мере развития технологий ИИ, все больше раскрывается их потенциал для изменения глобального баланса сил и стратегической стабильности (Boulanin et al., 2020). Большинство подобных прорывов, ставшие следствием объединения усилий коммерческой и академической сфер, уже привели к значительным изменениям в динамике вооружений.² Сформировавшийся критический массив общедоступных базовых исследований и инструментов позволил значительно снизить стоимость разработок, ускорить их адаптацию к военному применению (Morgan et al., 2020). Государства начинают учитывать потенциал таких инноваций и соответствующим образом меняют свои оборонные стратегии (Horowitz et al., 2020). Многие исследователи сходятся во мнении, что ИИ выходит за рамки возможностей технологии как таковой, создавая неопределенность в плане стратегической стабильности (Larson, 2021). Растет обеспокоенность этическими последствиями, связанными с этим процессом (Johnson, 2020). В литературе приводятся многочисленные оценки изменения характера войны с появлением возникающих политических, социальных и технологических тенденций, которые приводят к концептуальным сдвигам в подходах к решению военных конфликтов.

Согласно другой точке зрения, ИИ может повысить эффективность всех типов военных операций, работая через сложившиеся системы, путем взаимодействия с другими, более устоявшимися формами военной мощи³. Эта технология рассматривается как важный ресурс в дополнение к традиционным военным операциям. Внедрение системы ИИ может добавить некоторый уровень креативности при решении определенных рутинных задач. Однако есть пределы, когда речь идет об адаптации к новым контекстам и разработке трансформационных стратегий. Возникающие беспрецедентные контексты требуют переосмысления правил и возможностей. Стратегирование остается «неотъемлемой человеческой компетенцией» (Payne, Warbot, 2021). Как и любая передовая технология, ИИ устраняет некоторые существующие проблемы, но одновременно возникают новые «черные ящики» (Gardner, 2021) и проблемы доверия к источникам информации. Одним из потенциальных побочных эффектов от внедрения более мощных вычислительных ресурсов и аналитики данных является повышенный риск просчета со стороны лиц, принимающих решения, если они учитывают недостоверные источники информации.⁴ Системы ИИ и их базы данных могут содержать уязвимости, с возмож-

¹ Раздел подготовлен на основе материалов работы (Horowitz et al., 2020).

² <https://www.chathamhouse.org/2017/01/artificial-intelligence-and-future-warfare>, дата обращения 18.01.2025.

³ https://samf.substack.com/p/does-artificial-intelligence-change?utm_source=+substack%26utm_medium=email, дата обращения 07.02.2025.

⁴ <https://securityintelligence.com/articles/data-poisoning-big-threat/>, дата обращения 19.01.2025.

ностями для противников преднамеренно вносить искажения в контент, создавая неопределенность. Новые проблемы будут связаны с механическими отказами, алгоритмической деградацией, предвзятыми данными и состязательными или контр-технологиями. Иными словами, при применении ИИ в военных операциях требуется учитывать тонкую градацию между возможностями и рисками в широком спектре опций.

Потенциал США и Китая

В контексте сдвига геополитического ландшафта в сторону более многополярного мира США и Китай делают ставку на развитие технологий ИИ для сохранения своих стратегических преимуществ.

В США исследования и разработки (ИиР) военного ИИ ведутся с 1950-х гг. Так, в рамках DARPA осуществляются проекты, связанные с обработкой естественного языка, распознаванием лиц и предиктивной аналитикой (Morgan et al., 2020). С 2016 г. реализуется специальная стратегическая программа ИиР «National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan», направленная на укрепление национальной обороны и безопасности (Johnson, 2021). При внедрении новых технологий ключевая ставка делается на сотрудничество государства с технологическими компаниями. В качестве примера можно привести проект «Maven», осуществляемый совместно компанией Google и Министерством обороны США. В его рамках разрабатываются алгоритмы компьютерного зрения, предназначенные для распознавания и идентификации классов объектов на видеозаписи с разведывательных беспилотников. На основе этих сведений принимаются решения о потенциальных целях для поражения (Malmio, 2023). Другая программа, «Sea Hunter», направлена на создание автономного судна для противодействия подводным лодкам⁵. Несмотря на значительные инвестиции в разработку ИИ со стороны государства, технологических компаний и университетов в США, их объемы пока остаются ниже ожидаемых. Как следствие, ряд экспертов ставят под сомнение возможность США удержать лидерские позиции в долгосрочной перспективе (Hunter et al., 2023), прогнозируя, что в ближайшие 10 лет Китай перехватит первенство (NSCAI, 2023). Однако другие специалисты, признавая наличие определенных проблем, все же полагают, что США сохранят превосходство в разработке военного ИИ, причем с большим отрывом.

Как и США, Китай отводит ИИ ключевую роль в качестве инструмента конкурентоспособности в двухстороннем геополитическом соперничестве. Прогнозируется, что к 2030 г. в результате внедрения

технологий ИИ ВВП страны сможет ежегодно пополняться на 600 млрд долл (для сравнения: ВВП Шанхая в 2021 г. составил 680 млрд долл.)⁶. Прирост произойдет в основном за счет таких секторов, как автопром, транспортно-логистические услуги, обрабатывающая промышленность, производственное программное обеспечение, здравоохранение и науки о жизни⁷.

Стратегия первопроходца, которую применяет Китай в развитии ИИ, предполагает широкомасштабную концептуализацию, которую оборонный сектор синтезирует в целостную структуру для будущих «интеллектуальных» военных операций и стратегического превосходства (Johnson, 2019). Разработана трехэтапная стратегия достижения мирового лидерства в области ИИ к 2030 г. (He, Ji, 2023). Созданию системы ИИ отводится ключевое значение как инструменту модернизации армии. Спектр ИиР варьирует от программы создания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)⁸ до широкой интеграции передовых облачных вычислений, технологий наблюдения и распознавания лиц⁹. Эти инициативы рассматриваются как точка входа в гонку ИИ с другими державами.

Китай принимает активные меры в ответ на ограничения в доступе к технологиям изготовления чипов, введенные со стороны США. Еще до обострения двусторонних отношений в Китае полагали, что быстрая технологическая трансформация превратится в гонку между ведущими державами, носящую характер «игры с нулевой суммой», и осознали необходимость реорганизации национальной инновационной системы (Cheung, 2022). Китай официально обозначил развитие ИИ как стратегический приоритет в 2017 г. Среди конкретных направлений: алгоритмы, передовые полупроводники, высокопроизводительные компьютерные чипы, квантовые вычисления, большие данные, «мозговая математика» (brainmatics), интерфейсы «мозг-компьютер», вычислительная нейронаука, процессы познания в мозге (brain-cognition) и т. д. В новые разработки ИИ вовлечен широкий круг национальных игроков. Военные приложения ИИ рассматриваются как быстрый и эффективный способ модернизации оборонного сектора. Из ключевых областей применения ИИ в военных операциях можно выделить: беспилотные боевые платформы для точечного поражения целей противника; оперативный сбор, обработку и анализ данных; оборонительные и ударные киберсистемы.

Китай активно инвестировал в создание БПЛА еще с конца 1990-х гг., что позволило сформировать крупнейшие в мире производственные мощности по этому направлению, обеспечивающие выпуск полного спектра военных беспилотников (He, Ji, 2023). Разрабатываются

⁵ <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2020/6/19/navy-industry-eager-to-develop-bigger-robo-ships>, дата обращения 19.01.2025.

⁶ <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-next-frontier-for-ai-in-china-could-add-600-billion-to-its-economy>, дата обращения 16.01.2025.

⁷ С начала тысячелетия Китай обогнал Германию и Японию, став вторым по величине в мире спонсором ИиР после США. Примечательно, что разрыв в финансировании ИиР между США и Китаем быстро сокращается, поскольку Штаты, хотя и наращивают инвестиции со своей стороны, с 2000 г. делают это значительно более медленными темпами (Viglione, 2020).

⁸ <https://www.businessinsider.com/chinas-underwater-drone-allies-in-pacific-2019-10>, дата обращения 02.03.2025.

⁹ <https://www.wired.co.uk/article/china-social-credit-system-explained>, дата обращения 02.03.2025.

технологии следующего поколения, включая системы направленного энергетического воздействия и человеко-машинные системы (Hunter et al., 2023). Разработка значительно ускорилась благодаря тесной кооперации государства с технологическими гигантами Huawei и Tencent (Johnson, 2021; Lu, 2021).

Концептуальная база исследования

В основе нашего анализа лежат две базовые концепции, критичные для понимания динамики соотношения сил и построения сценариев будущего: реализм в международных отношениях и стратегический Форсайт. В ходе нашего исследования на основе экспертных мнений сформулированы четыре сценария, описывающие влияние ИИ на военные и геополитические стратегии. Использовались специальные инструменты Форсайта, включая экспертные опросы, анализ PESTEL, «мозаичная панель Ренье» (Régnier Abacus)¹⁰ и осевая модель Шварца (Schwartz Axes) (Schwartz, 1997). Представленные результаты могут быть полезны при разработке национальных стратегий для подготовки к глобальным сдвигам, обусловленным внедрением ИИ.

С 1930-х гг. поведение стран в системе международных отношений рассматривается преимущественно сквозь призму «политического реализма». Согласно данной парадигме государства как рациональные субъекты считают приоритетом максимизацию своего влияния для обеспечения безопасности и развития (Velázquez, González, 2016). Исторически динамика соотношения сил проявлялась через конфликты, зачастую обусловленные территориальными и экономическими интересами. В свете геополитических противостояний последних десятилетий реализм эволюционировал в статус структурного (или неореализма), обретая системную перспективу. Проводятся разграничения между иерархической природой внутренней политики и неструктурированной рамкой международных отношений, исходя из того, что баланс сил возникает вследствие взаимодействия системных процессов, а не действий отдельных государств (Waltz, 1979). В соответствии с этим подходом крупные державы играют главную роль, а характер глобальной конкуренции зависит от расстановки сил и системных ограничений.

В настоящее время международная система во многом определяется геополитической конкуренцией США и Китая, их стремлением к доминированию. Происходящие в ней процессы неизбежно оказывают масштабное влияние и на другие государства. Взгляд сквозь призму реалистической парадигмы помогает лучше понять более широкие последствия влияния этих процессов (включая внедрение ИИ) на перспективы глобальной безопасности и национальных стратегий. Учитывая, что рассматриваемые страны стремятся доминировать в сфере ИИ, их действия соответствуют принципам теории реализма, поскольку обусловлены стремлением максимизировать свои стратегические

преимущества в конкурентной международной системе. Центральную роль в приведенном раскладе играют технологические инновации, военный потенциал и стратегические альянсы как ключевые компоненты национальной безопасности (Morgenthau, 2005; Mearsheimer, 2014).

Лучшего понимания перспектив рассматриваемых процессов можно добиться, применяя измерение стратегического Форсайта. Альфред Уайтхед (Alfred Whitehead) определяет Форсайт как «способность видеть сквозь кажущуюся путаницу, чтобы заметить развитие событий прежде, чем они станут тенденциями, видеть закономерности до того, как они полностью проявятся, и понимать особенности социальных течений, которые будут определять направление будущих событий» (Whitehead, 1967; Tsoukas, Shepherd, 2004). В отличие от детерминистских подходов, Форсайт исходит из множественности и неопределенности потенциальных сценариев развития событий (futuribles) и подчеркивает роль человека в их формировании (de Jouvenel, 1964). В основе этой концепции лежит понимание того, что решения, принимаемые сегодня, существенно влияют на будущее развитие событий (Godet, 1994; Godet, Durance, 2011; Mojica, 2005). Иными словами, Форсайт дополняет политический реализм, предлагая перспективу работы с альтернативными вариантами будущего для перестройки действий в настоящем, чтобы обеспечить реализацию наиболее предпочтительных опций.

Методология

С методологической точки зрения исследование осуществлялось в несколько этапов. Вначале проводился углубленный анализ использования ИИ в военных целях в США и Китае. В частности, был выполнен библиометрический обзор научных публикаций, отчетов различных организаций и государственных документов для выявления тенденций и факторов перемен. Изучение политических, экономических, социальных, технологических, экологических и правовых аспектов (Politics – Economy – Social – Technology – Environment – Legal, PESTEL) позволило комплексно оценить детерминанты развития военного ИИ для использования в потенциальном конфликте США и Китая (табл. 1). Выявлялись мнения экспертов о развитии ИИ и геополитических последствиях этого процесса¹¹. Затем идентифицировались и приоритизировались переменные, определяющие геополитическую конкуренцию в сфере ИИ. Ранжирование переменных проводилось с помощью метода «мозаичная панель Ренье», который заключался в маркировке экспертных оценок степени значимости того или иного фактора с использованием цветовой шкалы. Два важнейших драйвера выступили в роли осей сценарной матрицы, а именно: «Кибербезопасность и цифровое манипулирование» и «Милитаризация и космическая гонка». На основе матрицы были построены четыре внутренне согласованных сценария с горизонтом до 2050 г. (рис. 1). Рассмотрим их подробнее.

¹⁰ <https://www.colorinsight.fr/?lang=2>, дата обращения 03.03.2025.

¹¹ Использовался метод невероятностного формирования выборки для отбора экспертов по военному ИИ, геополитике и международным отношениям. Участников отбирали исходя из их опыта выполнения научных исследований, профессиональной репутации и вклада в дебаты по соответствующим темам. Это обеспечило квалифицированную экспертную оценку потенциальных сценариев будущего.

Табл. 1. Результаты PESTEL-анализа	
Аспекты	Переменные
Политические	• Геополитическая конкуренция • Государственная политика • Международные альянсы
Экономические	• Инвестиции в ИИ • Конкурентоспособность • Экономический потенциал
Социальные	• Этические аспекты • Конфиденциальность • Права человека • Неравный доступ к технологиям
Технологические	• Развитие ИИ • Автономные системы • Изменение характера военных действий
Экологические	Косвенные эффекты от использования военных технологий для состояния окружающей среды
Правовые	• Регулирование автономных систем вооружений • Обеспечение соблюдения этических норм

Источник: составлено автором.

Сценарии использования ИИ до 2050 г.

Сценарий «Хозяева киберпространства: мир среди звезд»

Данный сценарий отражает хрупкий баланс между распределением конфликтности и мирного сосуществования в разных пространствах. Земля рассматривается как сцена противостояния, которое переходит исключительно в цифровой формат, а физический мир оказывается фактически демилитаризован. Другими словами, геополитическое соперничество перемещается в киберизмерение, сводясь преимущественно к высокотехнологичному манипулированию данными и цифровому контролю. Мировые державы стремятся избежать прямой военной конфронтации, корректируя общественный дискурс путем информационных манипуляций с помощью ИИ. Основой стратегии национальной безопасности становятся сложные интеллектуальные системы наблюдения и киберразведка. Космос рассматривается исключительно как поле для сотрудничества (в основном для совместных ИиР), а не военного противостояния.

Следствия для малых стран. На первый план выходит необходимость наращивать соответствующий компетентностный потенциал, чтобы иметь возможность занять достойные позиции в международной исследовательской повестке мирного освоения космоса.

Сценарий «Цифровое доминирование и освоение космоса»

Описывается будущее, в котором противостояния в киберпространстве и в физическом мире неразрывно связаны друг с другом, что ведет к беспрецедентной военной эскалации. ИИ играет ключевую роль в военной логистике благодаря способности оптимизировать развертывание сил, что позволяет эффективнее реагировать на угрозы в режиме реального времени. Соперничество США и Китая охватывает как цифровое, так и физическое измерения. Благодаря прогрессу в об-

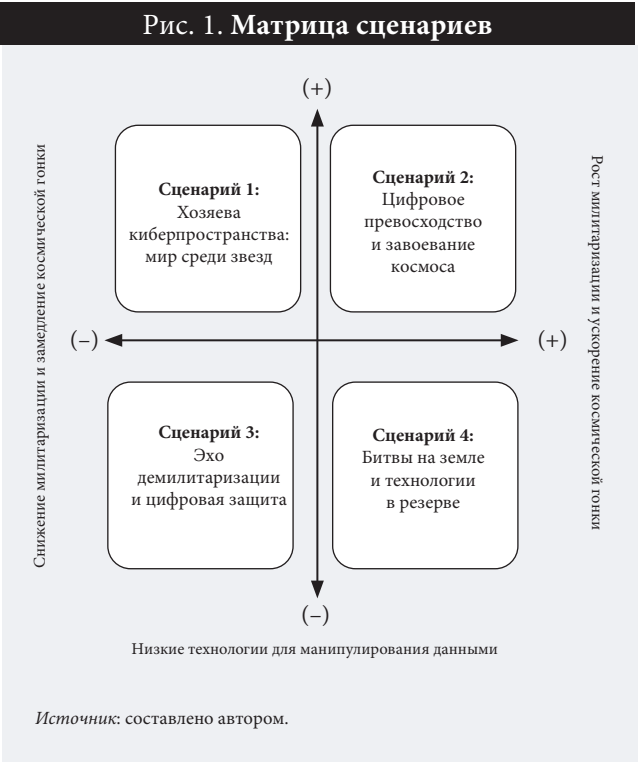
ласти квантовых вычислений и ИИ ускоряется развитие технологий мониторинга, разведки и социального контроля. Космос становится милитаризованным пространством, где размещается специальная инфраструктура, включая запуск военных спутников и строительство военных баз на Луне и Марсе. Завоевание космоса становится вопросом не только национального престижа, но и геополитического доминирования.

Следствия для малых стран. Как и в первом сценарии, возрастает актуальность участия в международных форумах по освоению космоса и регулированию использования ИИ в военных целях. Приоритетом становится разработка стратегии защиты критической инфраструктуры от потенциальных кибератак и подготовки к возможной активной милитаризации космоса.

Сценарий «Эхо демилитаризации и цифровая защита»

В этом варианте космическому пространству вновь отводится роль арены научного партнерства. Космические державы демонтируют свои арсеналы и переключаются на исследования и мирное освоение космоса. Приоритетом становится глобальная стабильность. Военная напряженность между США и Китаем снижается. Начинается эпоха активной демилитаризации и международного сотрудничества. Технологии ИИ остаются в повестке, но темпы их развития оказываются ниже ожидаемых ввиду связанных с этими разработками этических проблем и высоких затрат. Кибербезопасность и манипулирование данными регулируются международными стандартами, направленными на защиту цифровых прав и обеспечение конфиденциальности.

Следствия для малых стран. Возникает необходимость в разработке адаптационной политики по от-



ношению к технологическим инновациям, обеспечивающей этическое развитие технологий, расширение космического партнерства и защиту цифровой конфиденциальности. Ослабление милитаризованности глобального ландшафта расширяет кооперационные возможности для небольших государств.

Сценарий «Битвы на земле и технологии в резерве»

В последнем сценарии милитаризация космоса достигает максимального уровня, в то время как развитие цифровых технологий, особенно связанных с ИИ, замедляется. Описывается будущее, в котором война идет как на Земле, так и в космосе, а сильное замедление технологического прогресса в области кибербезопасности делает большинство стран беззащитными перед атаками и дестабилизацией. США и Китай соперничают за контроль над стратегическими ресурсами в космосе, тогда как создание инноваций в области кибербезопасности и манипулирования данными уходит на второй план. Обеим странам придется смягчать последствия потенциальной дестабилизации, вызванной их конкуренцией, через инвестиции в развитие технологических и энергетических инфраструктур. Из объекта мирного освоения космос превращается в поле сражения, с военными базами и спутниками. На Земле также усиливается турбулентность.

Следствия для малых стран. Необходимость сосредоточиться на укреплении как традиционной, так и цифровой обороны.

Общие замечания и политические рекомендации для малых государств

Анализ перспектив развития ИИ и геополитики в период до 2050 г. показал, что ИИ становится главным фактором динамики соотношения сил в мире. Представленные в статье сценарии иллюстрируют различные пути, по которым могут пойти США и Китай: от кибервойны и милитаризации космоса до сотрудничества и активной демилитаризации. Для небольших стран в любом сценарии подчеркивается необходимость проведения активной политики кибербезопасности, управления ИИ и космической дипломатии. Стратегическая дальновидность и гибкость станут ключевыми факторами, которые позволят им противостоять новым вызовам и использовать открывающиеся возможности. Политические рекомендации кратко представлены в табл. 2.

Выводы

В настоящем исследовании проанализирована роль ИИ в будущих конфликтах между США и Китаем. Теоретической и методологической основой анализа влияния ИИ на геополитическую конкуренцию стала

Табл. 2. Рекомендации для малых стран, по направлениям	
Ключевая идея	Рекомендуемые меры
1. Укрепление национальной кибербезопасности	
В условиях все более активного использования ИИ в конфликтах приоритетом становится кибербезопасность	- Разработка национальной стратегии кибербезопасности для защиты критической инфраструктуры. - Участие в региональных и международных инициативах в области кибербезопасности. - Подготовка специалистов по кибербезопасности и передовым технологиям для защиты от потенциальных атак.
2. Регулирование и управление ИИ	
Развитие ИИ несет риски для суверенитета малых государств	- Создание нормативных структур, способствующих прозрачному и ответственному использованию ИИ. - Участие в разработке международных стандартов для ИИ. - Стимулирование исследований в области ИИ на местном уровне и через международные партнерства, для снижения технологической зависимости.
3. Подготовка к сценариям милитаризации космоса	
Космос — новая арена геополитической конкуренции	- Разработка специальных политических инициатив для защиты национальных интересов в области связи и космической безопасности. - Стимулирование международного сотрудничества в космической области для извлечения максимальных преимуществ от использования передовых технологий. - Подготовка специалистов по космическому праву для участия в международных переговорах.
4. Стимулирование стратегического партнерства в сфере безопасности и обороны	
Стратегические партнерства могут повысить обороноспособность малых государств	- Участие в региональных военных учениях для развития возможностей реагирования на угрозы. - Разработка адаптивной стратегии обороны, учитывающей использование новых технологий, таких, как БПЛА и ИИ. - Укрепление связи с ключевыми игроками на мировой арене для обеспечения баланса в отношениях с мировыми державами, такими, как США и Китай.
5. Разработка многомерного подхода к национальной обороне	
Стратегии обороны должны предусматривать как традиционные средства, так и системы кибербезопасности и ИИ	- Формирование в рамках национальной стратегии обороны специальных подразделений кибербезопасности. - Координация работы государственных органов, частного сектора и академических учреждений по подготовке комплексной стратегии обороны. - Мониторинг глобальных тенденций технологического развития и безопасности для адаптации оборонных стратегий.
Источник: составлено автором.	

интеграция концепций реализма и стратегического Форсайта. Подобный подход, подкрепленный экспертными оценками, обеспечил комплексную структуру для разработки сценариев до 2050 г., которые предоставляют информационную основу для лиц, принимающих решения. Сравнительный анализ выявил существенные различия между стратегиями указанных стран, подходами и бэкграундом в развитии технологий ИИ. Эта вариативность выражается в подходах к использованию ИИ на поле боя. Если для США приоритетом является применение ИИ для летальных атак, то Китай фокусируется на блокировках сил противника и контроле информационной войны. Игрокам предстоит более четко определиться с философией развития оборонного ИИ с учетом постоянно меняющегося общего социально-технологического контекста. От этого будут зависеть характер дальнейшего наращивания потенциала ИИ и основные направления его реализации.

Разработанные сценарии описывают, как ИИ может изменить геополитическую динамику и военные стратегии указанных держав в разных направлениях: от достижения технологического превосходства до демилитаризации и надежной цифровой защиты. Они представляют собой не только структурированные картины возможного будущего, но и стратегическую канву для разработки эффективной политики национальной безопасности, адаптированной под постоянно меняющийся международный ландшафт. Настоящая статья вносит вклад в заполнение пробела в литературе о влиянии ИИ на будущие конфликты и закладывает основу для дальнейших исследований в этой важной области.

Результаты анализа свидетельствуют, что в рассматриваемой перспективе ИИ будет играть ключевую роль в возможных конфликтах США и Китая и определять глобальную динамику соотношения сил. В данном контексте существуют серьезные вызовы, особенно для стран с ограниченным геополитическим влиянием, поскольку им приходится ориентироваться во все более сложной среде, сформированной технологической конкуренцией. ИИ не только открывает новые возмож-

ности, но и создает риски национальной безопасности и стабильности, что обуславливает необходимость разработки дальновидных политических стратегий.

В поиске своего пути развития в контексте стремительного распространения новых технологий и геополитического соперничества США и Китая малые страны имеют дело как с препятствиями, так и с возможностями. Учитывая перечисленные факторы, их подход к управлению ИИ должен характеризоваться гибкостью и адаптивностью, основываться на стратегическом Форсайте. Предвосхищение перемен и проактивная подготовка к ним помогут менее сильным государствам защитить национальные интересы, способствуя повышению глобальной стабильности в эпоху ИИ.

Предложенные в исследовании рекомендации направлены на то, чтобы «выровнять игровое поле» и помочь малым странам не только решать проблемы, связанные с развитием ИИ в военной сфере, но и использовать возможности, возникающие в результате технологических сдвигов. Повышение гибкости и участие в международном сотрудничестве по управлению ИИ создают основу для укрепления их позиций в меняющемся мировом порядке.

Конечная цель предложенных рекомендаций — смягчить риски, связанные с применением ИИ, и при этом максимально увеличить потенциальные преимущества в области безопасности и стратегического развития. Полученные выводы могут служить для менее влиятельных стран полезной информационной основой, позволяя им разрабатывать политику национальной безопасности даже в условиях институциональных и инфраструктурных ограничений. Реализация соответствующих стратегий будет способствовать формированию безопасного, конкурентного и стратегически сбалансированного глобального ландшафта. Более того, прокладывая курс в формирующейся под влиянием ИИ сложной геополитической ситуации с помощью Форсайта и в сотрудничестве с другими государствами, малые страны могут усилить свое влияние и обеспечить долгосрочную стабильность в мире, где технологии играют все более важную роль.

Библиография

- Boulanin V., Saalman L., Topychkanov P., Su F., Carlsson M.P. (2020) *Artificial Intelligence, Strategic Stability, and Nuclear Risk*, Stockholm: Stockholm International Peace Research Institute.
- Cheung T.M. (2022) *Innovate to Dominate the Rise of the Chinese Techno-Security State*, Ithaca, NY: Cornell University Press.
- De Jouvenel B. (1964) *L'art de la conjecture*, Monaco: Ed du Rocher.
- Fernández-Montesinos F. (2019) *La inteligencia artificial como factor geopolítico*, Madrid: Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- Gardner N. (2021) Clausewitzian Friction and Autonomous Weapon Systems. *Comparative Strategy*, 40(1), 186–198. <https://doi.org/10.1080/01495933.2021.1853442>
- Godet M. (1994) *From Anticipation to Action: A Handbook of Strategic Prospective*, Paris: UNESCO.
- Godet M., Durance P. (2011) *Strategic foresight: For corporate and regional development*, Paris: UNESCO.
- He T., Ji Y. (2023) China's Techno-Economic Statecraft Amid US-China Strategic Rivalry: AI and the "New Whole-State System". *Orbis*, 67(4), 605–625. <https://doi.org/10.1016/j.orbis.2023.08.008>
- Horowitz M., Kania E.B., Allen G.C., Scharre P. (2018) *Strategic Competition in an Era of Artificial Intelligence*. Washington, D.C: Center for a New American Security (CNAS).
- Horowitz M., Kahn L., Mahoney C. (2020) The Future of Military Applications of Artificial Intelligence: A Role for Confidence-Building Measures? *Orbis*, 64(4), 528–543. <https://doi.org/10.1016/j.orbis.2020.08.003>

- Hunter L.Y., Albert C.D., Henningan C., Rutland J. (2023) The military application of artificial intelligence technology in the United States, China, and Russia and the implications for global security. *Defense & Security Analysis*, 39(2), 207–232. <https://doi.org/10.1080/14751798.2023.2210367>.
- Johnson J. (2019) Artificial intelligence and future warfare: Implications for international security. *Defense & Security Analysis*, 35(2), 147–169. <https://doi.org/10.1080/14751798.2019.1600800>
- Johnson J. (2020) Artificial Intelligence in Future Hyper-Warfare: A Perfect Storm of Instability? *The Washington Quarterly*, 43(2), 197–211. <https://doi.org/10.1080/0163660X.2020.1770968>
- Johnson J. (2021) *Artificial intelligence and the future of warfare: The USA, China, and strategic stability*, Manchester: Manchester University Press.
- Larson E. (2021) *The Myth of Artificial Intelligence*, Cambridge, MA: Belknap.
- Lu S.-M. (2021) The CCP's Development of Artificial Intelligence: Impact on Future Operations. *Journal of Social and Political Sciences*, 4(1), 93–105. <https://doi.org/10.31014/aior.1991.04.01.255>
- Malmio I. (2023) Ethics as an enabler and a constraint – Narratives on technology development and artificial intelligence in military affairs through the case of Project Maven. *Technology in Society*, 72, 102193. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102193>
- Mearsheimer J. (2014) *The Tragedy of Great Power Politics*, New York: Norton & Company.
- Mojica F.J. (2005) *La Construcción del futuro: Concepto y modelo de prospectiva estratégica, territorial y tecnológica*, Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Morgan F.E., Boudreaux B., Lohn A.J., Ashby M., Curriden C., Klima K., Grossman D. (2020) *Military Applications of Artificial Intelligence: Ethical Concerns in an Uncertain World*, Santa Monica, CA: RAND Corporation.
- Morgenthau H. (2005) *Politics Among Nations: The Struggle for Power and Peace* (7th ed.), New York: McGraw Hill Education.
- Mori S. (2018) US Defense Innovation and Artificial Intelligence. *Asia-Pacific Review*, 25(2), 16–44.
- Payne K., Warbot I. (2021) *The Dawn of Artificially Intelligent Conflict*, New York: Oxford University Press.
- PWC (2017) *Sizing the prize: What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?*, London: PWC.
- Schwartz P. (1997) *The Art of the Long View: Planning For the Future in an Uncertain World*, New York: John Wiley & Sons.
- Tsoukas H.T., Shepherd J. (2004) Coping with the future: Developing organizational foresightfulness. *Futures*, 36(2), 137–144. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(03\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(03)00146-0)
- Velázquez R., González S. (2016) El realismo clásico. In: *Teorías de las Relaciones Internacionales en el siglo XXI: Interpretaciones críticas desde México* (eds. J.A. Schiavon Uriegas, A.S. Ortega Ramírez, M. López-Vallejo Olvera, R. Velázquez Flores), México: AMEI, pp. 285–295.
- Viglione G. (2020) China is closing gap with United States on research spending. *Nature News*, 15.01.2020. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00084-7>
- Waltz K. (1979) *Theory of International Politics*, New York: McGraw-Hill.
- Whitehead A. (1967) *Modes of Thought*, New York: MacMillan Company.

Как транспорт на альтернативном топливе трансформирует рынки цветных металлов: сценарный подход

Игорь Макаров

Руководитель, департамент мировой экономики; доцент, факультет мировой экономики и мировой политики, imakarov@hse.ru

Григорий Баранов

Магистрант, факультет мировой экономики и мировой политики, baranovg@mail.ru

Матвей Чистиков

Аспирант, факультет мировой экономики и мировой политики, департамент международных отношений, mchistikov@hse.ru

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Москва, ул. Мясницкая, 20

Аннотация

Развитие технологий, обеспокоенность климатическими изменениями и стремление многих стран сократить выбросы парниковых газов за последнее десятилетие существенно повысили мировой спрос на автомобили на альтернативных видах топлива. Наиболее перспективной заменой традиционному углеводородному транспорту выглядят электромобили, включая полностью электрические модели (BEV) и подзаряжаемые гибриды (PHEV). На некоторых региональных рынках электротранспорт, вероятно, выйдет на лидирующие позиции уже в 2030-е гг. Вместе с тем, в отличие от машин с двигателем внутреннего сгорания, производство электромобилей требует более широкого

спектра цветных металлов, что может ограничить дальнейшую электрификацию транспорта.

С помощью сценарного подхода в статье проанализирована динамика рынка электромобилей и рассчитана потребность в ключевых металлах для каждого сценария. Результаты показывают, что до 2050 г. ускоренное развитие электротранспорта окажет значительное влияние на рынок кобальта, умеренное — на рынки лития, никеля и меди, незначительное — на рынки марганца и алюминия. Распространение электромобилей в ближайшие десятилетия создает для стран — экспортеров цветных металлов, включая Россию, существенные возможности наращивания поставок на мировые рынки.

Ключевые слова: альтернативные топлива; электромобили; полностью электрические автомобили; подзаряжаемые гибридные автомобили; рынок цветных металлов

Цитирование: Makarov I., Baranov G., Chistikov M. (2025) Scenarios of Development for Non-Ferrous Metal Markets amid the Spread of Alternative Fuel Vehicles. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 28–41. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.24480>

Scenarios of Development for Non-Ferrous Metal Markets amid the Spread of Alternative Fuel Vehicles

Igor Makarov

School Head, School of World Economy; Associate Professor, Faculty of World Economy and International Affairs, imakarov@hse.ru

Grigory Baranov

Master Student, Faculty of World Economy and International Affairs, baranovg@mail.ru

Matvey Chistikov

Doctoral Student, Faculty of World Economy and International Affairs, Department of International Affairs, mchistikov@hse.ru

National Research University Higher School of Economics (HSE University), 20 Myasnitskaya Str., Moscow 101000, Russian Federation

Abstract

Advances in technology, growing concern about climate change, and the setting of greenhouse gas emission reduction targets in many countries have contributed to a significant increase in the demand for alternative fuel vehicles globally over the last decade. Electric vehicles, which include all-electric vehicles (BEVs) and plug-in hybrids (PHEVs), are the most promising alternative to conventional hydrocarbon vehicles. It is very likely that in some regions of the world electric vehicles will dominate the market as early as the 2030s. However, compared to internal combustion engine vehicles, the production of electric vehicles requires a wider range of non-ferrous metals, which may become one of the bottlenecks for further

electrification of transportation. This paper presents a scenario analysis of the development of the electric vehicle market, and then calculates the key metal requirements for each of the scenarios considered. The results of this analysis reveal that, between now and 2050, the accelerating spread of electric vehicles will have a significant impact on the cobalt market, a moderate impact on the lithium, nickel, and copper markets, and a minor impact on the manganese and aluminum markets. The results of the analysis demonstrate that the increasing use of electric vehicles in the coming decades opens up significant opportunities for countries specializing in the production of non-ferrous metals, including Russia, to increase their supply to global markets.

Keywords: alternative fuels; electric vehicles; all-electric vehicles; plug-in hybrid vehicles; non-ferrous metal market.

Citation: Makarov I., Baranov G., Chistikov M. (2025) Scenarios of Development for Non-Ferrous Metal Markets amid the Spread of Alternative Fuel Vehicles. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 28–41. <https://doi.org/10.17323/fstg.2025.24480>

Транспорт — вторая после энергетики отрасль по выбросам парниковых газов, особенно CO₂. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в 2023 г. на транспортный сектор приходилось 21.8% мировой эмиссии CO₂, причем доля автомобильного транспорта составляла около 75% этих выбросов (IEA, 2024).

Электромобили с нулевыми прямыми выбросами парниковых газов рассматриваются как главный способ уменьшения углеродного следа транспортной отрасли (IPCC, 2022). Однако в сравнении с машинами, оснащенными двигателем внутреннего сгорания (ДВС), электротранспорт обладает конструкционными, технологическими и эксплуатационными особенностями, ограничивающими его массовое внедрение. Одним из ключевых сдерживающих факторов выступает производство компонентов с применением материалов, которые прежде либо не использовались в автомобилестроении, либо задействовались в значительно меньших объемах. В первую очередь это касается определенных цветных металлов.

По мере распространения и ужесточения углеродно-го регулирования на мировых рынках возрастет спрос на автомобильный транспорт с низким уровнем эмиссии парниковых газов, особенно на электромобили как сегмент с наибольшим потенциалом. Их внедрение, поддерживаемое государственными субсидиями, приведет к снижению себестоимости производства и эксплуатационных расходов благодаря эффекту масштаба. Такие изменения неизбежно окажут существенное влияние на рынки металлов. Вместе с тем возможно и обратное воздействие: динамика цен на металлы будет влиять на глобальные перспективы развития электрического транспорта.

Воздействие электротранспорта на сопряженные отрасли, в том числе на цветную металлургию, широко освещается в академических исследованиях и отраслевой аналитике. Ценность подобных работ во многом зависит от актуальности данных (становление рынка электромобилей началось лишь во второй половине 2010-х гг.) и применяемых моделей. В исследовании (Xu et al., 2020) рассмотрены три наиболее вероятных сценария развития технологий аккумуляторных батарей для электромобилей, вероятность их реализации и прогнозируемый спрос на некоторые цветные металлы. Для моделирования траектории распространения автомобильного электротранспорта, включая полностью электрические модели (Battery Electric Vehicle, BEV) и подзаряжаемые гибриды (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV), авторы опирались на показатели парка автомобилей и сценарные оценки МЭА (IEA, 2020), а также ряд долгосрочных факторов (Xu et al., 2020).

В аналитическом докладе BloombergNEF по итогам 2023 г. перспективы рынка электромобилей представлены в двух вариантах — Economic Transition Scenario (ETS) с преобладанием рыночных стимулов без существенных регуляторных изменений и Net Zero 2050 — достижение углеродной нейтральности глобального автопарка к 2050 г. В менее амбициозной версии ETS доля электромобилей в глобальных продажах легкового

сегмента оценивается в 73% к 2040 г. Для создания углеродно нейтрального автопарка к 2050 г. продажи автомобилей на ископаемом топливе должны полностью прекратиться к 2038 г. Прогнозируется значительный рост потребностей в литии, меди, алюминии и никеле, необходимых для обеспечения достаточного уровня выпуска аккумуляторных батарей. Для качественной оценки спроса на цветные металлы в докладе сопоставляются кумулятивная потребность с объемами запасов, а также с планируемыми производственными мощностями (BloombergNEF, 2023; 2024).

В настоящем исследовании рассматриваются возможные изменения на глобальных рынках цветных металлов на базе трех сценариев роста электромобильного сегмента. Сценарии представлены как для самого рынка электротранспорта, так и для производного спроса на металлы, необходимые для создания компонентов. Для оценки динамики глобального рынка электромобилей на долгосрочном горизонте до 2050 г. применяются методы моделирования развития подрывных технологий на базе сценарного анализа и с опорой на последние доступные данные за 2024 г. Расчет кумулятивного спроса на цветные металлы выполнен с детализацией по типам аккумуляторных батарей, в производстве которых они применяются. Степень воздействия электротранспорта на рынки цветных металлов оценивается на основе критериев, предложенных в различных источниках.

Цель статьи — на базе сценарного анализа выявить, на рынок каких цветных металлов развитие электромобилей окажет наибольшее влияние и, следовательно, дефицит каких металлов может сдерживать развитие электротранспорта. Этой цели подчинена структура исследования. Во втором разделе сопоставляются основные виды альтернативных топлив для автомобилей и обосновывается перспектива замещения электромобилями транспорта на традиционных углеводородах. В третьем разделе моделируется динамика автомобильного рынка и проводится сценарный анализ развития электромобильного сегмента на основе концепции S-кривой, ретроспективных данных и ряда долгосрочных факторов. Четвертый раздел посвящен оценке кумулятивного спроса на цветные металлы, применяемые при производстве ключевых компонентов электромобилей, и эффекта переориентации потребителей на электротранспорт для отраслевых рынков. В заключении обобщаются результаты сценарного анализа и выделяются компенсаторные механизмы на исследуемых рынках.

Потенциал автомобилей на альтернативном топливе

В структуре эмиссии парниковых газов от автомобильного транспорта преобладают прямые выбросы веществ, образующихся при сгорании углеводородного топлива. Снижение углеродного следа автомобилей направлено прежде всего на отказ от традиционных видов горючего: бензина, дизеля и других нефтепродуктов. Без декарбонизации транспортной отрасли достижение глобальных и национальных климатических

целей практически невозможно. Страны с активной климатической повесткой (в частности, правительства Европейского Союза (ЕС), Великобритании и Канады) уже объявляют о планах запрета автомобилей с ненулевыми выбросами, а некоторые компании — о намерениях сократить выпуск машин с ДВС (IEA, 2023; IEA, 2024). Следствием этих процессов становится масштабное применение альтернативных видов топлива и рост спроса на них.

Анализ жизненного цикла существующих видов альтернативного топлива позволяет выявить ряд серьезных экологических ограничений в их применении.

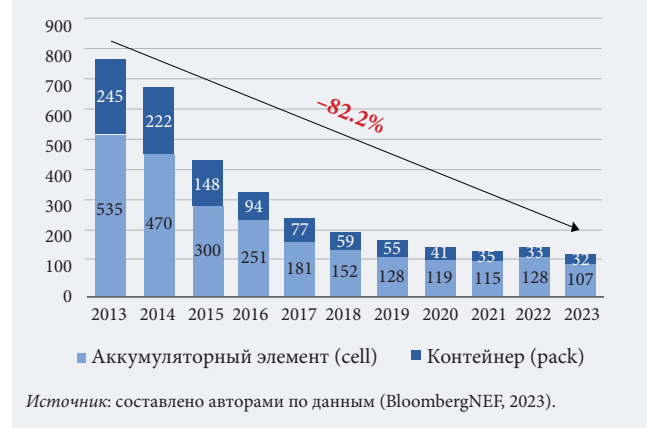
Во-первых, заменой бензину и дизелю могут служить природный газ, пропан, спирты и их производные, компоненты синтетических топлив, смеси с традиционным горючим и т. д. Однако при их сгорании также образуются парниковые газы — CO_2 , CH_4 (метан) и N_2O (оксид азота), что противоречит глобальным целям по снижению выбросов, достижению углеродной нейтральности и удержанию прироста глобальной средней температуры в пределах $1.5\text{--}2^\circ\text{C}$ сверх доиндустриальных уровней (согласно Парижскому соглашению 2015 г.).

Во-вторых, хотя существуют автомобили на биотопливе, многие технологии его производства основаны на переработке растительного сырья (сахарного тростника, кукурузы, сои), пригодного для питания людей и животных (биотопливо первого поколения)¹. Применение биотоплива в транспортной отрасли снижает углеродный след, но в отдельных случаях может противоречить принципу социальной ответственности и задаче искоренения голода, включенной в перечень Целей устойчивого развития ООН². В перспективе производство и массовое распространение таких видов топлива как основной замены традиционному топливу может быть ограничено или запрещено.

В случае продвинутых биотоплив из непищевого сырья (отработанных жиров и масел, древесной биомассы, органических отходов, водорослей) и углеродонейтральных синтетических топлив высокая капиталоемкость производства и недостаточные мощности снижают их перспективность с точки зрения масштабного уменьшения углеродоемкости автотранспорта в среднесрочном периоде (IEA, 2024). До 2050 г. автомобили на таких топливах уступают электрическим и водородным аналогам по возможностям сокращения совокупной стоимости владения (ССВ) (Хомутов и др., 2021). Углеродонейтральные синтетические топлива практически отсутствуют на рынке, а планируемые производственные мощности для их выпуска на порядки меньше текущих потребностей экономики (Krajinska, 2021).

В-третьих, сегмент водородных электромобилей, несмотря на свой потенциал, развивается медленно из-за ограниченных объемов выпуска и специфики водорода как энергоносителя. Выпуск систем топливных элементов представляет собой технологически сложный

Рис. 1. Средневзвешенная стоимость компонентов аккумуляторной батареи — электрохимического элемента и контейнера/упаковки (долл./кВт*ч)



процесс с применением дорогостоящих металлов платиновой группы — их себестоимость сравнима с ценой малогабаритного автомобиля с ДВС. Кроме того, в отличие от стандартных видов топлива, химико-физические характеристики водорода требуют трансформации всей логистической цепи: транспортировки, хранения и заправки. При низких показателях продаж рентабельность заправочных комплексов и других инфраструктурных проектов остается недостаточной (Хомутов и др., 2021). Неэффективность проявляется и в производстве: низкий спрос сдерживает инвестиции в новые мощности и оптимизацию процессов, что ведет к удорожанию водородного топлива, автомобилей на нем и подрывает конкуренцию. В свою очередь, высокая ССВ и слаборазвитая инфраструктура тормозят формирование массового спроса на водородные электромобили. Возникает порочный круг, для преодоления которого требуется внедрение комплексных нерыночных механизмов поддержки.

Наибольшим потенциалом среди транспорта на альтернативных видах топлива сегодня обладают электромобили BEV и PHEV. В первых аккумуляторная энергия преобразуется электродвигателем в механическую работу; во вторых — электромотор дополняет ДВС, который задействуется при исчерпании заряда аккумулятора.

Потенциал электромобилей обусловлен двумя ключевыми факторами. Во-первых, ежегодным снижением стоимости благодаря удешевлению компонентов, прежде всего аккумуляторных батарей (рис. 1), и эффекту масштаба (через распределение постоянных капитальных затрат на большее количество машин). На этапе внедрения электротранспорта на национальных рынках важную роль играют программы субсидирования покупки автомобилей с низким углеродным следом

¹ https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/3878201, дата обращения 15.03.2025.

² <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>, дата обращения 15.03.2025.

(опыт ЕС, США и Китая). Удешевление также происходит за счет конкуренции между автопроизводителями по мере расширения рынка (IEA, 2023).

Во-вторых, прямой углеродный след при эксплуатации электромобиля минимален, поскольку преобразование электроэнергии в механическую работу не сопровождается химическими реакциями горения и выбросом CO₂. Косвенный углеродный след, возникающий при сжигании ископаемых топлив для генерации электроэнергии, пока значителен, но будет сокращаться с развитием низкоуглеродной возобновляемой энергетики.

Помимо рассмотренных типов электротранспорта, на рынке представлены различные промежуточные варианты, например гибриды (Hybrid Electric Vehicle, HEV), основным силовым агрегатом в которых выступает ДВС, а аккумулятор заряжается только при эксплуатации машины без подключения к внешнему источнику электроэнергии. Такие модификации конструктивно близки к традиционным автомобилям и из-за высокого уровня прямых выбросов не будут классифицироваться как электромобили и учитываться в дальнейшем анализе. В долгосрочных прогнозах МЭА и BloombergNEF доля BEV в продажах будет расти, а PHEV — постепенно снижаться (IEA, 2024; BloombergNEF, 2024).

Текущее состояние и специфика рынка электромобилей

Становление рынка BEV началось в 2010-е гг. вслед за развитием технологий аккумулирования электроэнергии, прежде всего перезаряжаемых литий-ионных батарей в бытовой технике и электронике. По сравнению с другими распространенными типами — свинцовыми и никелевыми аккумуляторами, литиевые отличаются большей удельной энергоемкостью по массе и объему, а также сроком службы, т. е. сохранением рабочих характеристик на большем числе циклов зарядки-разрядки (Liang et al., 2019). Их легкость и компактность позволили расширить применение в автомобилестроении без значительных конструктивных изменений.

К настоящему времени электромобили стали наиболее динамично растущим сегментом легкового авто-транспорта. В 2020 г. прирост продаж составил 43% г/г на фоне снижения мирового спроса на легковые автомобили на 16%. В 2021 г. этот показатель превысил 120% г/г в ситуации дефицита комплектующих из-за пандемии. В 2022 г. он снизился до 55% г/г в условиях геополитической нестабильности и нарушения глобальных цепочек поставок. В 2023 г. прирост замедлился до 35% вследствие сокращения программ субсидирования покупки электромобилей на ряде крупных рынков и ограниченного проникновения на рынки развивающихся стран (IEA, 2024). В результате доля этого сегмента в мировых продажах легковых автомобилей выросла с 2.8% в 2019 г. до более 18% в 2023 г.³ (рис. 2).

Рис. 2. Динамика глобальных продаж легковых электромобилей в 2011–2023 гг. (млн ед.)



Ключевыми драйверами спроса остаются прямые субсидии и налоговые вычеты на покупку электро-мобилей на крупнейших рынках Европы, Северной Америки и Азии, эффект масштаба и высокие цены на ископаемое топливо (IEA, 2023). Также наблюдается переток долгосрочных инвестиций из сегмента автомобилей на традиционном топливе в новые производства электротранспорта, обусловленный курсом на декарбонизацию. Стремительное проникновение BEV сопровождается развитием соответствующей инфраструктуры: электрических зарядных станций (ЭЗС) и специализированных сервисных центров. К началу 2024 г. число публичных ЭЗС в мире достигло 3.9 млн (IEA, 2024).

Доля BEV растет и в коммерческом сегменте, достигнув 3.4% продаж в 2023 г. Однако требования к повышенной дальности хода и приоритет грузоподъемности ограничивают применение аккумуляторных батарей как источника энергии (рис. 3). Ускорению электрификации этих сегментов будет способствовать рост энергоемкости аккумуляторов и плотности сети ЭЗС сверх-высокой мощности.

Несмотря на значительный рост доли электромоби-лей в глобальном масштабе, их географическое распре-деление остается неравномерным. На Китай, Европу и Северную Америку приходится около 95% всех продаж легковых электромобилей и более 85% — в коммерче-ском сегменте (рис. 4). Китай выступает абсолютным мировым лидером по продажам электротранспорта в обоих сегментах. В 2023 г. его доля в реализации легко-вых электромобилей достигла 60%, в коммерческом сег-менте — около 55%.

Лидерство Китая носит устойчивый характер благо-даря сочетанию нескольких факторов: программы госу-дарственной поддержки покупателей и производителей на этапе становления рынка, значительного контроля над глобальными цепочками поставок критических

³ Рынок легковых автомобилей анализируется нами на базе данных OICA, скорректированных для Северной Америки из-за особенностей статистического учета крупногабаритных внедорожников и пикапов. Эти транспортные средства широко используются в регионе как личный транспорт, но не включаются в легковой сегмент.

Рис. 3. Динамика глобальных продаж коммерческих электромобилей в 2011–2023 гг. (млн ед.)



металлов и минералов для аккумуляторных батарей, а также масштабного развития внутреннего производства электромобилей разных классов.

Доли Европы и США с Канадой в продажах легковых электромобилей в 2023 г. составили 23% и 11% соответственно. В коммерческом сегменте, помимо Китая и Европы, заметна доля Южной Кореи, где активно растут продажи легких коммерческих электромобилей (LCV) и электробусов от национальных автоконцернов Kia и Hyundai.

Сценарии развития рынка электромобилей

При построении сценариев для последующего анализа рынков цветных металлов использовались следующие ключевые параметры:

1. Целевой моделируемый параметр — глобальный объем продаж новых электромобилей (BEV и PHEV).
2. В основу модели положена концепция S-кривой, математически выражаемая сигмовидной функцией.

Данный подход продемонстрировал высокую точность в исследованиях подрывных технологий и, в частности, электромобилей (Foster, 1986; Geroski, 2000; Mahajan, Muller, 1979).

3. Временной горизонт анализа — период до 2050 г. Этот рубеж служит ориентиром для большинства долгосрочных целей по сокращению выбросов парниковых газов в рамках международных климатических соглашений и национальных программ декарбонизации.

4. Нами построены три сценария — траектории развития рынка электромобилей. Каждый сценарий характеризуется факторами, влияющими только на скорость распространения электромобилей, при этом сам факт увеличения доли электротранспорта рассматривается как устойчивый долгосрочный тренд. Подробное описание различий в сценариях представлено в табл. 1.

5. Учитывая неоднородность рынка электромобилей и различия в транспортных моделях и государственных политиках разных стран, для определения объема глобального спроса агрегируются результаты моделирования на региональных рынках. Особенности последних представлены в табл. 2 и 3.

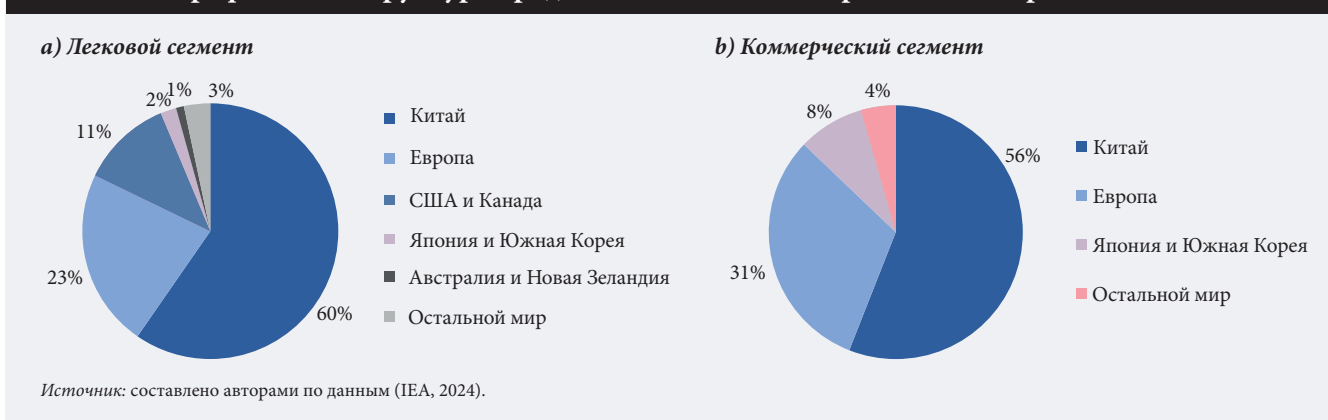
6. Распределение долей рынка между BEV и PHEV осуществляется на основе исторической динамики и соответствующих оценок МЭА для 2025, 2030 и 2035 гг. (IEA, 2024)

7. Моделирование продаж проводится отдельно для легкового и коммерческого сегментов.

В сценарном анализе применены исторические данные о продажах новых электромобилей за 2012–2023 гг. от МЭА (IEA, 2024) и Ассоциации европейских производителей автомобилей (European Automobile Manufacturers' Association, ACEA)⁴; сведения о реализации всех типов автомобилей за 2005–2023 гг. от Международной организации производителей автомобилей (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, OICA) (OICA, 2024) и аналитических агентств (S&P Global, 2024). Их агрегирование проведено согласно описанной методике.

Рассмотрим поэтапно моделирование глобальных объемов продаж новых электромобилей.

Рис. 4. Географическая структура продаж легковых и коммерческих электромобилей в 2023 г.



⁴ <https://www.acea.auto/nav/?content=publications>, дата обращения 15.03.2025.

Табл. 1. Описание сценариев развития рынка электромобилей

Конфигурация модели	Характеристики модели и сценария	Примеры использования
Сценарий 1. Обобщенная логистическая функция		
$s(t) = \frac{1}{(1 + e^{-bt})^{1/\theta}}$ t — порядковый номер года (за 1 принимается первый год временного ряда); $s(t)$ — доля электромобилей в продажах в момент t; $b > 0$ — параметр, определяющий темп роста; $\theta > 0$ — параметр, влияющий на изменение кривизны функции (значение функции в точке перегиба) и, соответственно, на темп роста функции у асимптот.	— Обобщенная сигмоидная функция с гибкой настройкой формы S-кривой. Характеризуется гибкой подстройкой формы S-кривой под исторические данные и плавающим значением ординаты точки перегиба функции. — Низкая вероятность соблюдения заявленных сроков по запрету продаж автомобилей с ДВС. — Постепенное увеличение доли BEV и снижение доли PHEV.	Оценка уровня автомобилизации в Китае (Huo, Wang, 2012)
Сценарий 2. Функция Гомпертца		
$s(t) = e^{-be^{-ct}}$ t — порядковый номер года (за 1 принимается первый год временного ряда); $s(t)$ — доля электромобилей в продажах в момент t; $b > 0$ — параметр, определяющий темп роста; $c > 0$ — параметр, определяющий смещение функции по оси абсцисс.	— Разновидность несимметричной (относительно точки перегиба) сигмоидной функции, которая характеризуется быстрым ростом на начальном этапе распространения технологии и плавным замедлением темпов после достижения точки перегиба функции. — Замедление распространения электромобилей при сворачивании мер господдержки. — Низкая вероятность соблюдения заявленных сроков по запрету продаж автомобилей с ДВС. — Постепенное увеличение доли BEV и снижение доли PHEV.	— Моделирование размера автомобильного рынка в Китае (Qian, Soopramanien, 2014) — Моделирование продаж электромобилей в 20 крупных странах (Kumar et al., 2022) — Моделирование уровня автомобилизации в 59 странах (Rota et al., 2016)
Сценарий 3. Стандартная логистическая функция		
$s(t) = \frac{1}{1 + ae^{-bt}}$ t — порядковый номер года (за 1 принимается первый год временного ряда); $s(t)$ — доля электромобилей в продажах в момент t; $a > 0$ — параметр, определяющий точку пересечения графика функции с осью ординат (смещение по оси абсцисс); $b > 0$ — параметр, определяющий темп роста.	— Стандартная логистическая функция характеризуется симметричной формой S-кривой относительно точки перегиба с постоянным значением ординаты 50%, а также более крутым наклоном графика функции на моделируемом временном горизонте. — Ускоренные темпы роста доли электромобилей и отказа от автомобилей на ископаемом топливе, в т. ч. соответствующие заявленным срокам полной декарбонизации транспорта. — Ускоренное увеличение доли BEV и снижение доли PHEV.	— Моделирование размера автомобильного рынка в Китае (Qian, Soopramanien, 2014) — Моделирование продаж электромобилей в 20 крупных странах (Kumar et al., 2022) — Моделирование парка электромобилей в 26 странах из разных регионов мира (Rietmann et al., 2020)

Источник: составлено авторами.

Табл. 2. Региональные рынки электромобилей и их специфика: легковой сегмент

Региональный рынок	Специфика
Китай	Крупнейший мировой рынок электромобилей в абсолютном выражении, центр сосредоточения глобальных производственных мощностей комплектующих
Скандинавия+	Страны-лидеры по уровню проникновения электротранспорта. Включает Данию, Исландию, Норвегию, Финляндию и Швецию
Европа со сформировавшимся рынком электромобилей	Зрелый рынок электромобилей крупнейших экономик Западной и Центральной Европы
Остальная Европа	Формирующийся рынок электромобилей, преимущественно в странах Восточной Европы и малых европейских государствах
Япония и Южная Корея	Высокоразвитые страны Азии с устоявшимся рынком электротранспорта
США и Канада	Государства Северной Америки с активным распространением электромобилей. Региональная особенность — протяженные маршруты и автомобилецентричная культура
Австралия и Новая Зеландия	Развивающиеся электротранспорт страны с энергетическими ограничениями из-за изолированного географического положения
Остальной мир	Прочие государства, характеризующиеся низким проникновением электромобилей

Источник: составлено авторами.

Табл. 3. Региональные рынки электромобилей и их специфика: коммерческий сегмент

Региональный рынок	Специфика
Китай	Лидер мирового рынка коммерческого электротранспорта, высокие темпы электрификации общественного транспорта
Европа (ЕС + ЕАСТ)	Крупные экономики ЕС и ЕАСТ — второй центр развития коммерческого электротранспорта. Активное масштабирование рынка в Западной и Центральной Европе
Япония и Южная Корея	Азиатские страны с растущим сегментом коммерческого электротранспорта, ведущие автоконцерны обладают компетенциями в производстве электрогрузовиков
Остальной мир	Страны с зачаточным или отсутствующим рынком коммерческого электротранспорта

Источник: составлено авторами.

На первом этапе оценивается объем продаж автомобилей всех типов. До 2031 г. продажи легкового сегмента определяются на базе прогнозов S&P Global по развитию мирового рынка автомобилей массой до 6 т (*light vehicles*) в разрезе анализируемых регионов (S&P Global, 2024). На горизонте 2031–2050 гг. темп прироста продаж в легковом сегменте принимается равным прогнозному темпу прироста ВВП на душу населения. Выбор в качестве прокси-характеристики подушевого ВВП обусловлен тем, что основной спрос на электромобили предъявляют домохозяйства. Продажи в коммерческом сегменте на весь период 2024–2050 гг. моделируются на базе динамики реального ВВП каждого региона путем приравнивания темпов увеличения продаж к темпам роста ВВП. Актуальные оценки долгосрочной динамики реального ВВП до 2060 г. представлены Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) за 2023 г.⁵ Применение данного индикатора обусловлено тем, что коммерческий сегмент сильнее зависит от общеэкономической конъюнктуры и внешнеторговых потоков. Моделирование реализуется отдельно для каждого региона и типа автотранспорта, детали приведены в табл. 2 и 3, результаты — в Приложении 1⁶.

На втором этапе моделируется доля продаж электромобилей в общем объеме реализации автотранспорта на основе концепции S-кривой. Выбор моделирования относительной величины вызван необходимостью корректировки на лимитирующий фактор — объем продаж всех типов автомобилей. Это позволяет избежать нереалистичных прогнозов, превышающих рыночный спрос и производственные возможности автопрома.

Для построения трех траекторий развития рынка электромобилей задействованы различные модификации сигмовидных функций с характерной S-образной формой (табл. 1).

Гибкость функции в Сценарии 1 позволяет точно настроить форму S-кривой под исторические данные, задавая базовую траекторию развития рынка электромобилей при сохранении текущих тенденций. Функция Гомпертца, применяемая в Сценарии 2, отличается быстрым ростом у нижней асимптоты и постепенным замедлением после точки перегиба (фиксированное значение $1/e$). Эта особенность позволяет моделировать ситуацию замедления рынка после сворачивания программ господдержки спроса.

Сценарий 3 представляет оптимистичный вариант развития рынка. Ускоренное проникновение электромобилей может быть обусловлено несколькими факторами:

1) колебаниями цен на углеводородное топливо и прогрессом возобновляемой энергетики, способными быстрее изменить потребительские предпочтения;

2) ростом инвестиций в исследования и разработки (ИиР) для удешевления ключевых компонентов аккумуляторных батарей и снижения стоимости кВт*ч производимой ими энергии;

3) реализацией амбициозных планов по запрету автомобилей на ископаемом топливе благодаря приоритету климатической повестки;

4) усилением внимания к энергобезопасности с расширением спектра энергоносителей.

На этапе моделирования нижняя асимптота функций принимается равной 0 (минимально возможной доле в продажах), верхняя — 1 (максимально возможной доле). Анализ легкового сегмента опирается на исторические данные за 2012–2023 гг., коммерческого — за 2013–2023 гг. Обучение моделей для трех сценариев проводилось с помощью нелинейного метода наименьших квадратов, применяемого для подгонки кривых нелинейного вида.

На завершающем этапе расчетов на базе результатов моделирования общих продаж автомобилей и доли электромобилей вычисляется целевая переменная — объемы реализации новых электромобилей в абсолютном выражении. Итоги моделирования доли электромобилей в продажах по регионам мира приведены в Приложении 2. Графики доли электромобилей в глобальных продажах легковых и коммерческих автомобилей показаны на рис. 5.

На третьем этапе рассматриваются совокупные глобальные продажи электромобилей. На исторических данных за 2012–2023 гг. определено соотношение BEV к BEV+PHEV. Для прогнозирования данной пропорции до 2050 г. задействованы оценки МЭА (IEA, 2023) для 2025, 2030 и 2035 гг. и регрессионный анализ. На базе полученных пропорций проведено разделение глобальных объемов реализации новых электромобилей на BEV и PHEV.

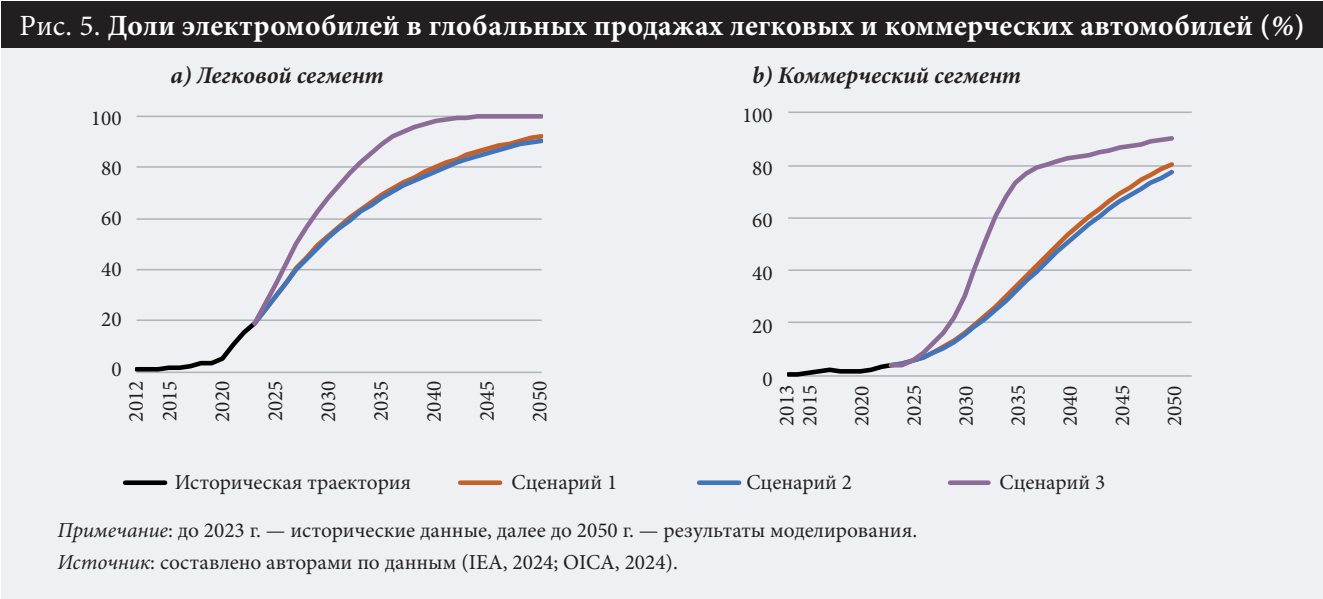
Таким образом, в Сценарии 1 в легковом сегменте доля BEV в глобальных продажах автомобилей вырастет до 42.8% к 2030 г., 74.5% — к 2040 г. и 91.7% — к 2050 г. При этом доля PHEV достигнет пиковых 10.1% в 2029 г., а затем будет постепенно сокращаться вплоть до 2050 г. В коммерческом сегменте доля BEV в продажах составит 76.1% к 2050 г.; доля PHEV — только 3.8% (рис. 5 и 6).

Траектория развития рынка электромобилей, полученная в Сценарии 2, оказалась очень близкой к траектории Сценария 1. В легковом сегменте доля BEV в глобальных продажах может составить 42.2% в 2030 г., 73.1% — в 2040 г. и 90.3% — в 2050 г. Доля PHEV достигнет максимального уровня 10% в 2029 г., а затем также будет постепенно снижаться. В коммерческом сегменте доля BEV в продажах вырастет до 73.1% к 2050 г.; доля PHEV сократится до 3.7% (рис. 5 и 6). Такое сходство результатов сценариев показывает, что динамика исторических данных в значительной мере характерна для паттерна быстрого роста доли электромобилей на начальном этапе и замедления темпов распространения после достижения уровня в 37%, соответствующего значению ординаты точки перегиба функции Гомпертца.

В сценарии 3 ожидается ускорение проникновения обоих типов электромобилей: доля BEV в глобальных

⁵ <https://www.oecd.org/en/data/indicators/real-gdp-long-term-forecast.html?oecdcontrol-ed8cfcb26-var3=2005&oecdcontrol-ed8cfcb26-var4=2060>, дата обращения 15.03.2025.

⁶ Материалы приложений размещены на онлайн-странице статьи: <https://foresight-journal.hse.ru/article/view/24480>



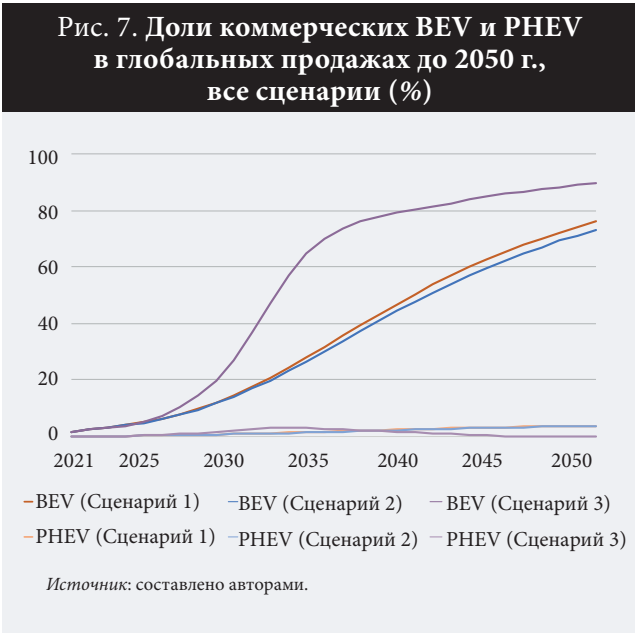
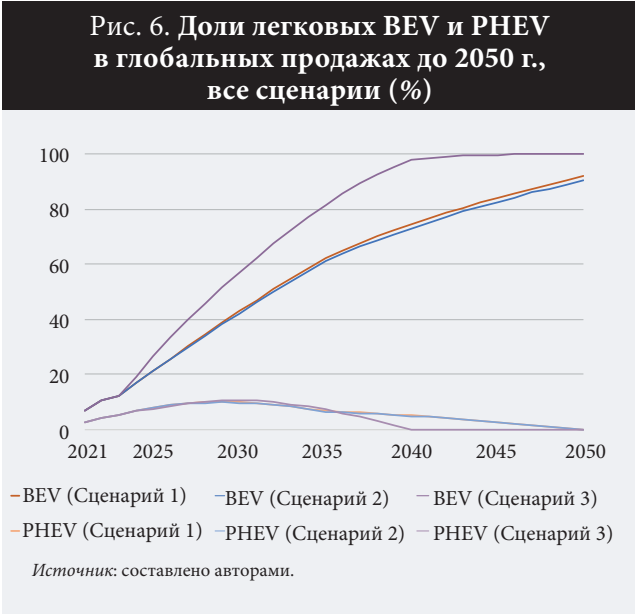
продажах автомобилей может составить 56.8% к 2030 г., 97.7% — к 2040 г. и 100% — к 2050 г. Доля PHEV возрастет с 6.9% в 2024 г. до 10.9% в 2030 г., а затем будет постепенно снижаться в пользу BEV. В коммерческом сегменте к 2050 г. доля BEV может достичь 90% всех продаж, при этом реализация PHEV полностью прекратится с 2045 г. (рис. 6 и 7).

Долгосрочный спрос на цветные металлы — компоненты электромобилей

Цветные металлы входят в состав различных комплектующих электромобилей. Среди компонентов, способных существенно повлиять на рынки сырья по мере ускорения развития электротранспорта, выделяются аккумуляторные батареи и связанные с ними проводники электрического тока⁷.

Хотя батареи для электротранспорта различаются по химическому составу компонентов, наиболее востребованы литий-ионные аккумуляторы. Преобладают литий-никель-кобальт-марганец-оксидный (NCM), литий-никель-кобальт-алюминий-оксидный (NCA) или их смеси (более 90% рынка в 2020 г.), а также литий-железо-фосфатные (LFP) аккумуляторы, применявшиеся в ранних моделях электромобилей и вновь набирающие популярность на фоне удорожания никеля и кобальта (IEA, 2022). Тип аккумулятора определяется составом катода, в то время как для анода обычно используется графит.

Помимо литий-ионных, перспективными технологиями выступают литий-серные и натрий-ионные аккумуляторы, обладающие рядом преимуществ (Kumar, 2024). Литий-серные аккумуляторы отличаются относительно высокой плотностью энергии, а натрий-ионные — продолжительным сроком службы. Кроме того, они потенциально экономичнее и экологичнее литий-



⁷ <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/>, дата обращения 15.03.2025.

ионных аналогов. В настоящее время аккумуляторы этих типов только начинают выходить на рынок электромобилей (первое серийное производство электромобилей с натрий-ионными аккумуляторами запущено лишь в 2023 г.)⁸, что затрудняет прогнозирование спроса в средне- и долгосрочной перспективе.

Развитие электротранспорта может изменить рыночный баланс не только металлов, применяемых в катодах аккумуляторных батарей, но и меди и других цветных металлов. Электрификация автомобилестроения потребует значительного наращивания доли материалов с высокой электропроводностью. Перечень ключевых цветных металлов, на рынки которых влияет распространение электромобилей, представлен в табл. 4.

Оценим влияние электротранспорта на рынки указанных цветных металлов до 2050 г. на основе сценарного подхода. Моделирование эффектов проводится в несколько этапов:

1. Рынок литиевых аккумуляторных батарей для электромобилей характеризуется динамичными изменениями — активными ИиР и заменой одних химических компонентов другими. В работе выделены два типа аккумуляторов с наибольшим потенциалом: NCX (NCM и NCA) и LFP (Xu et al., 2020; Maisel et al., 2023).

Для определения доли аккумуляторов каждого типа использованы оценки из работы (Maisel et al., 2023). Представленные в ней сценарии, изначально построенные до 2040 г., были экстраполированы до 2050 г. с сохранением исходной логики исследования. Авторы выделяют два сценария развития рынка аккумуляторов в зависимости от преобладающего типа перспективных технологий для электромобилей. Сценарий NCM предполагает доминирование аккумуляторов NCM-типа с постепенным увеличением доли никеля в их составе. Ключевые металлы: литий, никель, кобальт, марганец, алюминий. Сценарий LFP основан на преобладании аккумуляторов LFP-типа. Ключевые металлы: литий, алюминий.

Для легкового и коммерческого сегментов принята схожесть структур аккумуляторных батарей в рамках каждого сценария, различие заключается только в их энергетической емкости.

Данные о содержании металлов в аккумуляторах разных типов относительно их мощности, использованные для расчета компонентного состава и построения сценариев, приведены в работе (Maisel et al., 2023). Данные по необходимой мощности аккумуляторов для легкового и коммерческого BEV содержится в докладах МЭА за 2023 и 2024 гг. (IEA, 2023; IEA, 2024). Учитывая, что коммерческий сегмент включает три типа транспортных средств (легкие коммерческие автомобили, грузовики и автобусы), для расчета средней мощности аккумулятора использованы данные о структуре рынка за 2023 г. (IEA, 2023). В итоге необходимая мощность для легковых BEV принята за 60 кВт, для легкового PHEV — 15 кВт, для коммерческих BEV — 211 кВт, для коммерческих PHEV — 50 кВт. Компонентный состав аккумуляторов представлен в Приложении 3.

Компонентный состав рассмотрен на уровне аккумуляторной батареи, поэтому материалы для про-

изводства проводки и корпуса, включая медь и алюминий, напрямую не учитываются при построении сценариев.

2. Для расчета количества меди в одном электромобиле используются эмпирические данные. В легковом BEV ее содержится 89 кг, в коммерческом — 200 кг; в легковом PHEV — 40 кг, в коммерческом — 89 кг (ICA, 2017). В отличие от других металлов, учтенных только в составе аккумуляторной батареи, значения меди рассчитаны на уровне всего аккумуляторного блока, готового к установке в автомобиль.

3. На заключительном этапе моделирования определены сценарии кумулятивного спроса на каждый цветной металл за период 2024–2050 гг. на базе оценок: химического состава аккумуляторов в производстве электромобилей; содержания цветных металлов в аккумуляторах, топливных элементах и проводниках; продаж новых электромобилей. Для металлов, входящих в состав аккумуляторных батарей, выполняется дополнительное разделение на сценарии NCM и LFP.

4. Полученные объемы спроса на цветные металлы сравниваются с показателями разведанных запасов и ресурсов. Под последними понимается наличие элемента в земной коре в форме и количестве, экономически оправдывающих его извлечение сейчас или в будущем. Запасы — та часть выявленных ресурсов, добыча которой целесообразна при текущей экономической конъюнктуре, требованиях к физико-химическим характеристикам сырья и достигнутом уровне технологий.

Графики для сравнительного анализа представлены на рис. 8, численные значения — в Приложении 4.

Влияние электромобилей на рынки цветных металлов может быть минимальным, умеренным, значительным и существенным. При распределении металлов по этим категориям используются следующие критерии:

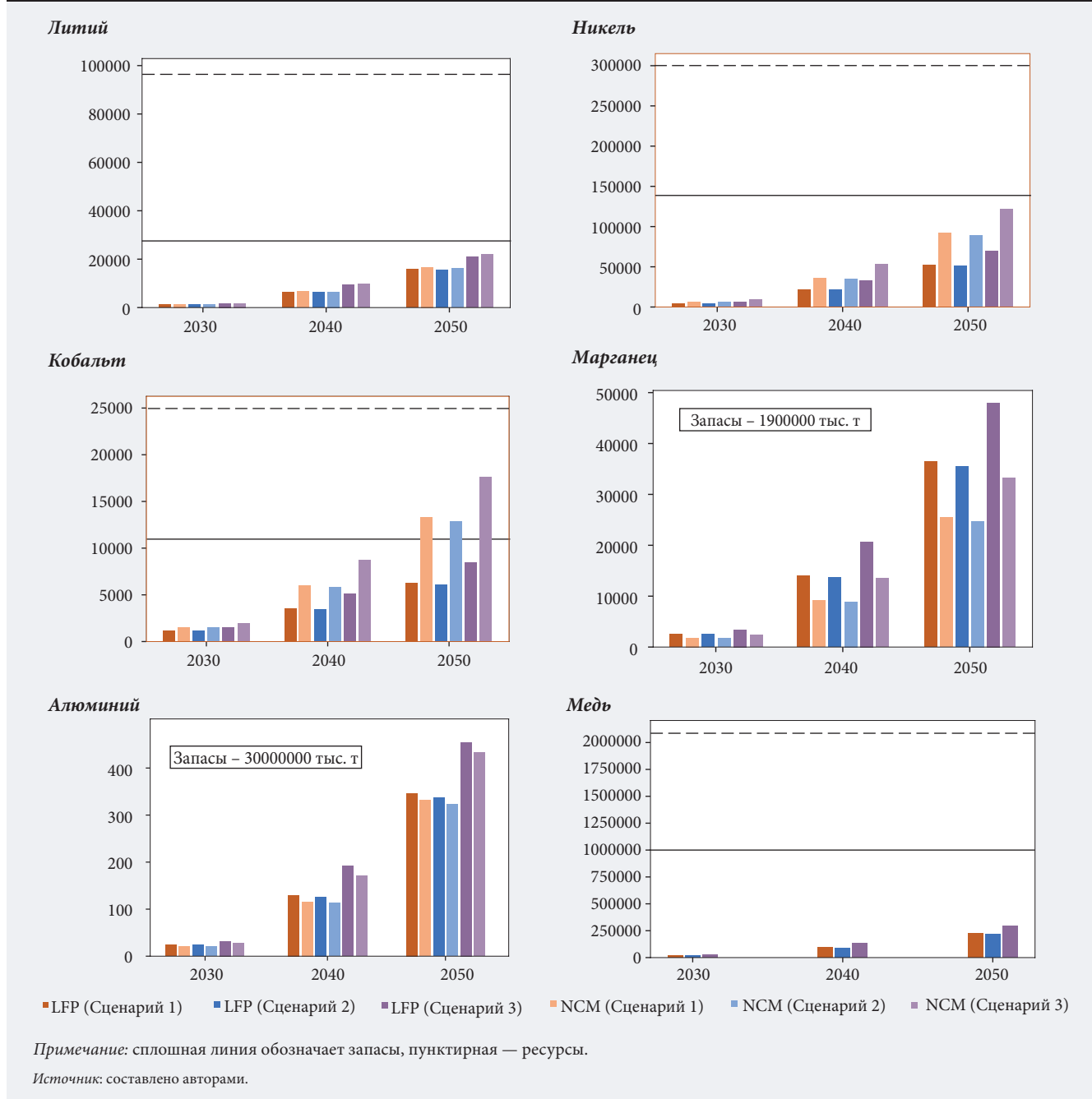
- 1) потребность в металлах для удовлетворения спроса на электромобили;
- 2) страновая структура добычи, распределение запасов и ресурсов;
- 3) возможность переработки и вторичного использования металлов.

Существенное рыночное влияние: кобальт

При реализации сценария NCM потребность в кобальте может превысить его существующие запасы. Даже в сценарии LFP объем спроса достигнет 55–77% запасов. Учитывая, что 74% текущего производства и 55% разведанных запасов приходятся на Конго, при росте дефицита возможна выраженная ценовая дискриминация.

В настоящее время переработка литий-ионных аккумуляторов часто менее выгодна и более рискованна, чем добыча и покупка металла. Основные причины: волатильность товарно-сырьевых рынков, удаленность перерабатывающих предприятий, сложности транспортировки аккумуляторов, их конструктивное многообразие. На доставку аккумуляторов к месту переработки приходится около 40% затрат всего процесса (Slattery et al., 2021). Это связано с большим весом и высокими техническими требованиями к перевозке. Иногда авто-

Рис. 8. Кумулятивный спрос на цветные металлы, входящие в состав аккумуляторных батарей электромобилей, для различных сценариев (тыс. т)



дилерам проще отправить к месту переработки электромобиль целиком, чем самостоятельно извлекать и транспортировать аккумулятор⁹.

С учетом дальнейшего роста производства аккумуляторов не только для электромобилей, но и для систем хранения энергии влияние на рынок кобальта может быть значительным.

Значительное рыночное влияние: литий и никель

Совокупная потребность в литии для электромобилей может составить 55–78% от текущих запасов — суще-

ственный объем, учитывая высокий спрос на литий-ионные батареи и в других отраслях. Несмотря на наличие безлитиевых альтернатив, их технологическая готовность остается низкой. Дополнительный аргумент — концентрация 79% запасов в четырех странах и расположение более 90% производственных мощностей в Азиатско-Тихоокеанском регионе и Южной Америке. Это усиливает их переговорные позиции в диалоге с производителями из Северной Америки и Европы.

Потребность в никеле может составить 40–94% запасов, при этом сейчас на долю аккумуляторов прихо-

⁹ <https://carnewschina.com/2023/12/27/volkswagen-backed-jac-yiwei-ev-powered-by-sodium-ion-battery-starts-mass-production-in-china/>, дата обращения 15.03.2025.

Табл. 4. Перечень анализируемых цветных металлов, их специфика и применение в электромобилях		
Цветной металл	Применение в электромобилях	Специфика металла
Литий	Ключевой компонент катода всех типов литий-ионных аккумуляторов (положительно заряженный ион выступает переносчиком электрического заряда)	Около 95% производства и 80% запасов сконцентрированы в четырех странах: Австралии (4 предприятия), Китае (3), Аргентине (2) и Чили (2). Более 90% мощностей по выпуску аккумуляторных батарей и компонентов приходятся на страны Азии при лидерстве Китая (свыше 70%).
Никель	Компонент катода аккумуляторов NCM- и NCA-типа	Основное применение — производство стали и сплавов. Крупнейшие производители — Индонезия и Филиппины (около 60% мировой добычи). Значительные запасы имеются также в России, Австралии и Бразилии. Россия — ведущий поставщик металла высокого качества, необходимого для аккумуляторов электромобилей (20% мировых поставок).
Кобальт	Компонент катода аккумуляторов NCM- и NCA-типа	Более 70% мировой добычи сосредоточено в Конго, где находится почти половина мировых запасов. Контроль над глобальными цепочками поставок осуществляет Китай, лидирующий в производстве готового к промышленному использованию металла.
Марганец	Компонент катода аккумуляторов NCM-типа	Основной потребитель — металлургия (производство стали). Глобальные ресурсы оцениваются как значительные; около 85% рентабельных запасов находятся в ЮАР, Австралии, Бразилии, Китае и Украине. Может замещаться алюминием в распространенной NCA технологии.
Алюминий	Компонент катода аккумуляторов NCA-типа; применяется также в элементах и упаковке (фольге электродов, материале корпуса) аккумуляторов всех типов	Применяется в сферах, где критичен вес изделия. Около 90% добычи бокситов (сырья) сконцентрировано в Австралии, Гвинее, Китае, Бразилии, Индонезии и Индии. Более 50% обогащения и производства первичного металла осуществляется в Китае, доля других стран не превышает 6–7%. Характеризуется простым и многоэтапным процессом переработки.
Медь	Основной материал в кабелях и проводах всех типов электромобилей	Крупнейшие игроки глобального рынка — Чили и Перу. Разведанные запасы обнаружены на всех населенных континентах, ресурсы оцениваются как достаточные.
Источник: составлено авторами по данным (US Geological Survey, 2024; Xu et al., 2020; Yao, Luman, 2021).		

дится около 7% потребления металла (IEA, 2022). Доля никеля будет расти в аккумуляторах NCM-типа, замещающая более дорогие элементы, прежде всего кобальт (Barber, Marshall, 2021). На будущий рынок никеля влияют разнонаправленные факторы: около 20% мирового объема никеля, пригодного для аккумуляторов, производятся в РФ, что в текущих геополитических условиях создает давление на рынок (IEA, 2022). С другой стороны, в сфере основного применения никеля — производстве сплавов — развиваются мощности по переработке и вторичному использованию.

Переработка использованных аккумуляторов для получения лития и никеля имеет те же ограничения, что и в случае с кобальтом. При этом извлечение лития и никеля еще менее рентабельно (Barber, Marshall, 2021).

Умеренное рыночное влияние: медь

Кумулятивный спрос на медь для автомобильного электротранспорта к 2050 г. может составить 23–30% от ее запасов. Несмотря на наличие достаточных мощностей для переработки, эта величина значительна, поскольку основными потребителями меди выступают энергетика и строительство, где развитие ВИЭ и распределенной генерации будет поддерживать высокий спрос⁹. Результатом роста спроса на медь в автомобилестроении может стать структурное изменение рынка и возникновение конкуренции за поставки с отраслями — традиционными потребителями металла.

Минимальное рыночное влияние: марганец и алюминий

Включение алюминия и марганца в категорию металлов, на рынок которых развитие автомобильного электротранспорта окажет минимальное воздействие, обусловлено небольшим совокупным спросом в сравнении с запасами металлов к 2050 г.: менее 0.1% для алюминия и от 1.3% до 2% — для марганца. Хотя в статье учитывался только алюминий, используемый непосредственно в аккумуляторной батарее, запасы этого металла значительно превышают потребности в нем. Кроме того, алюминий относится к металлам с относительно простым многократным процессом переработки, поэтому уже входит в число самых перерабатываемых и повторно используемых. Около 75% добытого алюминия находится в обращении по настоящий день¹¹. Запасов алюминия и марганца достаточно для покрытия спроса на аккумуляторы для электромобилей.

Заключение

В исследовании проанализировано, как развитие автомобилей на альтернативных видах топлива влияет на глобальные рынки цветных металлов на горизонте до 2050 г.

Наибольшим потенциалом доминирования в сегменте автомобилей на альтернативных видах топлива обладают электромобили — BEV и PHEV. Этот сегмент характеризуется околонулевыми значениями прямого

⁹ <https://www.wired.com/story/cars-going-electric-what-happens-used-batteries/>, дата обращения 15.03.2025.

¹⁰ <https://ar2020.nornickel.com/commodity-market-overview/copper>, дата обращения 15.03.2025.

¹¹ <https://www.aluminum.org/Recycling>, дата обращения 15.03.2025.

углеродного следа, растущим распространением на глобальных рынках, устойчивым снижением цены и ССВ, поддержанным стимулирующими мерами национальных правительств и эффектом масштаба.

По результатам сценарного анализа, к 2050 г. доля легковых BEV в продажах может составить 90–100%, доля PHEV достигнет пика 10–11% около 2030 г., а затем начнет снижаться. В коммерческом сегменте доля BEV к 2050 г. может составить 73–90%, доля PHEV не превысит 4% на протяжении всего периода. Объем спроса на цветные металлы для электромобилей сопоставлен с основными характеристиками их рынков — объемом запасов и ресурсов, страновой структурой производства, крупными отраслями-потребителями. Выявлено, что в долгосрочной перспективе развитие электромобилей способно оказать существенное влияние на рынок кобальта; умеренное — на рынки лития, никеля и меди; минимальное — на рынки марганца и алюминия.

Балансированию рынков цветных металлов могут способствовать организация сети предприятий по переработке компонентов электромобилей, покрывающей крупные центры развития электротранспорта; увеличение плотности электростанций для снижения объема аккумуляторных батарей; повторное использование отработавших в электромобилях аккумуляторов для стационарного хранения энергии. Риск значительных дефицитов никеля и кобальта может быть преодолен за счет перераспределения рынка в пользу аккумуляторов LFP-типа, в состав которых данные металлы не входят. Сегодня NMC-аккумуляторы активно уступают место батареям LFP-типа. В частности, по некоторым оценкам, доля батарей с использованием кобальта

в Китае в 2024 г. составит 31% по сравнению с 44% — в 2022 г.¹² Устойчивому функционированию рынка меди будут способствовать наращивание инвестиций во вторичную переработку и изучение потенциала месторождений руд, относящихся к категории ресурсов.

Результаты моделирования продаж электромобилей согласуются со складывающимися рыночными тенденциями и спецификой региональных автомобильных рынков, однако для представленных сценариев существует ряд ограничений и неопределенностей:

1) высокая неясность перспектив развития водородного сегмента из-за его серьезного отставания от PHEV по ключевым для потребителей параметрам ССВ и доступности инфраструктуры;

2) скорость проникновения электромобилей на рынки развивающихся стран со слабым регулированием выбросов CO₂ и низким уровнем экономического и технологического развития;

3) потенциальные сбои в смежных отраслях, например, в генерации и распределении электроэнергии;

4) возможные нарушения глобальных цепочек поставок компонентов и материалов вследствие растущей геополитической напряженности.

Для технологий аккумулирования и передачи электроэнергии ключевые неопределенности связаны с возможностями качественных изменений их компонентного состава (например, при выводе на рынок новых литий-серных и литий-воздушных аккумуляторов) и с темпами совершенствования их переработки.

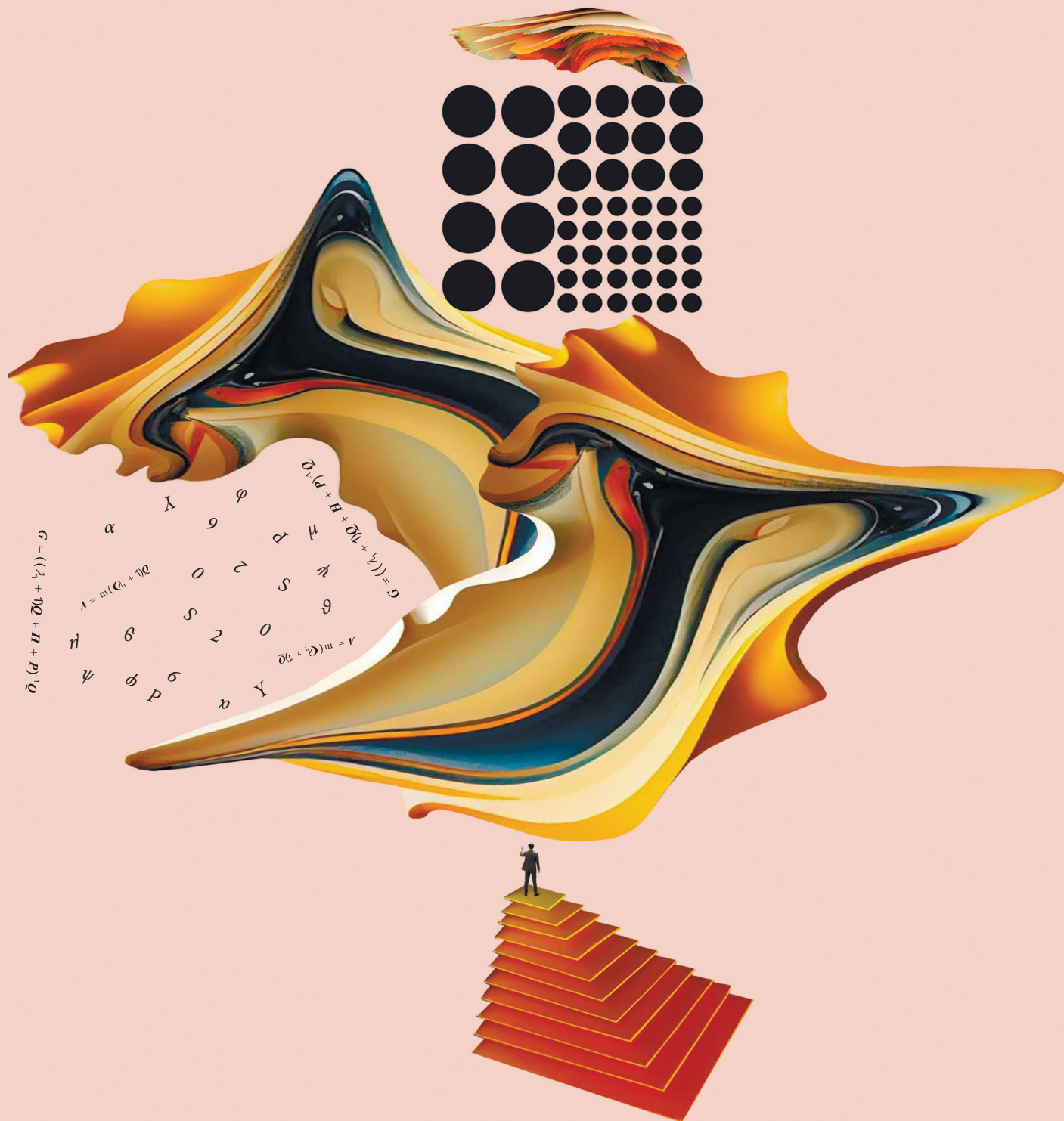
Исследование выполнено при поддержке Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.

Библиография

- Хомутов И.А., Лишневецкая А.И., Кwon К.Р., Кукуруз Г.Г. (2021) *Зеленая революция в Европе: что она несет России. Часть 1. Автотранспорт*, М.: ИГ Петромаркет.
- BloombergNEF (2023) *Electric Vehicle Outlook 2023*, New York: BloombergNEF. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>, дата обращения 15.03.2025.
- BloombergNEF (2024) *Electric Vehicle Outlook 2024*, New York: BloombergNEF. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>, дата обращения 15.03.2025.
- Foster R. (1986) Working The S-Curve: Assessing Technological Threats. *Research Management*, 29(4), 17–20. <https://doi.org/10.1080/00345334.1986.11756976>
- Geroski P.A. (2000) Models of Technology Diffusion. *Research Policy*, 29(4–5), 603–625. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(99\)00092-x](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(99)00092-x)
- Huo H., Wang M. (2012) Modeling Future Vehicle Sales and Stock in China. *Energy Policy*, 43, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.063>
- IPCC (2022) *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>, дата обращения 15.03.2025.
- ICA (2017) *The Electric Vehicle Market and Copper Demand*, McLean, VA: International Copper Association. <https://internationalcopper.org/wp-content/uploads/2017/06/2017.06-E-Mobility-Factsheet-1.pdf>, дата обращения 15.03.2025.
- IEA (2020) *Global EV Outlook 2020*, Paris: International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>, дата обращения 15.03.2025.
- IEA (2022) *Global EV Outlook 2022*, Paris: International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>, дата обращения 15.03.2025.
- IEA (2023) *Global EV Outlook 2023*, Paris: International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>, дата обращения 15.03.2025.

¹² <https://www.mining.com/web/worlds-biggest-cobalt-miner-is-gloomy-on-the-ev-metals-future/>, дата обращения 15.03.2025.

- IEA (2024) *Global EV Outlook 2024*, Paris: International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>, дата обращения 15.03.2025.
- Krajinska A. (2021) *Magic Green Fuels*, Brussels: European Federation for Transport and Environment. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/11/2021_12_TE_e-fuels_cars_pollution.pdf, дата обращения 15.03.2025.
- Kumar R.R., Guha P., Chakraborty A. (2022) Comparative Assessment and Selection of Electric Vehicle Diffusion Models: A Global Outlook. *Energy*, 238(C), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121932>
- Kumar A. (2024) A Comprehensive Review of an Electric Vehicle Based on the Existing Technologies and Challenges. *Energy Storage*, 6(5), e70000. <https://doi.org/10.1002/est2.70000>
- Liang Y., Zhao C., Yuan H., Chen Y., Zhang W., Huang J.Q., Yu D., Liu Y., Titirici M., Chueh Y., Yu H., Zhang Q. (2019) A Review of Rechargeable Batteries for Portable Electronic Devices. *InfoMat*, 1, 6–32. <https://doi.org/10.1002/inf2.12000>
- Mahajan V., Muller E. (1979) Innovation Diffusion and New Product Growth Models in Marketing. *Journal of Marketing*, 43(4), 55–68. <https://doi.org/10.2307/1250271>
- Maisel F., Neef C., Marscheider-Weidemann F., Nissen N.F. (2023) A Forecast on Future Raw Material Demand and Recycling Potential of Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 192, 106920. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106920>
- OICA (2024) *Global Sales Statistics*. <https://www.oica.net/category/sales-statistics/>, дата обращения 15.03.2025.
- Qian L., Soopramanien D. (2014) Using Diffusion Models to Forecast Market Size in Emerging Markets with Applications to the Chinese Car Market. *Journal of Business Research*, 67 (6), 1226–1232. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.04.008>
- Rietmann N., Hugler B., Lieven T. (2020) Forecasting the Trajectory of Electric Vehicle Sales and the Consequences for Worldwide CO2 Emissions. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121038. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121038>
- Rota M.F., Carcedo J.M., Garcia J.P. (2016) Dual Approach for Modelling Demand Saturation Levels in the Automobile Market. The Gompertz Curve: Macro Versus Micro Data. *Investigacion Economica*, 75 (296), 43–72. <https://doi.org/10.1016/j.inveco.2016.07.003>
- S&P Global (2024) *Light Vehicle Sales Forecast*, Washington, D.C.: S&P Global.
- Slattery M., Dunn J., Kendall A. (2021) Transportation of Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries at End-of-Life: A Literature Review. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105755. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105755>
- US Geological Survey (2023) *Mineral Commodity Summaries 2023*, Reston, VA: US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/mcs2023>
- US Geological Survey (2024) *Mineral Commodity Summaries 2024*, Reston, VA: US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/mcs2024>
- Xu C., Dai Q., Gaines L., Hu M., Tukker A., Steubing B. (2020) Future Material Demand for Automotive Lithium-Based Batteries. *Communications Materials*, 1, 99. <https://doi.org/10.1038/s43246-020-00095-x>



Изучение динамики связей в предпринимательских экосистемах и их эффектов для инновационной деятельности

Дамарис Кьерегато Вичентин

Постдокторант, научный сотрудник, Школа прикладных наук (School of Applied Sciences)^a, damarisyv@unicamp.br

Густаво Эрминьо Салати Маркондес де Мораэш

Доцент, Школа прикладных наук^a; приглашенный научный сотрудник, Институт статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ)^b, salati@unicamp.br

Нажела Бьянка ду Прадо

Аспирант (PhD), Школа прикладных наук^a, nagelabianca.prado@gmail.com

Бруно Брандао Фишер

Доцент, Школа прикладных наук^a; приглашенный научный сотрудник, ИСИЭЗ^b, bfisher@unicamp.br

Бетания Силва Карнейро Кампелло

Профессор, Школа прикладных наук^a, betaniac@unicamp.br

Росли Анхолон

Профессор, Школа машиностроения (School of Mechanical Engineering)^a, rosley@unicamp.br

^a Университет Кампинаса (State University of Campinas, UNICAMP), Бразилия,
Pedro Zaccaria street, 1300, Limeira – SP 13484-350, Brazil

^b Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000 Москва, Мясницкая ул., 11

Аннотация

В статье исследуется специфика взаимодействия ключевых факторов предпринимательской экосистемы (ПЭ) в условиях экономической турбулентности. Системная динамика ПЭ проанализирована на примере России через призму теории сложных адаптивных систем. На основе метода fuzzy DEMATEL и опроса экспертов, изучающих ПЭ в российских городах, выявлены ключевые движущие силы, определяющие устойчивость экосистемы. Установлены причинно-следственные связи и специфика механизма адаптивности предпринимательских экосистем в

контексте повышенной сложности и нестабильности. Главными факторами их реконфигурации оказались нормативная среда, человеческие ресурсы и доступ к капиталу, тогда как инновационная деятельность в значительной степени определяется внешними условиями. Полученные результаты подчеркивают необходимость адаптивной политики, направленной на повышение устойчивости предпринимательских экосистем. Предложена новая методологическая структура для изучения адаптивности ПЭ в странах с развивающейся экономикой.

Ключевые слова: предпринимательские экосистемы; сложные адаптивные системы; стратегии; сложное взаимодействие; человеческий капитал; инновации; самоорганизация; экономическая турбулентность; fuzzy DEMATEL; Россия

Цитирование: Vicentin D.B., Marcondes de Moraes G.H.S., Bianca do Prado N., Fischer B.B., Campello B.S.C., Anholon R. (2025) Exploring the Relationship Dynamics in Entrepreneurial Ecosystems and Their Impact upon Innovation. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 43–53. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.25819>

Exploring the Relationship Dynamics in Entrepreneurial Ecosystems and Their Impact upon Innovation

Damaris Chieregato Vicentin

Postdoctoral Researcher, School of Applied Sciences^a, damariv@unicamp.br

Gustavo Hermínio Salati Marcondes de Moraes

Associate Professor, School of Applied Sciences^a; Guest Researcher, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge (ISSEK)^b, salati@unicamp.br

Nágela Bianca do Prado

PhD Applicant, School of Applied Sciences^a, nagelabianca.prado@gmail.com

Bruno Brandão Fischer

Associate Professor, School of Applied Sciences^a; Guest Researcher, ISSEK^b, bfischer@unicamp.br

Betania Silva Carneiro Campello

Professor, School of Applied Sciences^a, betaniac@unicamp.br

Rosley Anholon

Professor, School of Mechanical Engineering^a, rosley@unicamp.br

^a University of Campinas (UNICAMP), Pedro Zaccaria street, 1300, Limeira – SP 13484-350, Brazil

^b National Research University Higher School of Economics, 11, Myasnitskaya str., Moscow 101000, Russian Federation

Abstract

This study investigates how key entrepreneurial ecosystem (EE) factors interact and are reconfigured in response to economic turbulence. Using Russia as a case study, we analyze the systemic dynamics of EE through the lens of the Complex Adaptive Systems (CAS) theory, identifying the most influential factors driving ecosystem resilience. A quantitative approach was employed using the fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method. Data were collected from highly experienced experts, including academics and market professionals with extensive knowledge of urban EEs in Russia. Their

evaluations provided a robust understanding of causal relationships and the adaptability of EE factors under economic instability. The regulatory environment emerged as the primary driver of EE reconfiguration, significantly influencing other factors. Human capital and access to capital were also critical for sustaining entrepreneurship in turbulent contexts, whereas innovation was highly dependent on external conditions rather than acting as an independent driver. These findings highlight the need for adaptive policies to enhance EE resilience, offering a novel methodological framework for understanding EE adaptability in emerging economies.

Keywords: entrepreneurial ecosystems; complex adaptive systems; strategies; complex interaction; human capital; innovation; self-organization; economic turbulence; fuzzy DEMATEL; Russia

Citation: Vicentin D.B., Marcondes de Moraes G.H.S., Bianca do Prado N., Fischer B.B., Campello B.S.C., Anholon R. (2025) Exploring the Relationship Dynamics in Entrepreneurial Ecosystems and Their Impact upon Innovation. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 43–53. <https://doi.org/10.17323/fstg.2025.25819>

Концепция предпринимательской экосистемы (ПЭ) широко используется для всестороннего изучения сложного взаимодействия бизнес-субъектов между собой и средой их деятельности (Vedula, Kim, 2019). Ее динамика определяется прежде всего характером и интенсивностью коммуникаций, а также институциональными аспектами (Audretsch et al., 2019; Stam, 2015). В условиях текущей геополитической напряженности российская ПЭ сталкивается с уникальными вызовами и возможностями. В подобном контексте ключевым фактором экономического развития становится инновационная деятельность (Aeeni, Saedikiya, 2019; Arici, Gok, 2024). Рассмотрение переходных процессов сквозь линзу ПЭ позволит предпринимателям оптимизировать стратегии дальнейшего развития с учетом сложности и неопределенности, с которыми они сталкиваются (Altshuller, 2017; Ansell et al., 2017; Brondoni, 2022). Эти свойства естественны для сложных адаптивных систем (САС), к которым относится и ПЭ, поэтому за счет интеграции структурных и динамических подходов станет возможным лучше понять специфику их развития. В таком ключе становится очевидным, что интенсивность взаимодействия участников делает поведение системы непредсказуемым (Daniel et al., 2022). По мере реагирования на внешние воздействия такие игроки совместно развиваются и, адаптируясь к переменам, трансформируют себя и свою среду.

Во время кризисов преобразование системы ускоряется, что требует более быстрой адаптации к возникающим условиям. В этом случае глубина межагентских взаимосвязей становится определяющей (Cloutier, Messegheem, 2022; Phillips, Ritala, 2019). Не менее значимым фактором является «эффект колеи», поскольку при закреплении любого стратегического вектора для системы всегда есть риск утратить гибкость и способность к обновлению. Теория САС видится действенным инструментом для понимания работы этих механизмов и выработки соответствующих мер. Однако в данном направлении пока не накоплено необходимой литературной базы. Релевантных эмпирических данных по-прежнему недостаточно, а текущие исследования посвящены в основном ранним этапам развития ПЭ (Han et al., 2021; Carter, Pezeshkan, 2023). Большая часть таких работ ориентирована на оценку тех или иных измерений ПЭ как отдельных блоков. Между тем, их правильнее было бы рассматривать как взаимосвязанные элементы, которые влияют друг на друга, постоянно эволюционируют и создают динамические условия, способствующие (или препятствующие) предпринимательству.

В свете этих соображений настоящее исследование ставит задачу выявить основные факторы развития ПЭ в городах и (что важнее) проанализировать взаимосвязь между ними. Исследовательский вопрос формулируется следующим образом: как именно ключевые аспекты ПЭ взаимодействуют и меняются в условиях экономической турбулентности? Таким образом, подчеркивает-

ся системный характер ПЭ, а фокус смещается с отдельных компонентов на динамику их взаимосвязи.

Наше эмпирическое исследование выполнено на примере России. Выводы работы (Shirokova et al., 2022) показывают, что, несмотря на имеющиеся вызовы, контекст рассматриваемой страны предоставляет интересный материал для исследования предпринимательства. Подчеркивается необходимость нового подхода, учитывающего местную специфику, что расширит возможности использования концепции ПЭ в глобальном масштабе. В основе нашего анализа лежит нечеткий «Метод лаборатории принятия решений путем проб и оценки результатов» (fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL). Первичные данные получены путем опроса 25 российских экспертов по ПЭ.

Теоретическая база исследования

Факторы развития предпринимательской экосистемы

ПЭ рассматривается как динамическое сообщество взаимозависимых субъектов, специфика отношений между которыми и характер принимаемых решений определяются контекстуальными факторами (Audretsch et al., 2019). Соответственно их изучение требует адаптированных исследовательских инструментов (Isenberg, 2010). В разных регионах в зависимости от состава заинтересованных сторон формируются ПЭ со своими особенностями, что позволяет выдвинуть гипотезы в отношении воспринимаемой надежности, устойчивости и гибкости экосистем (Spigel, Harrison, 2018). С точки зрения динамики развития и устойчивости выделяются шесть основных категорий ПЭ: нормативно-правовая среда, инфраструктура, рынок, инновационная деятельность, капитал, человеческие ресурсы и предпринимательская культура (Stam, van de Ven, 2021). Ключевую роль играет нормативно-правовая среда, влияющая на рыночные стратегии и создающая как риски, так и возможности (Zhao et al., 2023). Благоприятные условия для предпринимательства обеспечивает инфраструктура, которая, помимо материальных объектов, включает цифровые активы и различные сервисы (Audretsch, Belitski, 2017; Stam, van de Ven, 2021). Рыночный контекст определяется спросом на инновационные продукты. Для достижения успеха в таком контексте, развития новых компаний и альянсов в рамках ПЭ требуются правильный стратегический вектор (Stam, 2015; Zhao et al., 2023) и инновационная активность (Kuratko et al., 2017). Жизненную роль в обеспечении предпринимательской деятельности играет капитал — финансовые активы (пополняемые как из внутренних, так и из внешних источников), человеческие ресурсы, социальные связи и др. (Zhao et al., 2023). Человеческий капитал отвечает за интеллектуальное и креативное обеспечение в создании инноваций (Stam, van de Ven, 2021; Zhao et al., 2023). Наконец, предпринимательская культура определяет мотивацию, инновационность и готовность идти на риск (Audretsch, Belitski, 2017; Stam, van de Ven, 2021; Vicentin et al., 2024).

¹ <https://www.forbes.ru/tehnologii/366587-put-k-innovaciyam-rossiya-tratit-na-nauku-1-vvp-hvatit-li-etogo>, дата обращения 19.03.2025.

Сложные адаптивные системы

Теория САС впервые предложена в работе (Simon, 1962) как попытка оспорить механистические, основанные на равновесии представления об устройстве мира. Она была широко популяризирована многочисленными исследователями предпринимательских систем (van De Ven, 1993; Stam, van de Ven, 2021). По определению, САС представляют собой масштабные системы, характеризующиеся наличием многочисленных взаимодействующих элементов или субъектов, поэтому трудно предсказать развитие таких структур, наблюдая лишь за отдельными связями (Bone, 2016; Fredin, Lidén, 2020). Их поведение может меняться, эволюционировать или адаптироваться в ответ на те или иные воздействия, поэтому стабильное состояние поддерживается путем модификации характеристик как самой системы, так и внешней среды (Cloutier, Messegheem, 2022; Phillips, Ritala, 2019). Указанное обстоятельство обуславливает особую сложность ПЭ, в рамках которой многочисленные акторы (предприниматели, инвесторы, образовательные учреждения, государственные структуры и др.) находятся в многогранных, взаимозависимых отношениях (Daniel et al., 2022), причем единый централизованный механизм управления отсутствует (Aeeni, Saeedikiya, 2019). Во время кризиса эти взаимосвязи только усложняются (Fredin, Lidén, 2020). Например, экономические санкции, политическая нестабильность и изменения государственной политики напрямую влияют на компании, инвесторов и потребителей в рамках ПЭ (Khurana et al., 2022).

Теория САС синтезирует структурные и динамические подходы, учитывающие постоянную эволюцию субэкосистем. Тем самым она восполняет пробелы в изучении стратегий развития ПЭ, основанных на интеграции (Roundy et al., 2018; Carter, Pezeshkan, 2023; Malecki, 2018). Эти подходы помогают понять процесс развития ПЭ, состоящий из трех фаз (импульс, формирование и структурирование), с учетом внутренней сложности, присущей их функционированию и эволюции (Cantner et al., 2021). Однако, как отмечалось, они пока не подкреплены эмпирической базой и фокусируются преимущественно на ранних стадиях ПЭ (Han et al., 2021). Турбулентность в контексте ПЭ определяется как состояние напряженности и трансформации, охватывающее широкий спектр дискретных событий: не только кризисы, но и социальные, экономические и политические трансформации. Эту концепцию можно использовать как линзу для изучения постоянно возникающих в рамках ПЭ рисков и возможностей, находить ориентиры для навигации в сложности, неопределенности, которые рассматриваются как ключевые детерминанты коллективного будущего участников меняющихся экосистем (Aeeni, Saeedikiya, 2019; Arici, Gok, 2024).

Методология

В соответствии с целями исследования использовалась методология с поисковыми, экспликативными и пропозициональными характеристиками. Для системного выявления и анализа основных факторов развития ПЭ в урбанизированных районах применялся количественный подход на основе метода fuzzy DEMATEL, с акцентом на российском контексте. Изучалась взаимосвязь этих аспектов, оценивался их эффект, выявлялись наиболее значимые для ПЭ.

Российский контекст

В современных российских условиях, сложившихся под влиянием масштабных политических процессов и международных конфликтов, возникают уникальные вызовы и возможности для предпринимательства. Динамика глобальной турбулентности напрямую влияет на внутреннюю политику и экономические системы, формируя среду, в которой инновационная деятельность становится важным фактором развития (Altshuller, 2017; Ansell et al., 2017; Brondoni, 2022).

С 2000 г. Россия проводит реформы для усиления государственного контроля и уточнения бюрократических норм, зачастую посредством введения неоднозначных правил (Yakovlev, 2006). Чтобы сохранить операционную легитимность в этой сложной и постоянно меняющейся нормативной среде, предприниматели должны уметь находить пути преодоления многочисленных юридических и бюрократических ограничений. Одновременно правительство пытается стимулировать экономику путем наращивания инновационного потенциала, диверсификации и конкурентных преимуществ (Shakib et al., 2023). Около 70% совокупного финансирования инноваций поступает из государственного сектора.¹ Благодаря этим мерам Россия в последние годы улучшает свои позиции в Индексе глобальной конкурентоспособности (достигнут прогресс по ряду инновационных показателей) (Shakib et al., 2023). В обзорном исследовании (Shirokova et al., 2022) отмечается, что, несмотря на проблемы, российский контекст предлагает уникальные возможности для изучения предпринимательства с учетом географических, социально-экономических и этнических различий. Отмечена необходимость «третьей волны» контекстуализации исследований в этом направлении, что позволит лучше понять локальную специфику, совершенствовать теоретическую базу и развивать диалог между национальными и международными исследователями.

Сбор данных

Для того чтобы выяснить значимость различных аспектов, определяющих развитие городских ПЭ в России, в 2024 г. проводился электронный опрос 25 местных экспертов (с использованием Google Forms).²

² Из 25 опрошенных экспертов 60% были женщинами, 40% мужчинами. В среднем стаж их профессионального опыта составлял 6.9 лет. В отношении специализации, 24% работают в области информационных технологий, по 12% — в сфере образования, бизнесе и инновационной деятельности. Остальные заняты в следующих сферах: трансфер технологий, государственная политика, разработка электронных устройств, энергетика, предпринимательство и маркетинг, управление проектами, бухгалтерский учет и аналитика.

Все респонденты имели ученые степени в области предпринимательства и инновационной деятельности или более шести лет опыта работы на рынке, что обеспечило высокий академический и профессиональный уровень. По итогам опроса, на основе структуры, описанной в исследовании (Stam, van de Ven, 2021), выявлено семь факторов: нормативно-правовая среда, инфраструктура, рынок, доступ к капиталу, инновационная деятельность, человеческие ресурсы и предпринимательская культура. Эксперты проанализировали их взаимовлияние и общую значимость для городских ПЭ.

Метод Fuzzy DEMATEL

Наш инструментарий синтезирует принцип нечеткой логики с моделью DEMATEL, преобразуя неоднозначные оценки экспертов в точные значения. Сначала специалисты оценивают взаимное влияние факторов посредством нечеткой лингвистической шкалы. Их суждения, несмотря на приблизительный характер, становятся основой для выявления причинно-следственных связей. Для оценки степени воздействия используются категории: «Отсутствует» (No), «Минимальное» (VLI), «Слабое» (LI), «Умеренное» (MI), «Сильное» (HI), «Максимальное» (VHI). Полученная матрица отражает вклад каждого эксперта (табл. 1). На рис. 1 показаны функции принадлежности лингвистических терминов и соответствующие им нечеткие числа. Следовательно, при наличии n факторов множества $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$, которые должны оценить l экспертов из совокупности $E = \{E_1, E_2, \dots, E_l\}$, каждому участнику предстоит охарактеризовать влияние фактора F_i на фактор F_j , попарно. По итогам этой процедуры формируется нечеткая матрица прямого индивидуального влияния $\tilde{Z}_k = [\tilde{z}_{ij}^k]_{n \times n}$ в которой $\tilde{z}_{ij}^k = (z_{ij1}^k, z_{ij2}^k, z_{ij3}^k)$ — нечеткая оценка эксперта k (Zhang et al., 2023).

На второй стадии экспертные оценки объединяют для построения совокупной нечеткой матрицы прямого влияния Z . После формирования индивидуальных матриц $\tilde{Z}_k$ ($k = 1, 2, \dots, l$) составная нечеткая матрица прямого влияния $\tilde{Z}_k = [\tilde{z}_{ij}^k]_{n \times n}$ получается путем объединения всех экспертных оценок. Здесь $\tilde{z}_{ij}$ рассматривается как нечеткое треугольное число (TFN) $(0,0,0)$ и рассчитывается как:

$$\tilde{z}_{ij} = (z_{ij1}^k, z_{ij2}^k, z_{ij3}^k) = (1/l) \sum_{k=1}^l \tilde{z}_{ij}^k = ((1/l) \sum_{k=1}^l z_{ij1}^k, (1/l) \sum_{k=1}^l z_{ij2}^k, (1/l) \sum_{k=1}^l z_{ij3}^k) \quad (1)$$

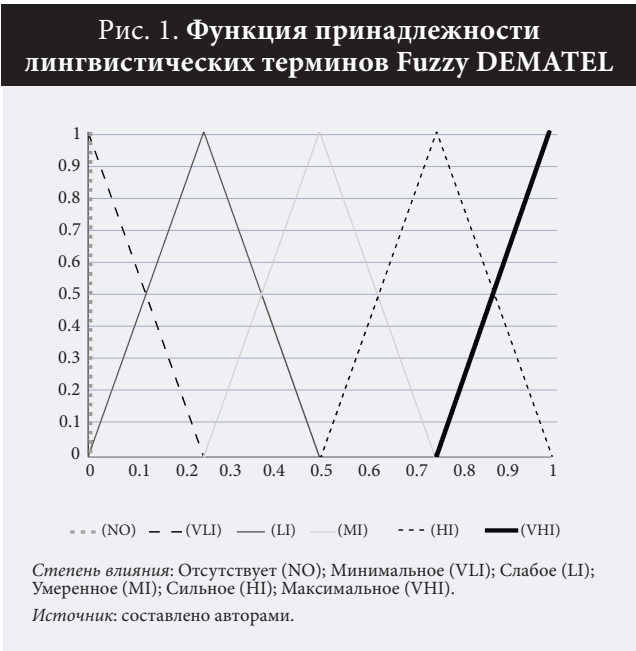
На третьем этапе нечеткие оценки уточняются с помощью метода CFCFS (Converting Fuzzy Data into Crisp Scores — преобразование нечетких данных в конкретные оценки) для формирования четкой матрицы прямого влияния Z .

Полученная матрица в сочетании с методом DEMATEL используется для создания нормализованной матрицы прямого влияния X и матрицы полного влияния T . На их основе создается карта отношений влияния (Influential Relation Map, IRM). Нормализованная матрица прямого влияния X выводится следующим образом:

Табл. 1. Нечеткие лингвистические термины и их значения

Лингвистические термины (степень влияния)	Нечеткие треугольные числа
Отсутствует (No)	(0, 0, 0)
Минимальное (VLI)	(0, 0, 0.25)
Слабое (LI)	(0, 0.25, 0.5)
Умеренное (MI)	(0.25, 0.5, 0.75)
Сильное (HI)	(0.5, 0.75, 1)
Максимальное (VHI)	(0.75, 1, 1)

Источник: адаптировано по (Singh, Sarkar, 2020; Zhang et al., 2023).



$$X = Z/s, s = \max(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}, \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{i=1}^n z_{ij}), \quad (2)$$

где все элементы соответствуют условию $0 \leq x_{ij} < 1.0 \leq \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1$, и, по крайней мере, для одного $i \sum_{j=1}^n z_{ij} \leq s$.

Затем формируется матрица полного влияния T , которая имеет вид:

$$T = X + X^2 + \dots + X^h = X(I - X)^{-1}, \quad (3)$$

где $h \rightarrow \infty$, а I — единичная матрица (Rouhani et al., 2013).

Наконец, строится IRM с использованием горизонтальной оси ($R + C$) и вертикальной оси ($R - C$), отображающих сумму строк и столбцов матрицы полного влияния T , определяемых по следующим формулам, соответственно:

$$R = [r_i]_{n \times 1} = \sum_{j=1}^n t_{ij}, C = [c_j]_{1 \times n} = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (4)$$

Где r_i — совокупное влияние фактора F_i на другие факторы, а c_j — совокупное влияние, испытываемое фактором F_j . Эти расчеты показывают центральность каждого фактора как вектора горизонтальной оси ($R + C$)

Рис. 2. Порядок использования метода Fuzzy DEMATEL



(«значимость») и его чистый эффект (оказанный либо полученный) как вектор вертикальной оси ($R - C$) («связь») в рамках сети. Эти значения визуализируются в IRM путем построения массива данных ($R + C, R - C$), показывающего суммарные значения влияния для поддержки принятия решений.

Порядок использования метода Fuzzy DEMATEL

Алгоритм работы fuzzy DEMATEL представлен на рис. 2. Вначале выполнялся сбор данных для выявления факторов, определяющих развитие ПЭ (IT_n). Затем изучались мнения экспертов по городским ПЭ о взаимосвязи этих факторов. За определением ключевых критериев последовало построение матриц влияния с использованием лингвистических терминов и нечетких числовых значений, чтобы проиллюстрировать выявленные сложные взаимосвязи. На основе экспертных мнений принимающие решения лица провели количественную оценку факторов ПЭ.

С использованием метода CFCS была сконструирована матрица влияния факторов Z, после чего задействован традиционный метод DEMATEL. Нормализованная матрица Z служила основой для формирования новой

матрицы X. Наконец, последовало построение IRM-матрицы T, представившей сводную картину влияния факторов ПЭ. Для визуализации и анализа их прямых и косвенных эффектов определялись векторы вертикальной оси R и C (связи). В совокупности, представленные расчеты обеспечивают углубленное понимание динамики ПЭ в российском контексте.

Результаты

Изначально в качестве переменных нечеткой модели DEMATEL использовались оценки и описания факторов ПЭ, в соответствии с положениями работы (Stam, van de Ven, 2021) (табл. 2). Напомним, что эмпирические данные собирались в отношении семи факторов ПЭ (категории $IT_1 - IT_7$) с привлечением 25 экспертов.

Затем с помощью метода CFCS экспертные мнения были преобразованы в точные величины. Оценки указанных измерений отражены в Приложениях 1 и 2, соответствующие им нечеткие числа — в табл. 1.

По итогам применения предложенного метода в Приложении 3 представлены попарные причинно-следственные связи и значения важности факторов ПЭ

Табл. 2. Основные факторы развития ПЭ

Фактор	Описание
IT_1	Нормативно-правовая среда
IT_2	Инфраструктура
IT_3	Рынок
IT_4	Доступ к капиталу
IT_5	Инновационная деятельность
IT_6	Человеческие ресурсы
IT_7	Предпринимательская культура

Источники: составлено авторами.

Табл. 3. Матрица связей Z

	IT_1	IT_2	IT_3	IT_4	IT_5	IT_6	IT_7
IT_1	0.000	0.670	0.663	0.640	0.623	0.557	0.583
IT_2	0.293	0.000	0.513	0.417	0.660	0.630	0.443
IT_3	0.500	0.513	0.000	0.680	0.677	0.550	0.717
IT_4	0.440	0.623	0.687	0.000	0.653	0.467	0.517
IT_5	0.400	0.527	0.720	0.573	0.000	0.427	0.720
IT_6	0.547	0.407	0.553	0.460	0.737	0.000	0.683
IT_7	0.637	0.477	0.687	0.497	0.750	0.650	0.000

Источники: составлено авторами.

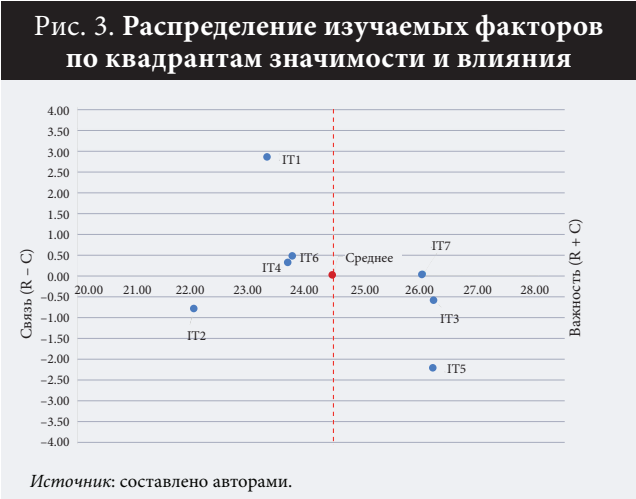


Табл. 4. Матрица связей Т

	IT ₁	IT ₂	IT ₃	IT ₄	IT ₅	IT ₆	IT ₇
IT ₁	1.461	1.780	2.062	1.812	2.167	1.790	1.986
IT ₂	1.263	1.320	1.673	1.453	1.795	1.493	1.613
IT ₃	1.553	1.716	1.875	1.788	2.138	1.755	1.978
IT ₄	1.445	1.635	1.908	1.527	2.004	1.633	1.820
IT ₅	1.441	1.617	1.918	1.663	1.859	1.628	1.863
IT ₆	1.483	1.605	1.900	1.652	2.039	1.536	1.871
IT ₇	1.605	1.736	2.062	1.780	2.186	1.803	1.849

Примечание: Жирным шрифтом выделены значения, превышающие средние для матрицы связей Т (1.743). Можно видеть, как изучаемые аспекты соотносятся друг с другом и какие из них в большей степени подвержены влиянию других. Например, величины факторов IT₃, IT₅ и IT₇ превышают среднее значение матрицы Т, что свидетельствует о значительном влиянии других сил.

Источник: составлено авторами.

Табл. 5. Традиционный метод DEMATEL

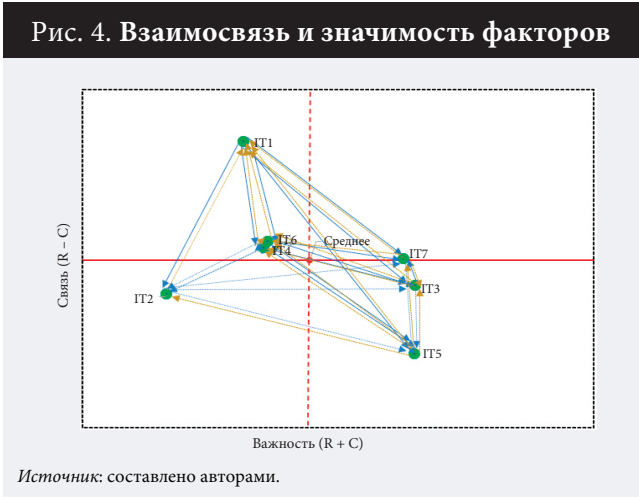
Фактор	R	C	R + C	R - C
IT ₁ – Нормативно-правовая среда	13.058	10.250	23.308	2.809
IT ₂ – Инфраструктура	10.610	11.409	22.019	-0.799
IT ₃ – Рынок	12.804	13.398	26.201	-0.594
IT ₄ – Доступ к капиталу	11.972	11.675	23.647	0.297
IT ₅ – Инновационная деятельность	11.987	14.189	26.176	-2.202
IT ₆ – Человеческие ресурсы	12.085	11.636	23.722	0.449
IT ₇ – Предпринимательская культура	13.020	12.980	26.000	0.040

Источник: составлено авторами.

Табл. 6. Ранжирование факторов

Позиция	Фактор	R - C
1	IT ₁	2.809
2	IT ₆	0.449
3	IT ₄	0.297
4	IT ₇	0.040
5	IT ₃	-0.594
6	IT ₂	-0.799
7	IT ₅	-2.202

Источник: составлено авторами.



в разных перспективах, а также их усредненное влияние. Полученные оценки сводились в единую матрицу Z. Рассчитывались простые среднеарифметические значения с последующей генерацией соответствующих нечетких чисел (табл. 3). После уточнения их величин выполнялись традиционные шаги метода DEMATEL с использованием уравнений (1–4) (см. табл. 4 и 5).

Данные табл. 5 и 6 показывают, что главным фактором влияния является нормативная среда; далее следуют человеческие ресурсы, доступ к капиталу и предпринимательская культура. Инновационная деятельность оказалась наиболее подверженной воздействию других сил. Для упрощения оценки на рис. 3 визуализированы причинно-следственные связи факторов развития ПЭ в российском контексте. Их ранжирование по силе влияния на другие факторы и по степени взаимной подверженности, согласно занимаемым позициям на нечетком графике связей DEMATEL, позволило подробно охарактеризовать каждый фактор (см. диаграмму IRM, рис. 4).

Так, нормативная среда (IT₁) оказалась в квадранте I, что говорит об определяющей роли этого фактора и его способности существенно влиять на другие аспекты. Помимо него здесь оказались компоненты «человеческие ресурсы» (IT₆) и «доступ к капиталу» (IT₄), хотя их влияние заметно слабее. Предпринимательская культура (IT₇), попавшая в квадрант II, также признана центральным аспектом, несмотря на то что ее значение уступает величинам факторов из квадранта I. Фактор инновационной деятельности (IT₅), находящийся в квадранте III, также признан весьма значимым, но слабо связан с другими. Это свидетельствует как о важности инновационной деятельности, так и о ее подверженности влиянию других сил. Стратегии по ее стимулированию должны предусматривать совершенствование нормативной среды, развитие человеческих ресурсов, расширенный доступ к капиталу и сильную предпринимательскую культуру, поскольку все они напрямую влияют на создание инноваций.

На рис. 4 синие стрелки отображают влияние конкретного фактора на другие компоненты. Например, составляющая IT₁ влияет на все остальные, поскольку находится в первом квадранте. Желтые стрелки ил-

люстрируют воздействие, которому рассматриваемые аспекты подвержены со стороны других. Так, на IT₅ влияют все прочие силы.

Обсуждение

Целью настоящего исследования было выявить основные факторы, определяющие развитие ПЭ в российском контексте, и их взаимосвязь с помощью метода fuzzy DEMATEL. Согласно нашей теоретической предпосылке, через призму теории САС можно получить целостное комплексное представление о географии и эволюции предпринимательства как процесса взаимодействия системы с внешней средой (Fredin, Lidén, 2020). ПЭ считается сложной системой, включающей разнородные субъекты, социальные контекстные факторы и многогранное взаимодействие между ними (Carter, Pezeshkan, 2023). Она также характеризуется открытостью, нелинейностью, петлями обратной связи (Fredin, Lidén, 2020) и «эффектом колеи», обусловленным как постоянным функционированием системы, так и непрерывающимся потоком перемен (Cloutier, Messegheem, 2022). На этом основании многие ученые относят ПЭ к категории САС (Fredin, Lidén, 2020; Cloutier, Messegheem, 2022; Carter, Pezeshkan, 2023). Предприниматели рассматриваются как агенты, развивающие свою экосистему одновременными действиями (Carter, Pezeshkan, 2023), обуславливая ее самоорганизующееся поведение (Fredin, Lidén, 2020). Однако системных оценок взаимосвязи различных измерений ПЭ существует немного, что затрудняет углубленное изучение контекстуальных условий, стимулирующих предпринимательство. Также следует упомянуть о самоорганизации — процессе, посредством которого агенты спонтанно корректируют поведение — как собственное, так и других участников экосистемы, чтобы правильно реагировать на меняющиеся внутренние или внешние условия среды (Fredin, Lidén, 2020).

В периоды кризисов и турбулентности САС (с ее внутренним взаимодействием, процессами обратной связи, обучением и адаптивностью) поддерживается механизмами внутреннего контроля. Иными словами, подобной системе присуща самоорганизация, благодаря чему она способна достигать порядка без внешнего управления (Fredin, Lidén, 2020).

В настоящем исследовании на примере российского контекста проиллюстрировано одновременное наличие стимулов как к развитию предпринимательской деятельности, так и к укреплению конкурентного преимущества страны. Предприниматели сталкиваются со значительными нормативными и бюрократическими проблемами для сохранения операционной легитимности. В соответствии с теорией САС это повышает важность самоорганизующегося потенциала ПЭ.

На протяжении всей истории российские предприниматели постоянно имели дело с экономической нестабильностью и турбулентностью. Однако в настоящее время правительство предпринимает целенаправленные шаги по формированию более благоприятного делового климата для ведения бизнеса. Данный факт

отражен в результатах нашего исследования применительно к нормативной среде, выявленной в качестве главной силы, определяющей развитие российской ПЭ. Как отмечено, например, в работе (Fredin, Lidén, 2020), нормы более высокого уровня зачастую принимаются в результате введения оптимизированных правил и локального взаимодействия на нижнем уровне.

Хотя российские стимулы к предпринимательству направлены преимущественно на стимулирование инновационной деятельности (Shakib et al., 2023), наш анализ показывает, что создание инноваций является менее важным драйвером развития ПЭ. Для повышения инновационного потенциала российским предпринимателям прежде всего необходимо участвовать в адаптивных процессах, поскольку указанный фактор подвержен влиянию всех элементов экосистемы. Благодаря этому они смогут ее формировать, развивать, корректировать, реструктурировать чтобы обновляться и приспосабливаться к переменам. Самоорганизующееся поведение российской ПЭ позволяет ее участникам сохранять устойчивую жизнеспособность и конкурентное преимущество даже в турбулентные периоды благодаря участию в коэволюционном процессе выявления, использования и создания новых возможностей (Carter, Pezeshkan, 2023).

Настоящее исследование вносит значимый вклад по ряду направлений. Так, использование преимуществ метода fuzzy DEMATEL позволило аккумулировать важнейшую информацию на всех стадиях анализа взаимосвязи факторов ПЭ в российском контексте.

Стало возможным проанализировать причинно-следственную связь факторов в разных перспективах с учетом опыта и знаний экспертов. Можно констатировать, что в условиях повышенного давления (которые сейчас наблюдаются в России) нормативно-правовая среда, человеческие ресурсы, доступ к капиталу и предпринимательская культура влияют на инновационную деятельность в ПЭ более существенно, чем в относительно стабильном экономическом контексте, что подтверждает гипотезу 1 настоящего исследования. Указанный метод решает проблему неопределенности экспертной информации, которая неизбежна в реальных ситуациях (особенно в турбулентности). Анализ выявил не описанную ранее в литературе взаимосвязь факторов ПЭ в российском контексте. Установлено, что в кризисные периоды для стимулирования инновационной деятельности в ПЭ приоритетами государственной политики должны быть как совершенствование нормативно-правовой среды, так и развитие человеческих ресурсов, особенно в российских реалиях. Кроме того, интеграция теоретических характеристик САС и ПЭ позволила выявить важную роль самоорганизующегося поведения системы (Carter, Pezeshkan, 2023). С точки зрения управления, настоящее исследование способствует укреплению потенциала для анализа и принятия решений в ПЭ в переходные периоды. Оно также обеспечивает более глубокий и комплексный учет значимости нормативной среды, человеческих ресурсов, доступа к капиталу и предпринимательской культуры для стимулирования инновационной деятельности.

Заключение

Настоящее исследование способствует получению новых научных знаний в соответствующей области и представляет ценную информацию профессионалам, специализирующимся на ПЭ. Предложен инновационный подход к пониманию основных факторов развития предпринимательских экосистем в городах и связей между ними с помощью метода fuzzy DEMATEL. Выявление нормативной среды, человеческих ресурсов, доступа к капиталу и предпринимательской культуры как наиболее влиятельных факторов стимулирования инновационной деятельности в ПЭ обуславливает эффективность и надежность использования предложенного подхода в турбулентные времена.

В практическом плане можно предположить значительную взаимозависимость этих аспектов в рамках ПЭ. Однако важно отметить, что выборка настоящего исследования отличается от традиционного многомерного анализа, поскольку основана на мнениях экспертов. Кроме того, работа ограничена конкретным географическим и предметным контекстом. В ходе дальнейших исследований было бы полезно изучить аналогичные проблемы с использованием метода fuzzy DEMATEL и выполнить сравнительный анализ для разных стран или с использованием разных моделей.

Статья подготовлена в рамках Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Библиография

- Aeeni Z., Saeedikiya M. (2019) Complexity Theory in the Advancement of Entrepreneurship Ecosystem Research: Future Research Directions. In: *Eurasian Business Perspectives* (eds. B.M.H. Bilgin, H. Danis, E. Demir, U. Can), Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer International Publishing, pp. 19–37.
- Altshuller M. (2017) Another Forgotten War: The Lack of a Western Response to the Ukrainian Conflict. *Harvard International Review*, 38(S1), 7–8. <http://www.jstor.org/stable/26445588>
- Ansell C., Jarle T., Ogard M. (2017) *Governance in Turbulent Times*, Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198739517.001.0001>
- Arici T., Gok M. (2024) Ambiguous Effect of Environmental Turbulence on Innovation and Performance: Analyzing Technology Sectors. *Journal of Innovations in Business and Industry*, 2(1), 13–23. <https://doi.org/10.61552/jibi.2024.01.003>
- Audretsch D.B., Belitski M. (2017) Entrepreneurial ecosystems in cities: Establishing the framework conditions. *The Journal of Technology Transfer*, 42(5), 1030–1051. <https://doi.org/10.1007/s10961-016-9473-8>
- Audretsch D.B., Cunningham J.A., Kuratko D.F., Lehmann E.E., Menter M. (2019) Entrepreneurial ecosystems: Economic, technological, and societal impacts. *The Journal of Technology Transfer*, 44(2), 313–325. <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9690-4>
- Bone C. (2016) A complex adaptive systems perspective of forest policy in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 112, 138–144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.024>
- Brondoni S.M. (2022) Russian-Ukrainian War, Innovation, Creative Imitation & Sustainable Development. *Symphonya. Emerging Issues in Management*, 1, 4–9. <https://doi.org/10.4468/2022.1.02brondoni>
- Brown R., Mason C. (2017) Looking inside the spiky bits: a critical review and conceptualisation of entrepreneurial ecosystems. *Small Business Economics*, 49(1), 11–30. <https://doi.org/10.1007/s11187-017-9865-7>
- Cantner U., Cunningham J.A., Lehmann E.E., Menter M. (2021) Entrepreneurial ecosystems: A dynamic lifecycle model. *Small Business Economics*, 57(1), 407–423. <https://doi.org/10.1007/s11187-020-00316-0>
- Carter W., Pezeshkan A. (2023) The complexity of entrepreneurial ecosystem evolution and new venture policy: The case of the U.S. commercial space ecosystem. *Technological Forecasting and Social Change*, 192, 122568. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122568>
- Cloutier L., Messegueh K. (2022) Whirlwind model of entrepreneurial ecosystem path dependence. *Small Business Economics*, 59(2), 611–625. <https://doi.org/10.1007/s11187-021-00553-x>
- Colovic A., Schruoffenegger M. (2022) Entrepreneurship for deprived urban communities: Exploring the role of micro-entrepreneurship. *European Management Review*, 19(3), 450–461. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/emre.12458>
- Daniel L.J., de Villiers Scheepers M.J., Miles M.P., de Klerk S. (2022) Understanding entrepreneurial ecosystems using complex adaptive systems theory: getting the big picture for economic development, practice, and policy. *Entrepreneurship & Regional Development*, 34(9–10), 911–934. <https://doi.org/10.1080/08985626.2022.2083691>
- Fredin S., Lidén A. (2020) Entrepreneurial ecosystems: Towards a systemic approach to entrepreneurship? *Geografisk Tidsskrift – Danish Journal of Geography*, 120(2), 87–97. <https://doi.org/10.1080/00167223.2020.1769491>
- Fuentelsaz L., Maicas J.P., Montero J. (2023) The social status of entrepreneurs: An analysis of informal and formal institutional determinants. *European Management Review*, 12616 (ahead-of-print). <https://doi.org/10.1111/emre.12616>
- Han J., Ruan Y., Wang Y., Zhou H. (2021) Toward a complex adaptive system: The case of the Zhongguancun entrepreneurship ecosystem. *Journal of Business Research*, 128, 537–550. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.11.077>
- Isenberg D. (2010) How to start an entrepreneurial revolution. *Harvard Business Review*, 88, 40–51.
- Khurana I., Dutta D.K., Singh Ghura A. (2022) SMEs and digital transformation during a crisis: The emergence of resilience as a second-order dynamic capability in an entrepreneurial ecosystem. *Journal of Business Research*, 150, 623–641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.06.048>
- Kuratko D.F., Fisher G., Bloodgood J.M., Hornsby J.S. (2017) The paradox of new venture legitimization within an entrepreneurial ecosystem. *Small Business Economics*, 49(1), 119–140. <https://doi.org/10.1007/s11187-017-9870-x>
- Malecki E.J. (2018) Entrepreneurship and entrepreneurial ecosystems. *Geography Compass*, 12(3), e12359. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gec3.12359>
- Moraes G.H.S.M., Schaeffer P.R., Alves A.C., Heaton S. (2025) Exploring a link between faculty intrapreneurship, student entrepreneurship and ecosystem dynamism. *Journal of Entrepreneurship in Emerging Economies*, 17(2), 336–356. <https://doi.org/10.1108/JEEE-09-2023-0356>

Phillips M.A., Ritala P. (2019) A complex adaptive systems agenda for ecosystem research methodology. *Technological Forecasting and Social Change*, 148, 119739. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119739>

Rouhani S., Ashrafi A., Afshari S. (2013) Segmenting critical success factors for ERP implementation using an integrated fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL approach. *World Applied Sciences Journal*, 22, 1066–1079. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.22.08.631>

Roundy P.T., Bradshaw M., Brockman B.K. (2018) The emergence of entrepreneurial ecosystems: A complex adaptive systems approach. *Journal of Business Research*, 86, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.01.032>

Shakib M., Sohag K., Mariev O., Samargandi N., Ferraris A. (2023) Innovation and credit market deepening: Evidence from Russian region. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(3), 100391. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100391>

Shirokova G., Beliaeva T., Manolova T.S. (2022) The Role of Context for Theory Development: Evidence From Entrepreneurship Research on Russia. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 47(6), 2384–2418. <https://doi.org/10.1177/10422587221138226>

Simon H.A. (1962) The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482.

Spigel B., Harrison R. (2018) Toward a process theory of entrepreneurial ecosystems. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 12(1), 151–168. <https://doi.org/10.1002/sej.1268>

Stam E. (2015) Entrepreneurial Ecosystems and Regional Policy: A Sympathetic Critique. *European Planning Studies*, 23(9), 1759–1769. <https://doi.org/10.1080/09654313.2015.1061484>

Stam E., van de Ven A. (2021) Entrepreneurial ecosystem elements. *Small Business Economics*, 56(2), 809–832. <https://doi.org/10.1007/s11187-019-00270-6>

Valdez M.E., Richardson J. (2013) Institutional Determinants of Macro-Level Entrepreneurship. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 37(5), 1149–1175. <https://doi.org/10.1111/etap.12000>

Van De Ven H. (1993) The development of an infrastructure for entrepreneurship. *Journal of Business Venturing*, 8(3), 211–230. [https://doi.org/10.1016/0883-9026\(93\)90028-4](https://doi.org/10.1016/0883-9026(93)90028-4)

Vedula S., Kim P.H. (2019) Gimme shelter or fade away: The impact of regional entrepreneurial ecosystem quality on venture survival. *Industrial and Corporate Change*, 28(4), 827–854. <https://doi.org/10.1093/icc/dtz032>

Vicentin D.C., Moraes G.H.S.M., Fischer B.B., Campello B.S.C., Prado N.B., Anholon R. (2024) The interdependence between the Entrepreneurial Ecosystem and Entrepreneurial Culture – An analysis with sustainable and traditional entrepreneurs. *Journal of Cleaner Production*, 466, 142821. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142821>

Yakovlev A. (2006) The Evolution of Business: State Interaction in Russia: From State Capture to Business Capture? *Europe-Asia Studies*, 58(7), 1033–1056. <http://www.jstor.org/stable/20451287>

Zhang Z.-X., Wang L., Wang Y.-M., Martínez L. (2023) A novel alpha-level sets based fuzzy DEMATEL method considering experts' hesitant information. *Expert Systems with Applications*, 213, 118925. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118925>

Zhao X., Xu Y., Vasa L., Shahzad U. (2023) Entrepreneurial ecosystem and urban innovation: Contextual findings in the lens of sustainable development from China. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122526. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122526>

Приложение 1. Матрица нечетких связей (IT01)

	IT ₁ - IT ₁	IT ₁ - IT ₂	IT ₁ - IT ₃	IT ₁ - IT ₄	IT ₁ - IT ₅	IT ₁ - IT ₆	IT ₁ - IT ₇
R1	[0,0,0,0,0]	[0,25,0,5,0,75]	[0,75,1,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,75,1,1]
R2	[0,0,0,0,0]	[0,75,1,1]	[0,0,0,25,0,5]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]
R3	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]
R4	[0,0,0,0,0]	[0,0,0,25,0,5]	[0,25,0,5,0,75]	[0,0,0,25,0,5]	[0,25,0,5,0,75]	[0,0,0,25,0,5]	[0,0,25,0,5]
R5	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]
R6	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]
R7	[0,0,0,0,0]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]
R8	[0,0,0,0,0]	[0,25,0,5,0,75]	[0,75,1,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,25,0,5,0,75]
R9	[0,0,0,0,0]	[0,75,1,1]	[0,0,0,25,0,5]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]
R10	[0,0,0,0,0]	[0,75,1,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,75,1,1]	[0,25,0,5,0,75]
R11	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,0,0,25,0,5]	[0,0,0,25,0,5]	[0,0,0,25,0,5]	[0,25,0,5,0,75]
R12	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,75,1,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,0,0,25,0,5]
R13	[0,0,0,0,0]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]
R14	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]
R15	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]
R16	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]
R17	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,0,0,25,0,5]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,0,0,25,0,5]	[0,0,0,25,0,5]
R18	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]
R19	[0,0,0,0,0]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,0,0,25,0,5]	[0,0,0,25,0,5]
R20	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]
R21	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]
R22	[0,0,0,0,0]	[0,0,0,0,25]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]
R23	[0,0,0,0,0]	[0,5,0,75,1]	[0,75,1,1]	[0,5,0,75,1]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,75,1,1]
R24	[0,0,0,0,0]	[0,75,1,1]	[0,0,0,25,0,5]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]	[0,5,0,75,1]
R25	[0,0,0,0,0]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]	[0,0,0,25,0,5]	[0,0,0,0,25]	[0,25,0,5,0,75]	[0,25,0,5,0,75]
Агрегат	[0,0,0,0,0]	[0,44,0,68,0,89]	[0,43,0,68,0,88]	[0,40,0,65,0,87]	[0,39,0,63,0,85]	[0,32,0,56,0,79]	[0,35,0,59,0,81]

Источник: составлено авторами.

Приложение 2. Матрица нечетких связей (IT07)							
	IT ₁ - IT ₁	IT ₁ - IT ₂	IT ₁ - IT ₃	IT ₁ - IT ₄	IT ₁ - IT ₅	IT ₁ - IT ₆	IT ₁ - IT ₇
R1	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.75,1,1]	[0.0,0.0,0.25]	[0.75,1,1]	[0.75,1,1]	[0.0,0.0,0.0]
R2	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.75,1,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R3	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.75,1,1]	[0.75,1,1]	[0.0,0.0,0.0]
R4	[0.0,0.0,0.25]	[0.0,0.0,0.25]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.25,0.5]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.0,0.0]
R5	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R6	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.0,0.0]
R7	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.0,0.0]
R8	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.75,1,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.75,1,1]	[0.75,1,1]	[0.0,0.0,0.0]
R9	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.75,1,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R10	[0.75,1,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.75,1,1]	[0.75,1,1]	[0.0,0.0,0.0]
R11	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.0,0.25,0.5]	[0.0,0.25,0.5]	[0.0,0.25,0.5]	[0.0,0.0,0.0]
R12	[0.75,1,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.75,1,1]	[0.0,0.0,0.0]
R13	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.0,0.0]
R14	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R15	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R16	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.0,0.0]
R17	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.75,1,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.0,0.0,0.0]
R18	[0.0,0.25,0.5]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.75,1,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R19	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.75,1,1]	[0.75,1,1]	[0.75,1,1]	[0.75,1,1]	[0.0,0.0,0.0]
R20	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.25]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.25,0.5]	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R21	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.0,0.0]
R22	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.25,0.5]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R23	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.0,0.0]
R24	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.5,0.75,1]	[0.0,0.25,0.5]	[0.75,1,1]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
R25	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.25,0.5,0.75]	[0.0,0.0,0.0]
Агрегат	[0.40,0.64,0.87]	[0.24,0.47,0.72]	[0.46,0.70,0.91]	[0.27,0.49,0.73]	[0.53,0.78,0.94]	[0.42,0.67,0.86]	[0.0,0.0,0.0]
Источник: составлено авторами.							

Приложение 3. Сводная матрица нечетких связей							
	IT ₁	IT ₂	IT ₃	IT ₄	IT ₅	IT ₆	IT ₇
IT ₁	[0.0,0.0,0.0]	[0.44,0.68,0.89]	[0.43,0.68,0.88]	[0.4,0.65,0.87]	[0.39,0.63,0.85]	[0.32,0.56,0.79]	[0.35,0.59,0.81]
IT ₂	[0.09,0.27,0.52]	[0.0,0.0,0.0]	[0.28,0.52,0.74]	[0.2,0.41,0.64]	[0.43,0.66,0.89]	[0.39,0.63,0.87]	[0.23,0.43,0.67]
IT ₃	[0.26,0.51,0.73]	[0.27,0.52,0.75]	[0.0,0.0,0.0]	[0.44,0.69,0.91]	[0.44,0.69,0.9]	[0.31,0.56,0.78]	[0.49,0.73,0.93]
IT ₄	[0.24,0.43,0.65]	[0.38,0.63,0.86]	[0.46,0.71,0.89]	[0.0,0.0,0.0]	[0.43,0.67,0.86]	[0.23,0.46,0.71]	[0.27,0.52,0.76]
IT ₅	[0.16,0.4,0.64]	[0.29,0.53,0.76]	[0.49,0.74,0.93]	[0.34,0.58,0.8]	[0.0,0.0,0.0]	[0.2,0.42,0.66]	[0.5,0.75,0.91]
IT ₆	[0.32,0.55,0.77]	[0.19,0.4,0.63]	[0.31,0.56,0.79]	[0.23,0.46,0.69]	[0.51,0.76,0.94]	[0.0,0.0,0.0]	[0.55,0.8,0.933]
IT ₇	[0.4,0.64,0.87]	[0.24,0.47,0.72]	[0.45,0.7,0.91]	[0.27,0.49,0.73]	[0.53,0.78,0.94]	[0.42,0.67,0.86]	[0.0,0.0,0.0]
Источник: составлено авторами.							

Экспансия единорогов: моделирование распространения уникальных стартапов

Бесма Теффахи

Старший преподаватель, basma.toufahi@esct.uma.tn

Ламия Буазиз

Старший преподаватель, lamia.bouaziz@esct.uma.tn

Высшая школа коммерции Туниса (École Supérieure de Commerce de Tunis, ESCT), Университет Мануба (University of Manouba), Тунис, ThEMA_LR16ES10, Campus universitaire Manouba, 2010, Tunisia

Аннотация

Стартапы-единороги стали символом предпринимательского успеха, драйверами инноваций и создания богатства. В круг стран с развитой культурой предпринимательства и значительной концентрацией единорогов входят ведущие мировые экономики: США, Китай, Индия, Великобритания, Германия, Франция, Нидерланды и Швеция. Наибольшее распространение эти компании получили в секторах финтеха, здравоохранения и транспорта, что делает указанные отрасли наиболее релевантными для анализа. Цель работы — моделирование и прогнозирование экспансии единорогов посредством трех- и четырехпараметрических логистических моделей и сигмоидных моделей роста Гомпертца на базе платформы Dealroom. Устранение пробела в изучении численности единорогов предоставит политикам и инвесторам важные сведения о предельной емкости рынка стартапов данного типа и сроках его насыщения.

Результаты исследования показывают, что модель Гомпертца предлагает оптимистичные оценки уровня насыщения рынка единорогами, тогда как прогнозы логистической модели отличаются большей реалистичностью как по текущим данным, так и согласно прогнозной динамике. Трехпараметрическая модель Гомпертца оптимальна для анализа распространения единорогов в Китае, логистическая трехпараметрическая — для США, Великобритании и всех отраслей, а четырехпараметрическая логистическая наилучшим образом объясняет динамику в Индии, Германии, Франции, Нидерландах и Швеции. Прогнозы указывают, что все изученные страны и секторы, за исключением США и финтеха, достигнут точки насыщения к 2030 г. Данные выводы имеют ключевое значение для стратегического планирования, регулирования, разработки политики и формирования инвестиционных портфелей.

Ключевые слова: стартапы-единороги; диффузия инноваций; прогнозирование; предпринимательская деятельность; логистическая модель; модель Гомпертца

Цитирование: Teffahi B., Bouaziz L. (2025) Modeling and Forecasting the Diffusion of Unicorn Startups. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 54–67. <https://doi.org/10.17323/fstg.2025.24447>

Modeling and Forecasting the Diffusion of Unicorn Startups

Besma Teffahi

Assistant Professor, basma.toufahi@esct.uma.tn

Lamia Bouaziz

Assistant Professor, lamia.bouaziz@esct.uma.tn

Higher School of Commerce of Tunis ESCT, University of Manouba, ThEMA_LR16ES10, Campus universitaire Manouba, 2010, Tunisia

Abstract

Unicorn startups have become symbols of entrepreneurial success and fundamental drivers of innovation and wealth creation. This study examines the diffusion process of unicorns across eight countries (the US, China, India, the UK, Germany, France, the Netherlands, and Sweden) and three industries (Fintech, Health, and Transport). The aim of this research is to model and forecast the diffusion of unicorn startups using three- and four-parameter Logistic and Gompertz sigmoid growth models, leveraging data from the Dealroom database. By addressing this research gap, the study seeks to provide valuable information for policymakers and investors regarding the ultimate potential number of unicorns and the time to saturation. The findings indicate that the Gompertz model generates highly optimistic estimates of unicorn saturation levels, while the Logistic model produces more realistic projections for both fitting existing data and forecasting future

trends. Specifically, the three-parameter Gompertz model is suited for analyzing unicorn diffusion in China. The three-parameter Logistic model is appropriate for analyzing unicorn diffusion in the USA, the UK, and all studied sectors. Meanwhile, the four-parameter Logistic model is the best model for explaining unicorn diffusion in India, Germany, France, the Netherlands, and Sweden. The results also reveal that India has the highest estimated speed of unicorn diffusion (97%), while the US exhibits the highest saturation level (6,241 unicorns). Sectoral analysis shows that Fintech has the lowest estimated diffusion speed (43.1%), but the highest saturation level (1,630 unicorns). Our forecasting analyses suggest that all selected countries and sectors — except the US and Fintech — are likely to reach unicorn saturation by around 2030. These findings provide critical insights for planning, regulation, policy formulation, and portfolio decision-making.

Keywords: unicorn startups; innovation diffusion; forecasting; entrepreneurial performance; Logistic model; Gompertz model

Citation: Teffahi B., Bouaziz L. (2025) Modeling and Forecasting the Diffusion of Unicorn Startups. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 54–67. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.24447>

За последнее десятилетие понятие «стартап-единорог» — частная компания с капитализацией свыше 1 млрд долл. — стало ассоциироваться с предпринимательским успехом и технологическими инновациями. С момента появления данного термина, предложенного венчурным инвестором Эйлин Ли (Aileen Lee) в 2013 г.¹, численность единорогов в мире увеличивалась экспоненциально: если в 2013 г. их насчитывалось лишь 38, то к началу 2023 г. — уже более 2600.² Несмотря на столь стремительный рост, единороги остаются редким явлением. В частности, в Европе только один стартап из 100, получивших «семенное» финансирование, достигает этого уровня капитализации.³

Единороги рождаются на стыке подрывных технологий и масштабируемых бизнес-моделей. Такие компании трансформируют традиционные отрасли, предлагая более эффективные и доступные, преимущественно цифровые решения (Stadler, 2016; Meek, Cowden, 2023; WIPO, 2023). Рост их числа особенно ускорился после пандемии COVID-19: только в 2021 г., на фоне глобальной цифровизации, высокого предложения венчурного капитала и совершенствования нормативной среды, появились 472 новые компании, достигшие этого статуса. В США почти ежедневно возникал новый единорог, в Индии и Китае — примерно каждые 10 дней, в Германии и Великобритании — раз в две недели, во Франции — ежемесячно, а в Нидерландах и Швеции — каждые два месяца.

Как правило, компаниям в среднем требуется не менее пяти лет для достижения подобного уровня капитализации (Venancio et al., 2023), однако отдельные фирмы, такие как ClickHouse (США), Gorillas (ЕС) и iCarbonX (Китай), достигли статуса единорога менее чем за год, что свидетельствует об исключительной адаптивности ряда предприятий в периоды системных кризисов (Kuckertz et al., 2020; Rodrigues, 2021). Столь стремительный рост ставит вопрос о том, *сохранится ли высокая динамика появления единорогов или рынок уже приближается к стадии насыщения.*

Несмотря на высокий уровень банкротств стартапов и усиливающуюся макроэкономическую волатильность, рост числа единорогов открывает стратегические перспективы и инновационные возможности. Хотя концепция творческого разрушения (Schumpeter, 1943) сохраняет актуальность для анализа потенциала таких компаний, масштаб, скорость их возникновения и пространственная неравномерность распределения остаются недостаточно изученными и теоретически омысленными.

Число исследований ключевых детерминант успеха единорогов продолжает увеличиваться. Например, в работе (Guo, Zhang, 2021) на базе методологии нечеткого сравнительного качественного анализа (fsQCA) подтверждено влияние новых отраслей, благоприятных экосистем, платформенных бизнес-моделей и доступа

к капиталу на развитие таких компаний в Китае. В исследовании (Venancio et al., 2023), охватившем 766 единорогов из 39 стран, отмечается роль инновационного потенциала, инфраструктуры и обеспеченности ресурсами. Анализ мобильности основателей показал, что почти 40% единорогов созданы при участии иностранных предпринимателей (Куценко и др., 2022).

Хотя упомянутые работы содержат ценные идеи и эмпирический материал, в них редко применяются инструменты системного моделирования или оценки распространения единорогов в отдельных странах и отраслях. В ряде публикаций отмечается нелинейный и неравномерный характер их роста, однако анализ часто опирается на неverified данные или описание отдельных бизнес-моделей (Urbinati et al., 2018; Trabucchi et al., 2019). Подобный подход оказывается малоприменимым для расчета будущих тенденций и сравнительного анализа национальных инновационных экосистем.

Целью настоящего исследования является заполнение отмеченного пробела путем моделирования динамики распространения единорогов в восьми странах (США, Китае, Индии, Великобритании, Германии, Франции, Нидерландах, Швеции) и трех ключевых секторах — финтехе, здравоохранении и транспорте. На основе данных платформы Dealroom, отслеживающей общую численность единорогов за 2000–2022 гг., была оценена траектория их роста с помощью трех- и четырехпараметрических логистических моделей и модели Гомпертца. Указанный методологический подход имеет очевидные преимущества, предлагая количественный фундамент для анализа нелинейного роста и прогнозирования точек насыщения.

На рассмотрение вынесены следующие вопросы:

1. Возможно ли эффективное моделирование распространения единорогов с применением моделей с S-образной кривой?
2. Какая из моделей — логистическая трехпараметрическая, четырехпараметрическая или Гомпертца — точнее отражает динамику их экспансии в различных странах и отраслях?
3. Чем отличаются траектории роста единорогов в разных национальных или отраслевых контекстах?
4. Какие факторы обуславливают эти различия?
5. Каковы прогнозируемые точки насыщения и предельные значения численности единорогов в разных странах и секторах?
6. Какие практические рекомендации могут быть предложены инвесторам, политикам и участникам инновационных экосистем?

Вклад исследования в существующий массив публикаций по теме связан со следующими аспектами.

Во-первых, логистические модели роста и модели Гомпертца, которые служат традиционным инструментом анализа диффузии технологий, впервые адаптиро-

¹ <https://techcrunch.com/2013/11/02/welcome-to-the-unicorn-club/>, дата обращения 12.09.2024.

² <https://dealroom.co/>, дата обращения 18.01.2025.

³ <https://2020.stateofeuropeantech.com/chapter/state-european-tech-2020/>, дата обращения 06.02.2025.

ваны для изучения динамики единорогов. В рамках теории диффузии инноваций (*diffusion of innovation theory*) (Rogers, 1962) работа расширяет область применения S-образных кривых с продуктового до организационного уровня. Вопреки утверждениям о несовместимости сигмоидных моделей с экспоненциальным ростом стартапов (Urbinati et al., 2018) результаты демонстрируют, что такие модели адекватно описывают базовую динамику распространения единорогов. При этом в большинстве национальных и отраслевых контекстов логистические модели превосходят модели Гомпертца по точности.

Во-вторых, применение трех- и четырехпараметрических спецификаций позволило смоделировать экспансию единорогов с большей гибкостью и степенью детализации. В ряде работ (Akin et al., 2020; Korkmaz, 2020) отмечается, что четырехпараметрические модели обеспечивают более точные прогнозы в условиях отложенного запуска или раннего насыщения. Полученные результаты подтверждают вывод: четырехпараметрические модели наиболее полно отражают уникальную динамику роста единорогов.

В-третьих, реализованный сравнительный подход учитывает различия между странами и секторами. Соотнесение прогнозируемых траекторий распространения с контекстуальными переменными, такими как интенсивность венчурного капитала, нормативно-правовая среда и предпринимательская мобильность, позволило объяснить, почему в ряде стран (например, в США и Китае) и отраслей (например, в финтехе) единороги распространяются быстрее. Сопоставление позволило также выявить страны и отрасли, приближающиеся к точке насыщения, и те, чей потенциал дальнейшего роста остается значительным.

Полученные результаты представляют практическую ценность для инвесторов, политиков и предпринимателей. Надежные предсказания появления единорогов необходимы при распределении венчурного капитала, формировании инновационной политики и разработке стратегий масштабирования быстрорастущих компаний. В частности, в финтехе насыщение будет достигаться медленнее по сравнению с сектором медицинских технологий и транспортом, что требует дифференцированного подхода к государственной поддержке и инвестиционному планированию. Для предпринимателей сопоставление индивидуальных траекторий роста с отраслевой динамикой позволяет оптимизировать подходы к развитию бизнеса. Результаты также могут быть полезны при прогнозировании рыночной конъюнктуры и совершенствовании корпоративных стратегий, включая слияния, поглощения и партнерства.

Хотя некоторые исследователи предостерегают от переоценки значения единорогов как символа предпринимательства (Aldrich, Ruef, 2018), эмпирические данные подтверждают критическую роль этих компаний в формировании инноваций, создании рабочих мест и стимулировании экономического роста (Shane, 2009; OECD, 2021; Testa et al., 2022; Shahid, 2023). В 2021 г. в Европе единороги обеспечили более 135 000 рабочих

мест (Huebl et al., 2022), а их концентрация относится к важнейшим индикаторам в глобальных инновационных рейтингах (WIPO, 2023). Поддержка их создания и развития выступает ключевым элементом национальных программ развития (Kuratko, Audretsch, 2021; Kuckertz et al., 2020, 2023).

В условиях растущей конкуренции и инновационной ориентации мировой экономики способность моделировать и предсказывать распространение единорогов приобретает стратегическое значение. На базе интеграции теории диффузии инноваций с эмпирическими данными о стартап-экосистемах предложена новая количественная рамка для анализа и прогнозирования траекторий роста таких компаний.

Теоретическая основа и формулировка гипотез

Концептуальной основой исследования послужила теория диффузии инноваций. Для моделирования траекторий роста единорогов применялись логистическая модель распространения и модель Гомпертца.

Теория диффузии инноваций была систематически изложена Эвереттом Роджерсом (Rogers, 1962). Диффузия определяется как процесс, в ходе которого инновации — новые идеи, практики или технологии — циркулируют по коммуникационным каналам внутри социальной системы во времени. Ключевыми элементами процесса считаются сама инновация, коммуникационные каналы, временной фактор, структура социальной системы и механизм принятия решений о внедрении. Для описания неравномерной диффузии инноваций между различными категориями Роджерсом выделены пять групп пользователей: новаторы, ранние последователи, раннее большинство, позднее большинство и отстающие.

На базе теории диффузии инноваций разработаны количественные модели анализа временной динамики их распространения. Среди наиболее известных — логистическая модель и модель Гомпертца, описывающие накопленное принятие инноваций в форме S-образной кривой. Кривая описывает три фазы:

1. Медленное первоначальное принятие.
2. Ускоренный рост — период признания инновации и повышения спроса на нее.
3. Замедление по мере приближения рынка к насыщению.

Обе модели опираются на исследования 19 в. в области биологии и демографии, ныне применяемые в маркетинге, технологическом прогнозировании, эпидемиологии и других дисциплинах. Эмпирическая значимость подходов подтверждена их активным применением для моделирования распространения инфекции в период пандемии COVID-19 (Pelinkovsky et al., 2022; Satoh, 2021).

Хотя указанные модели зарекомендовали себя как надежный инструмент в различных дисциплинах, их применимость к анализу «высокоскоростной» инновационной активности в цифровую эпоху, в том числе динамики единорогов, остается предметом научных дискуссий. Для таких компаний характерны платформенный принцип организации, глобальная масшта-

бируемость и опора на венчурное финансирование. Как следствие, возможны отклонения траекторий распространения от классических S-образных кривых (Urbinati et al., 2018; Trabucchi et al., 2019).

Однако исторический опыт показывает, что даже подрывные инновации, в том числе автомобиль, электричество или телевидение, при корректной параметризации поддаются точному моделированию на базе закономерностей роста (Meade, Islam, 2015). Это свидетельствует об адаптивности и сохраняющейся актуальности таких моделей в условиях радикальных технологических изменений. Единороги обладают ключевыми трансформационными чертами: тесная связь с цифровизацией, прорывной характер, высокая скорость реализации и способность преобразовывать целые отрасли. Эти особенности делают их подходящими объектами для эмпирического анализа с применением нелинейных кривых распространения, в первую очередь логистических моделей и моделей Гомпертца.

В исследовании проведен сравнительный анализ экспансии единорогов по странам и секторам с применением указанных моделей, позволивших оценить ключевые динамические параметры: максимальный рыночный потенциал (M), темпы роста (α) и точку перегиба кривой (β). Логистическая модель, основанная на симметричной S-образной кривой, эффективна при равномерном распространении на ранних и поздних этапах. Модель Гомпертца с асимметричной S-образной кривой отражает сценарии, при которых начальное проникновение происходит постепенно, а на последующих стадиях происходит резкое ускорение.

Согласно недавним исследованиям (Akin et al., 2020; Korkmaz, 2020), четырехпараметрические версии логистической модели и модели Гомпертца превосходят трехпараметрические аналоги по точности прогнозов и соответствию данным. Трехпараметрические модели (как логистическая, так и Гомпертца) предполагают нулевой начальный уровень, что часто не соответствует реальным условиям. Фактически в ряде стран уже существует базовый уровень предпринимательской активности или развитая технологическая экосистема. Четырехпараметрическая модель, включающая параметр нижней асимптоты, учитывает наличие ненулевой начальной точки, позволяя гибко работать с данными, даже при неточных исходных значениях.

В соответствии с методологиями, описанными в работах (Jha, Saha, 2020; Akin et al., 2020), нами применялись как трех-, так и четырехпараметрические версии логистической модели и модели Гомпертца. Подробное описание представлено в следующих подразделах.

Логистическая модель

Логистическая кривая симметрична относительно точки перегиба. Трехпараметрическая логистическая модель (LM3P) описывается уравнением:

$$U(t) = \frac{M}{1+e^{-\alpha(t-\beta)}}, \quad (1)$$

где M , α и β — положительные параметры, определяющие соответственно максимальный рыночный потенциал (предельную численность единорогов), темп роста и точку перегиба (момент максимальной скорости роста, соответствующий уровню $M/2$, по достижении которого она начинает снижаться).

Четырехпараметрическая версия модели (LM4P) принимает вид:

$$U(t) = A + \frac{B}{1+e^{-\alpha(t-\beta)}}, \quad (2)$$

где A соответствует нижней асимптоте (базовому уровню), B — асимптотической величине роста численности единорогов по мере увеличения t , а $A+B=M$.

Модель Гомпертца

Кривая Гомпертца асимметрична относительно точки перегиба. Трехпараметрическая модель Гомпертца (GM3P) описывается уравнением:

$$U(t) = Me^{-e^{-\alpha(t-\beta)}}, \quad (3)$$

где M , α и β — положительные параметры, определяющие соответственно максимальный рыночный потенциал (предельную численность единорогов), темп роста и точку перегиба (момент максимальной скорости роста, соответствующий уровню $M/e \approx 36.8\%$, по достижении которого она начинает снижаться).

Четырехпараметрическая версия модели (GM4P) принимает вид:

$$U(t) = C + De^{-e^{-\alpha(t-\beta)}}, \quad (4)$$

где C соответствует нижней асимптоте, D — асимптотической величине роста численности единорогов по мере увеличения t , а $C+D=M$.

Гипотезы исследования

Анализ динамики распространения единорогов с применением классических моделей роста позволил эмпирически оценить, насколько логистическая модель и модель Гомпертца отражают межстрановые и межотраслевые траектории таких стартапов. В исследовании сформулированы и проверены следующие гипотезы:

Н₁: Экспансия единорогов следует S-образной кривой роста, которая эффективно описывается логистической моделью или моделью Гомпертца в рамках классической теории диффузии инноваций.

Н₂: Модель Гомпертца более адекватна для рынков с быстрым ростом на ранних стадиях и опережающим насыщением, вызванным нормативными или структурными ограничениями.

Н₃: Логистическая модель точнее отражает динамику в странах, в которых структурные, экономические и институциональные условия обеспечивают устойчивое сбалансированное масштабирование, что соответствует допущениям модели о симметричном росте вокруг точки перегиба.

Н₄: Характер распространения единорогов демонстрирует значительные межстрановые различия вследствие институциональной неоднородности, инновационного потенциала, доступности венчурного капитала и развития предпринимательских экосистем.

Н₅: Отраслевые факторы (нормативные барьеры, технологическая зрелость и стадия жизненного цикла продукта) существенно влияют на темпы, динамику и предельные величины распространения единорогов.

Методология и данные

Анализ начинается с описания массива данных (подробнее в следующем подразделе) для предварительной оценки первой гипотезы о применимости логистической модели и модели Гомпертца к распространению единорогов. Далее реализован трехэтапный методологический подход.

Этап 1: Оценка моделей. Параметры моделей распространения, представленные уравнениями (1)–(4), оцениваются для каждой страны и отрасли в выборке методом нелинейной регрессии наименьших квадратов (NLS). Наиболее подходящей считается модель с максимальным скорректированным значением R^2 и минимальной среднеквадратической ошибкой (RMSE).

Этап 2: Прогнозирование и валидация. На базе полученных параметров прогнозируется распространение единорогов по странам и отраслям на период 2023–2033 гг. Точность прогнозов определяется двумя ключевыми показателями: средней абсолютной ошибкой (MAE) и средней абсолютной ошибкой в процентах (MAPE). Наиболее надежной признается модель с минимальными значениями.

Этап 3: Сравнительный анализ динамики экспансии. Для оценки неоднородности процесса сопоставляются соответствующие параметры (темпы роста, точка перегиба, рыночный потенциал) в страновом и секторальном разрезах. Это позволяет выявить влияние институциональных структур, цифровой инфраструктуры и инновационных экосистем на межстрановые различия, а также роль технологической зрелости, регуляторных механизмов и инновационных циклов — на отраслевые.

Данные и описательный анализ

Для оценки применимости и предиктивного потенциала логистической модели и модели Гомпертца в отношении распространения единорогов привлечены временные ряды данных о совокупном количестве таких компаний на базе платформы Dealroom («Клуб единорогов»). Этот ресурс, созданный в 2013 г., содержит сведения о технологических фирмах, основанных с 1990 г., преимущественно в странах ЕС. Dealroom считается наиболее полным и авторитетным источником данных о быстрорастущих предприятиях, агрегируя подробную информацию о динамике финансирования, капитализации и инвесторах (Veugelers, Amaral-Garcia, 2025). Она является одной из наиболее цитируемых баз данных для отслеживания развития стартапов, масштабирования фирм и единорогов, что делает ее оптимальной для изучения их экспансии. Dealroom приме-

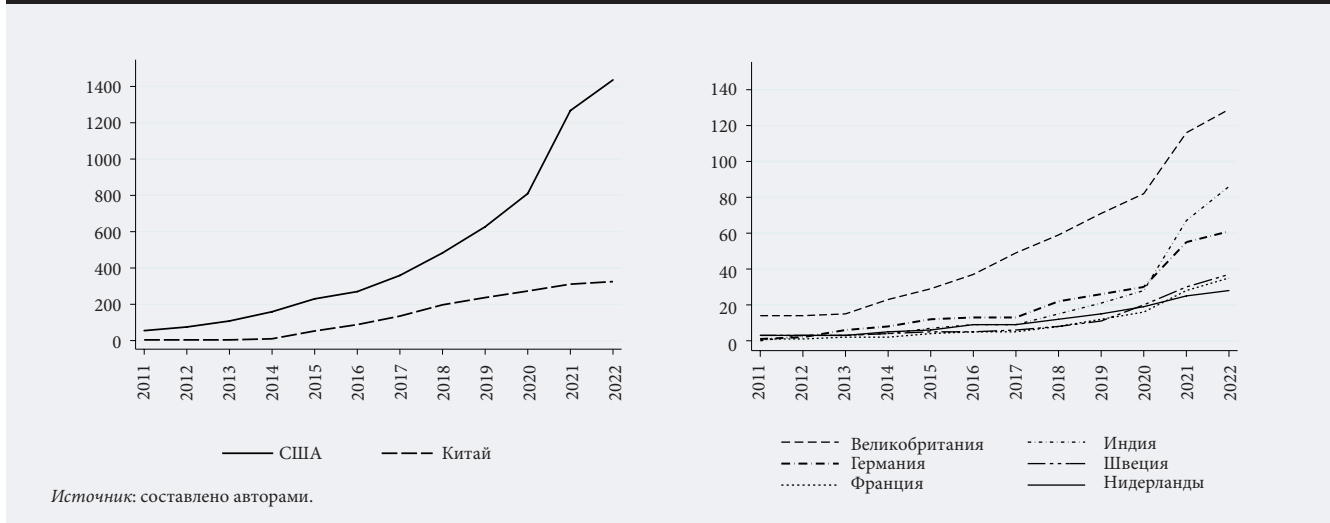
нялась в нескольких предшествующих исследованиях (Burstrom et al., 2023; El-Dardiry, Vogt, 2023; Testa et al., 2022). Прозрачная методология идентификации единорогов обеспечивает последовательную классификацию, которая позволяет анализировать их распространение в разных регионах и отраслях.

Dealroom, включая такой его сегмент, как «Клуб единорогов», выступает эффективным аналитическим инструментом благодаря регулярным обновлениям и структурированной организации данных (Retterath, Braun, 2020). Ресурс отслеживает появление новых единорогов, изменения их статуса и динамику финансирования практически в реальном времени. В отличие от традиционных источников Dealroom минимизирует временной лаг в предоставлении актуальной информации (van Meeteren et al., 2022). База содержит подробные сведения о появлении новых единорогов и их совокупной численности по континентам, странам и отраслям с 2000 г. По сравнению с альтернативными вариантами (CB Insights, Crunchbase, PitchBook) она отличается глобальным охватом, включая развивающиеся рынки, и интеграцией проприетарных и открытых источников. Информация аккумулируется разными методами: автоматизированным сбором общедоступных данных (пресс-релизы, отчеты венчурных фирм, объявления о вакансиях, реестры доменов), партнерством с государственными ведомствами и ручной верификацией для обеспечения точности (El-Dardiry, Vogt, 2023). Также Dealroom применяет широкие отраслевые критерии с учетом специфики европейских экосистем (Burstrom et al., 2023; Leendertse et al., 2022).

Наряду с отмеченными преимуществами Dealroom, как и другие коммерческие базы венчурных инвестиций, обладает определенными ограничениями. Сведения, предоставляемые подобными поставщиками данных о стартапах, страдают неполнотой, поскольку инвестиционные сделки часто носят закрытый характер, и многие инвесторы представляют выборочную отчетность (Testa et al., 2022). Хотя платформа обеспечивает широкий глобальный охват, сохраняются региональные пробелы, особенно в отношении азиатско-тихоокеанской экосистемы. Репрезентативность Dealroom подтверждена в исследовании (van Meeteren et al., 2022) через сопоставление с базой Crunchbase. В обоих массивах выявлены сходные отраслевые и географические закономерности распределения с концентрацией большинства компаний в Северной Америке и Европе. Тем самым, несмотря на частные искажения, Dealroom служит надежным источником для изучения глобального распространения единорогов.

Согласно данным Dealroom, в мире насчитывается 2615 единорогов, 90% которых зарегистрированы всего в 15 странах. На долю США и Китая приходится соответственно 54% и 12,42% общего числа таких компаний. Лидируют отрасли финтех (517 единорогов), здравоохранения (433) и транспорта (234). Массив данных для нашего исследования, загруженный в декабре 2022 г., охватывает период 2000–2022 гг. и включает сведения о совокупной численности единорогов в восьми стра-

Рис. 1. Траектории роста численности единорогов по странам



нах (США, Китай, Индия, Великобритания, Германия, Швеция, Франция и Нидерланды) в трех отраслях-лидерах. Выборка охватывает 80% компаний рассматриваемого типа, что соответствует масштабам аналогичных исследований (Armstrong, 2001; Michalakelis et al., 2008; Lee et al., 2011).

На рис. 1 и 2 отражена динамика роста численности единорогов в восьми странах и трех отраслях за исследуемый период. Как видно, эти траектории соответствуют S-образной кривой, из-за чего прогнозы на основе линейной экстраполяции могут как недооценивать, так и переоценивать фактические тенденции. Распределение единорогов существенно различается по странам и секторам.

Большинство единорогов сосредоточены в США и Китае с явным преимуществом первых (рис. 1). В Европе лидирует Великобритания, за которой следуют Германия, Нидерланды, Швеция и Франция. Индия опережает страны ЕС-27, особенно с 2020 г. С 2014 г. во всех рассматриваемых странах наблюдается непрерывный рост числа единорогов. Пиковых значений он достиг в 2021 г., когда во всех странах, кроме Китая, Нидерландов, Швеции и Великобритании, этот показатель рос максимальными темпами, причем Европа и Индия опережали США и Китай. Те же закономерности наблюдаются и в трех исследованных секторах: большинство единорогов принадлежат к здравоохранению и финтеху, затем идет транспортный сектор (рис. 2).

Результаты и обсуждение

В исследовании применены логистическая модель и модель Гомпертца с тремя и четырьмя параметрами. Расчет коэффициентов уравнений (1)–(4) проведен методом нелинейной регрессии наименьших квадратов (NLS) с помощью пакета STATA 15. Для решения проблемы нелинейности обеих кривых относительно целевых параметров подобраны начальные значения. Полученные оценки послужили основой для прогнозирования переменной U .

Все модели продемонстрировали полное соответствие эмпирическим данным с высокой точностью аппроксимации: скорректированный коэффициент детерминации (Adj_R^2) превысил 95%. Практически все параметры статистически значимы на уровне 1%. Детальное описание результатов по странам и секторам представлено в последующих разделах.

Распространение по странам

Сводные результаты для восьми стран представлены в табл. 1. Построенные модели и все их параметры статистически значимы на уровне 1%, за исключением точки насыщения для США, Великобритании и Германии (табл. 1). Логистическая модель оптимальна для анализа экспансии единорогов в США, Индии, Германии, Великобритании, Франции, Нидерландах и Швеции, демонстрируя более низкое значение среднеквадратической ошибки (RMSE) и более высокий Adj_R^2 по сравнению с моделью Гомпертца. Последняя точнее отражает характер распространения единорогов в случае Китая.

Рис. 2. Траектории роста численности единорогов по секторам

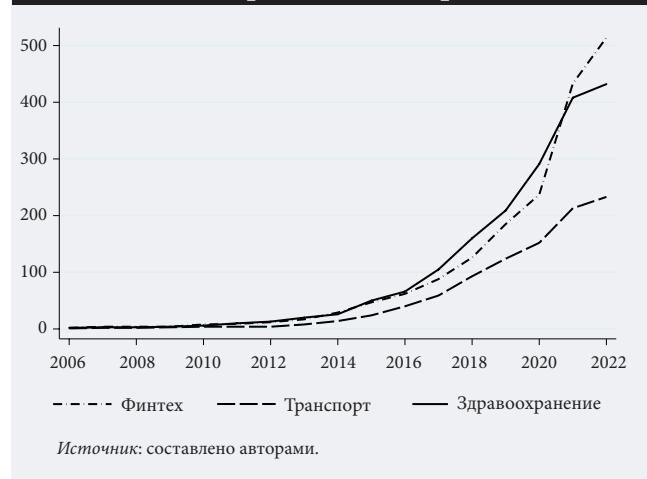


Табл. 1. Оценка параметров распространения единорогов по странам: сравнение моделей

Параметр	Страна							
	США (n=23)		Китай (n=12)		Великобритания (n=13)		Индия (n=13)	
Модель	Логистическая	Гомпертца	Логистическая	Гомпертца	Логистическая	Гомпертца	Логистическая	Гомпертца
M_3P	6241.574	8.94e+09	335.796 *	380.713*	545.113	452195.2	196.359*	6.94e+08
M_4P	5 545,489	-	342,582*	378,268*	381.833	2 358,319	139.889*	313.211
_3P	0.322 *	0.017*	0.694*	0.378*	0.245*	0.024	0.678*	0.028*
_4P	0.331*	-	0.637*	0.385*	0.276**	0.066	0.97*	0.298**
_3P	2025.629*	2182.154*	2017.603*	2016.996 *	2026.676*	2109.214*	2021.719*	2121.446*
_4P	2025.065*	-	2017.574*	2017.007*	2024.435*	2038.416*	2020.835*	2022.305*
В выборке								
Adj R ² _3P	0.995	0.995	0.998	0.999	0.997	0.996	0.987	0.985
Adj R ² _4P	0.993	-	0.996	0.998	0.991	0.991	0.988	0.983
RMSE_3P	34.047	34.978	8.122	5.119	3.683	3.727	4.532	4.849
RMSE_4P	34.825	-	7.583	5.304	3.853	3.841	3.685	4.386
Вне выборки								
MAE_3P	15.412	16.437	5.898	3.791	2.252	2.339	3.227	3.309
MAE_4P	15.685	-	5.194	3.6	2.181	2.151	2.37	2.745
MAPE_3P	0.132	0.135	0.415	0.238	0.063	0.068	0.465	0.373
MAPE_4P	0.417	-	0.467	0.19	0.055	0.052	0.451	0.483

Параметр	Страна							
	Германия (n=13)		Франция (n=13)		Швеция (n=13)		Нидерланды (n=14)	
Модель	Логистическая	Гомпертца	Логистическая	Гомпертца	Логистическая	Гомпертца	Логистическая	Гомпертца
M_3P	2648.196	3.59e+08	15139.13	4.64e+08	81455.96	1.82e+08	186.937	1.26e+08
M_4P	301,384	1.08e+08	91.9**	1.11e+08	48,308*	88,65***	56,765**	236,871
_3P	0.285*	0.017*	0.355*	0.021*	0.319*	0.021*	0.236*	0.013*
_4P	0.349	0.020*	0.496*	0.024*	0.834*	0.295**	0.347*	0.091***
_3P	2035.042*	2182.009*	2039.03*	2157.377*	2046.163	2153.066*	2029.22	2224.1 *
_4P	2025.92 *	2154.355 *	2022.98*	2132.8*	2020.632*	2021.679*	2022.15*	2030.601*
В выборке								
Adj R ² _3P	0.982	0.984	0.991	0.991	0.983	0.985	0.995	0.996
Adj R ² _4P	0.955	0.960	0.991	0.990	0.990	0.985	0.992	0.991
RMSE_3P	3.557	3.408	1.117	1.124	1.982	1.865	0.837	0.82
RMSE_4P	4.138	3.888	0.950	0.980	1.131	1.39	0.776	0.794
Вне выборки								
MAE_3P	2.48	2.461	0.817	0.894	1.456	1.488	0.603	0.618
MAE_4P	2.59	2.594	0.546	0.572	0.729	0.937	0.523	0.541
MAPE_3P	0.4	0.344	0.338	0.399	0.246	0.306	0.108	0.112
MAPE_4P	0.235	0.226	0.143	0.123	0.260	0.301	0.084	0.086

Примечание: Уровень значимости: *, $p < 1\%$; **, $p < 5\%$; ***, $p < 10\%$. Отдельные значения не приведены, поскольку модели не достигли критерия сходимости даже после тысяч итераций.

Источник: составлено авторами.

Логистическая модель распространения единорогов в США прогнозирует их максимальную потенциальную численность в 6241.574 компании. Скорость сходимости к уровню насыщения составляет 0.322; половина от максимума будет достигнута в 2026 г. Логистическая модель с четырьмя параметрами дала практически идентичные результаты. Модель Гомпертца демонстрирует переоценку потенциального предела роста при крайне низкой скорости экспансии (0.017). Значения Adj_R², RMSE, MAE и MAPE указывают, что трехпараметрическая логистическая модель наиболее адекватна для характеристики и прогнозирования распространения единорогов в США. Согласно прогнозному анализу, насыщение американской экономики ими наступит в 2052 г.

Для Китая логистическая модель выявила максимальную потенциальную численность в 335.796 компании при скорости сходимости 0.694. Согласно расчетам, в 2018 г. количество единорогов достигло половины

от максимума. Модель Гомпертца прогнозирует предельную численность в 380.713 единорогов, скорость распространения 0.378, причем в 2017 г. было достигнуто 36.8% (стандартная точка перегиба для функции Гомпертца) от потенциального предела. Показатели Adj_R², RMSE, MAE и MAPE указывают, что трехпараметрическая модель Гомпертца более адекватна для китайского контекста. Согласно прогнозу, насыщение рынка единорогов в стране произойдет в 2032 г.

Для Великобритании трехпараметрическая логистическая модель продемонстрировала максимальную численность в 545.113 единорога (результат статистически незначим). Скорость сходимости составляет 24.5% (значима на уровне 1%), с достижением половины предела в 2027 г. Модель Гомпертца демонстрирует результаты, аналогичные США: завышение потенциальной численности и занижение скорости распространения. Показатели Adj_R², RMSE, MAE и MAPE подтверждают

преимущество логистической модели для британского контекста. Согласно прогнозу, насыщение рынка единорогов в стране произойдет после 2032 г.

Для Индии четырехпараметрическая логистическая модель показала максимальную численность в 139.889 компаний при скорости сходимости 97%. Половина предела достигнута в 2021 г. Модель Гомпертца выявила потенциальный максимум 313.211 единорогов (результат статистически незначим) и скорость распространения 0.298, с достижением 36.8% предела в 2022 г. Данные табл. 1 свидетельствуют, что четырехпараметрическая логистическая модель точнее для индийского контекста благодаря высокому Adj_R^2 и низким RMSE, MAE и MAPE. Прогноз указывает на достижение насыщения рынка единорогов в Индии к 2030 г.

Для Франции четырехпараметрическая логистическая модель выявила максимальную численность в 91.9 единорогов при скорости сходимости 0.496. Половина предела достигнута в 2023 г. Модель Гомпертца существенно завышает потенциальный максимум и занижает скорость распространения. Четырехпараметрическая логистическая модель точнее описывает процесс, тогда как модель Гомпертца обладает более высокой предиктивной способностью. Учитывая близость показателей предиктивности и более реалистичную оценку рыночного потенциала (91.9) в логистической модели, она выбрана для прогнозирования французского контекста. Насыщение рынка единорогов во Франции ожидается к 2032 г.

Четырехпараметрическая логистическая модель также оптимальна для описания и прогнозирования распространения единорогов в Швеции и Нидерландах. Для Швеции максимальный потенциал составляет 48 компаний; половина этого показателя достигнута в 2021 г. В Нидерландах достижение половины максимального потенциала (57 компаний) произошло годом позже. Скорость указанных процессов в Швеции в 2.4 раза выше, чем в Нидерландах. Согласно прогнозу, шведский рынок достигнет насыщения в 2027 г., тогда как нидерландскому для этого потребуется дополнительно пять лет.

Для Германии сравнение нелинейных моделей роста по Adj_R^2 и RMSE показало преимущество трехпараметрической модели Гомпертца. Однако точка насыщения в ней существенно завышена, а темпы роста занижены, что противоречит фактическим данным. Подобная проблема отмечалась в ряде исследований телекоммуникационной отрасли (Gamboa, Otero, 2009; Jha, Saha, 2020). Кроме того, для достижения критериев сходимости процедура оценки NLS требует более 2000 итераций, тогда как логистической модели достаточно лишь нескольких.

Учитывая более реалистичную оценку максимального потенциала в логистической модели, именно она выбрана для описания и прогнозирования немецкого контекста. Сравнение трех- и четырехпараметрической логистических моделей (рис. 3) показало, что последняя точнее соответствует эмпирической кривой распространения. Результаты указывают на темп роста 34.9%, предельную численность в 301.384 компании, с дости-

жением половины этого значения в 2026 г. Согласно прогнозу, количество единорогов в Германии достигнет 128 к 2025 г.

Сравнение параметров оптимальных моделей для исследуемых стран свидетельствует, что наивысшая скорость распространения единорогов наблюдается в Индии (97%), за которой следуют Швеция (83.4%) и Китай (37.8%). По максимальному потенциалу лидируют США (6241.574 компании), далее идут Великобритания (545.13) и Китай (380.713). Таким образом, США сохраняют лидерство по численности единорогов. Китай, Индия, Франция, Швеция и Нидерланды уже достигли половины своего предельного потенциала, тогда как США, Великобритания и Германии для этого потребуется еще год-два. При этом все исследованные страны, кроме США, придут к насыщению рынка примерно к 2030 г.

Распространение по секторам

Ниже представлены результаты анализа распространения единорогов по секторам: финтеху, здравоохранению и транспорту. В сводном виде эти результаты приведены в табл. 2. Построенные модели являются статистически значимыми, как и почти все их параметры (на уровне 1%). Данные табл. 2 позволяют сделать вывод, что логистическая модель больше подходит для всех трех секторов, поскольку дает более низкие значения RMSE и более высокие скорректированные значения R^2 , чем модель Гомпертца.

Для финтеха логистическая модель показывает максимальный потенциал 1630.231 компаний. Скорость сходимости к точке насыщения составляет 0.431, половина максимума будет достигнута в 2024 г. Логистическая модель с четырьмя параметрами дает схожие результаты. Модель Гомпертца завышает потенциальное число единорогов и существенно занижает скорость их распространения (0.022). Показатели Adj_R^2 и RMSE свидетельствуют, что трехпараметрическая логистическая модель точнее описывает процесс экспансии в финтехе, тогда как модель Гомпертца обладает более высокой предиктивной способностью. Однако, учитывая более реалистичную оценку рыночного потенциала (рис. 4), для прогнозирования выбрана логистическая модель со значением 1630.231. Согласно анализу, насыщение в данном секторе наступит к 2040 г.

Для здравоохранения трехпараметрическая логистическая модель выявила максимальный потенциал в 619.390 компаний при скорости сходимости 50.8%. Половина максимума достигнута в 2020 г. Модель Гомпертца показывает предельную численность в 1440.596 единорогов, скорость сходимости 15.9% с достижением 36.8%-го максимума к 2023 г. Показатели Adj_R^2 , RMSE, MAE и MAPE свидетельствуют о преимуществе трехпараметрической логистической модели для описания и прогнозирования процесса в данном секторе. Согласно прогнозу, насыщение рынка здравоохранения наступит к 2030 г.

Для транспортного сектора трехпараметрическая логистическая модель показывает максимальный потенциал в 318.955 компаний при скорости сходимости

Табл. 2. Оценка параметров распространения единорогов по секторам: сравнение моделей

Параметр	Сектор					
	Финтех (n=21)		Здравоохранение (n=19)		Транспорт (n=17)	
Модель	Логистическая	Гомпертца	Логистическая	Гомпертца	Логистическая	Гомпертца
М_3P	1630.231***	3.11e+09	619.390*	1440.596**	318.955*	615.22*
М_4P	1 373,545**	239 642,95	599,396*	1 179,559**	315,394*	541,338*
_3P	0.431*	0.022*	0.508*	0.159*	0.504*	0.176*
_4P	0.459*	0.052	0.532*	0.184*	0.512*	0.196*
_3P	2023.707*	2148.927*	2020.128*	2022.922 *	2019.911*	2021.68 *
_4P	2023.045 *	2056.553*	2020.007*	2021.828 *	2019.87*	2021.032*
В выборке						
Adj R ² _3P	0.992	0.992	0.996	0.994	0.998	0.997
Adj R ² _4P	0.989	0.988	0.995	0.993	0.996	0.996
RMSE_3P	14.75	15.026	9.925	12.301	4.598	5.098
RMSE_4P	14.967	15.639	9.986	12.062	4.750	4.905
Вне выборки						
MAE_3P	6.961	6.538	5.457	7.447	2.674	3.210
MAE_4P	6.678	6.732	5.191	6.814	2.5	2.501
MAPE_3P	0.334	0.295	0.302	0.492	0.249	0.392
MAPE_4P	0.474	0.415	0.402	0.768	0.154	0.219
Примечание: Уровень значимости: *, p < 1%; **, p < 5%; ***, p < 10%.						
Источник: составлено авторами.						

50.4%. Половина максимума достигнута в 2020 г. Модель Гомпертца оценивает предельную численность в 615.22 единорогов, скорость распространения 17.6% с достижением максимума 36.8% к 2022 г. Данные табл. 2 свидетельствуют о превосходстве трехпараметрической логистической модели как для описания, так и для прогнозирования процесса в транспортном секторе, что подтверждается высоким Adj_R² и низкими RMSE, MAE и MAPE. Согласно прогнозу, насыщение в данной отрасли произойдет к 2030 г.

Сравнение параметров оптимальных моделей для исследуемых секторов позволяет сделать вывод, что финтех имеет наименьшую скорость распространения (43.1%), но наивысший потенциал насыщения (1630 компаний). Все рассмотренные секторы уже преодолели половину своего предельного потенциала. Насыщение рынка единорогов ожидается через 7 лет в транспортной отрасли и здравоохранении, тогда как финтеху для этого потребуется 10 лет.

Обсуждение

В исследовании впервые применены логистические модели и модели Гомпертца для системного анализа распространения единорогов в развитых странах и ключевых секторах экономики. Полученные результаты предоставляют ценную информацию о траекториях роста, степени зрелости экосистем и влиянии институциональной среды на предпринимательский успех.

Валидация динамики S-образной кривой

Во-первых, подтвердилась гипотеза H₁: экспансия единорогов следует S-образной кривой, что соответствует ранее выявленным закономерностям принятия продуктов и технологий. Вопреки опасениям, высказанным в литературе (Urbinati et al., 2018), модели на основе

S-образных кривых адекватно отражают как высокие темпы создания единорогов на раннем этапе, так и последующее насыщение рынка. В соответствии с исследованиями (Akin et al., 2020; Korkmaz, 2020) четырехпараметрические модели повышают точность прогнозирования, особенно при отложенном старте или раннем насыщении.

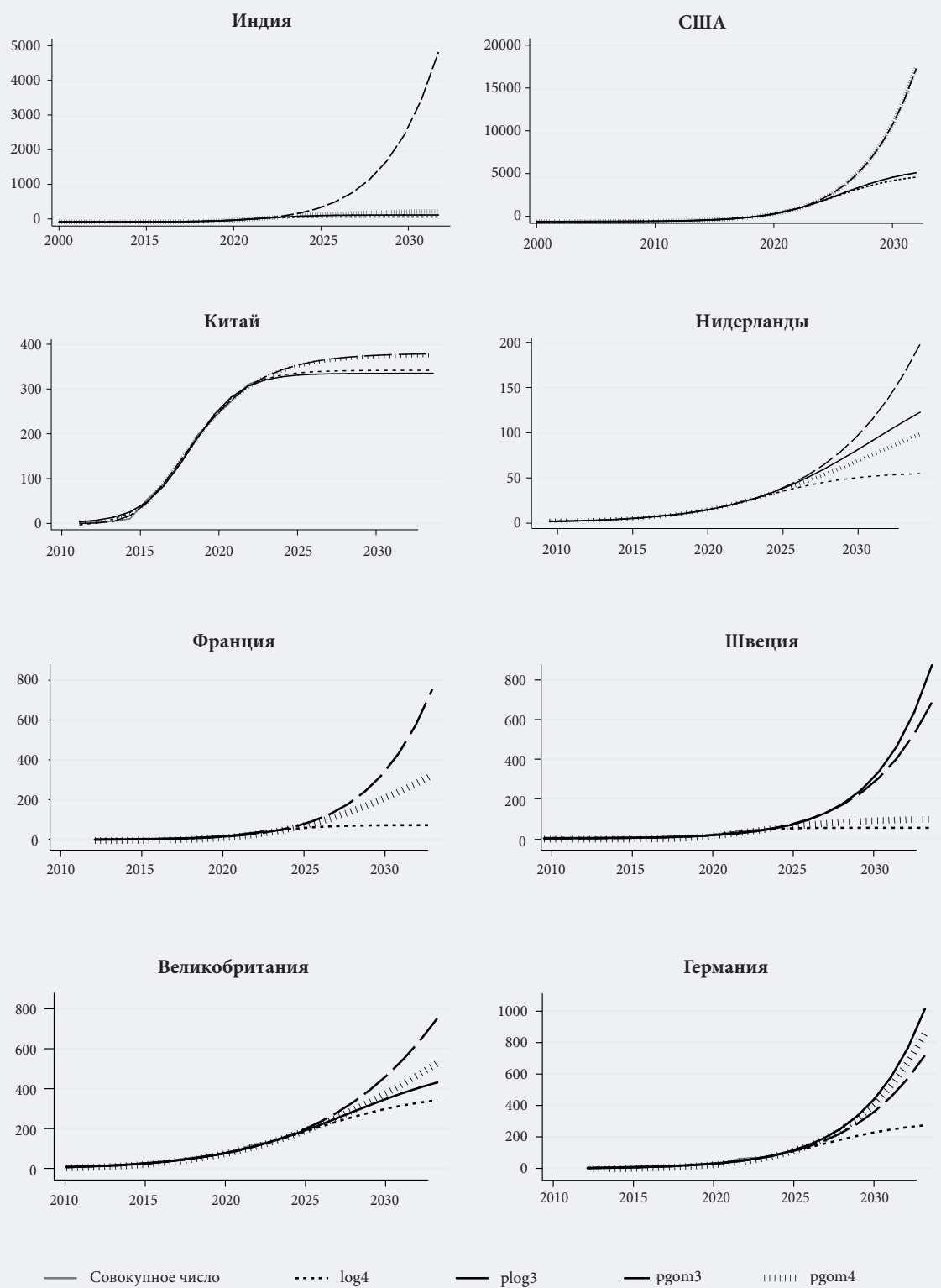
Сравнение эффективности моделей

Следуя гипотезам H₂ и H₃, логистические модели в целом превосходят модели Гомпертца, особенно в рыночно-ориентированных экосистемах, таких как США, Индия и большинство европейских стран. Эти экономики характеризуются стабильным доступом к венчурному финансированию и органическим ростом предпринимательства, что обеспечивает соответствие симметричной логистической кривой. Напротив, модель Гомпертца релевантнее для Китая, где создание единорогов на начальном этапе стимулируется государственными инициативами, такими как «Сделано в Китае 2025», но затем ввиду нормативных ограничений происходит резкий спад их распространения. Именно этим объясняется ранняя точка насыщения Китая (2032) и более низкий потолок (381 единорог), что подтверждается недавним исследованием проблем, с которыми сталкиваются китайские единороги (Jian et al., 2024). С другой стороны, США демонстрируют стабильный годовой рост в 32.2%, двигаясь к потолку насыщения (6241 единорог) — динамика, вполне соответствующая логистической модели.

Закономерности распространения единорогов по странам

Согласно гипотезе H₄, динамика экспансии единорогов значительно варьирует в разных странах. США лиди-

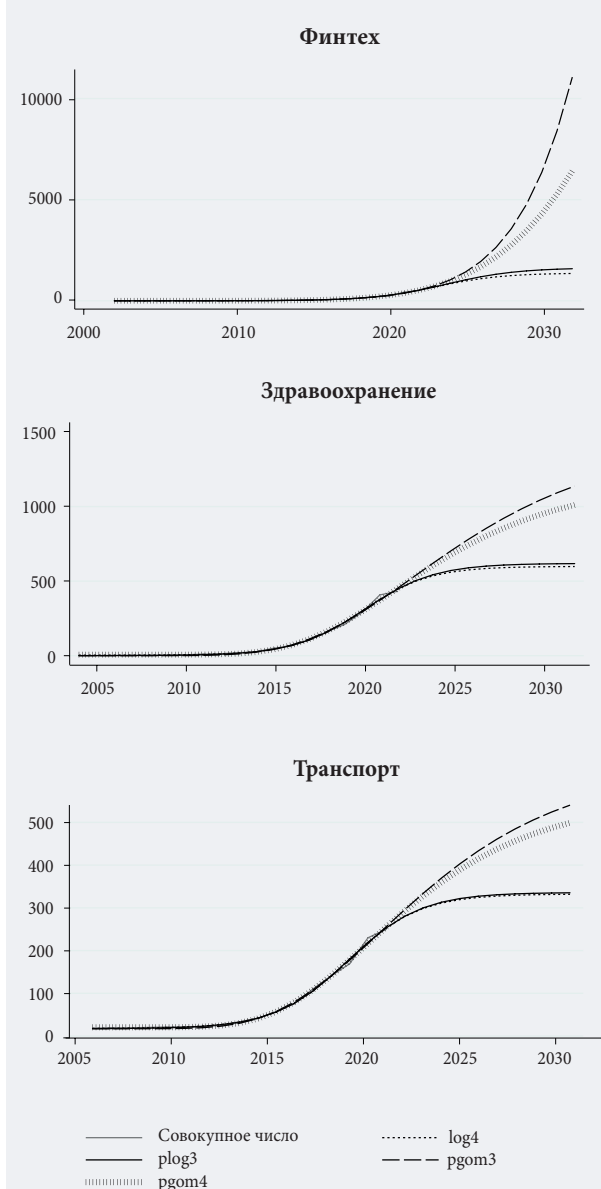
Рис. 3. Фактическая динамика и прогноз численности единорогов по странам



Примечание: plog4 = прогноз, полученный с помощью LM4P, plog3 = прогноз, полученный с помощью LM3P, pgom3 = прогноз, полученный с помощью GM3P, pgom4 = прогноз, полученный с помощью GM4P.

Источник: составлено авторами.

Рис. 4. Фактическая динамика и прогноз численности единорогов по секторам



Примечание: plog4 = прогноз, полученный с помощью LM4P, plog3 = прогноз, полученный с помощью LM3P, pgom3 = прогноз, полученный с помощью GM3P, pgom4 = прогноз, полученный с помощью GM4P.

Источник: составлено авторами.

руют по потенциалу насыщения (6241 единорог) благодаря зрелости финансовых рынков, развитости сетей исследований и разработок (ИиР) и мощности стартап-экосистем. Индия показывает наивысшие темпы ежегодного роста (97%) за счет обширного рынка и быстрого внедрения технологий (Startup Genome, 2022), хотя ограничения в доступе к капиталу и инфраструктуре снижают ее предельный потенциал. Подобный контраст иллюстрирует классическую дилемму: быстрая экспансия может создавать проблемы с долгосрочной масштабируемостью. Европейские страны демонстрируют умеренные темпы распространения и средний потенциал насыщения. Несмотря на фрагментирован-

ность рынков капитала, стабильная институциональная среда обеспечивает умеренный, но устойчивый рост числа единорогов (Testa et al., 2022).

Отраслевая динамика

Результаты исследования подтверждают гипотезу H_2 о различиях в распространении единорогов по отраслям. Финтех демонстрирует наименьшую скорость этого процесса, но наивысший долгосрочный потенциал (1630 единорогов), что отражает существование нормативных барьеров и проблем с доверием (CB Insights, 2023). Напротив, в здравоохранении и транспортном секторе экспансия происходит быстрее благодаря четким сигналам со стороны спроса и меньшим институциональным ограничениям. Эти различия подчеркивают необходимость специализированной отраслевой политики и инвестиционных стратегий.

Теоретический вклад и механизмы распространения

Результаты исследования подтверждают применимость теории Роджерса и высвечивают ключевую роль социальных систем и институциональных факторов в формировании траекторий S-образной кривой. В рыночно-ориентированной среде (США, Индия и Европа) экспансия единорогов обычно проходит через классические фазы медленного старта, быстрого ускорения и итогового насыщения. Эти закономерности соответствуют логистической модели. Напротив, в экосистемах с государственным управлением, таких как Китай, распространение происходит асимметрично: активная поддержка на ранней стадии упирается в нормативные ограничения, что хорошо отражает модель Гомпертца.

Практические следствия для политики и инвестиций

Исследование предлагает практически значимые выводы как для регуляторов, так и для инвесторов. Понимание уровней насыщения единорогами в разных странах и темпов их распространения по секторам критически важно при планировании стратегий входа и выхода. В Китае ключевым риском выступает изменчивость регулирования, тогда как в США насыщение рынка может ограничить будущую доходность. Географическая диверсификация (баланс между высоким потенциалом роста в Китае и Индии и стабильностью в США и Европе) способна смягчить эти риски.

Регуляторам следует своевременно выявлять признаки насыщения рынка и точечными решениями способствовать масштабированию бизнеса единорогов. США необходимы постоянные инвестиции в инфраструктуру венчурного финансирования для сохранения лидерства в создании инноваций. Для Китая благотворным окажется переход к более рыночно-ориентированной политике, обеспечивающий долгосрочный рост в дополнение к первоначальным стимулирующим мерам. Более низкий потенциал насыщения в этой стране (335–380 единорогов) подчеркивает необходимость отраслевого дерегулирования и развития рынков капитала. Европе же рекомендуется устранять разрыв в мас-

штабировании путем гармонизации законодательства, поддержки трансграничных инвестиционных потоков и региональных инновационных кластеров.

Для стимулирования появления новых единорогов органам власти следует сфокусироваться на отраслевых факторах: либерализации нормативной базы в финтехе, увеличении затрат на ИиР в здравоохранении и создании механизмов распределения рисков для стартапов во всех перспективных секторах.

Заключение

Глобальная экспансия единорогов рассмотрена через призму логистической модели и модели Гомпертца. Разработан новый подход к приложению теории диффузии инноваций к стартап-экосистемам. Анализ страновых и отраслевых тенденций в США, Китае, Индии, ключевых европейских странах, а также в секторах финтеха, здравоохранения и транспорта позволил получить ценные сведения о динамике распространения единорогов.

Как показало исследование, в рыночных экосистемах (США, Индия и большинство европейских стран), где ключевую роль играют органический рост предпринимательства и доступ к венчурному финансированию, логистические модели превосходят модели Гомпертца. Напротив, распространение единорогов в Китае точнее описывается моделью Гомпертца из-за раннего насыщения, вызванного централизованным политическим контролем и нормативными ограничениями. Применение четырехпараметрических моделей дополнительно повышает точность прогнозирования, особенно в случаях отложенного старта или преждевременного насыщения.

Страновой разрез демонстрирует значительные различия. США сохраняют мировое лидерство в формировании единорогов благодаря развитым финансовым рынкам, надежной инновационной инфраструктуре и эффективному росту стартапов. Индия демонстрирует высокие темпы роста при более низком пороге насыщения. Европейский ландшафт более фрагментирован: страны вроде Германии, Франции и Швеции обнаруживают устойчивые траектории роста, однако неоднородность рынков капитала и регуляторной среды в сочетании с ограниченным трансграничным масштабированием препятствует углублению интеграции стартап-экосистем на континенте.

Отраслевой анализ подтвердил существенные различия в динамике распространения единорогов. Сектор финтеха отстает из-за сложного регулирования

и проблем с доверием, но обладает наивысшим долгосрочным потенциалом. В секторах здравоохранения и транспорта, напротив, действуют мощные драйверы роста (высокий спрос и более благоприятная институциональная среда), способствующие ускоренной экспансии.

Полученные выводы имеют важные практические следствия. Регуляторам следует сосредоточиться на точечных интервенциях: в рыночной экономике необходимо укреплять экосистемы венчурного финансирования и региональные инновационные центры, тогда как в экономиках с государственным доминированием наращивание предпринимательской активности потребует реформирования нормативной базы. Не менее важны отраслевые стратегии: снижение барьеров в финтехе и увеличение затрат на ИиР в сферах здравоохранения и транспорта.

Понимание взаимосвязи между темпами распространения единорогов в различных отраслях и уровнями насыщения в конкретных странах поможет инвесторам и основателям стартапов оптимизировать стратегические решения. Выявление точек перегиба на кривых роста позволит точнее планировать вход на рынок и уход с него, а также эффективнее масштабировать бизнес.

Хотя моделирование глобальной экспансии единорогов открывает новые перспективы, определенные ограничения исследования намечают направления дальнейшей работы. Во-первых, логистические модели и модели Гомпертца, эффективно отражающие общие закономерности, могут быть усовершенствованы путем добавления пятого параметра или применения гибридных подходов для тонкой нюансировки динамики. Во-вторых, учет временного измерения через ранжирование единорогов по времени получения статуса поможет глубже понять поведение различных когорт и закономерности их жизненного цикла. В-третьих, дальнейшие исследования позволят выработать более комплексную структуру, включающую макроэкономические переменные и учитывающую качество институтов, цифровой инфраструктуры и политической среды для лучшего объяснения различий в распространении единорогов между странами и секторами.

Представленный теоретико-эмпирический анализ механизмов возникновения и экспансии единорогов закладывает основу для разработки более взвешенной и контекстно-ориентированной политики и инвестиционных стратегий, направленных на стимулирование развития инклюзивных и устойчивых инновационных экосистем во всем мире.

Библиография

- Кученко Е.С., Остащенко Т.В., Тюрчев К.С. (2022) Релокация как драйвер инновационной активности: глобальное исследование международной миграции основателей компаний-единорогов. *Форсайт*, 16(4), 6–23. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2022.4.6.23>
- Akin E., Pelen N.N., Tiryaki I.U., Yalcin F. (2020) Parameter Identification for Gompertz and Logistic Dynamic Equations. *PLoS ONE*, 15, 0230582. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230582>
- Aldrich H.E., Ruef M. (2018) Unicorns, Gazelles, and Other Distractions on the Way to Understanding Real Entrepreneurship in America. *Academy of Management Perspectives*, 32(4), 458–472. <https://doi.org/10.5465/amp.2017.0123>
- Armstrong J.S. (ed.) (2001) *Principles of Forecasting*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Burström T., Lahti T., Parida V., Wartiovaara M., Wincet J. (2023) A definition, review, and extension of global ecosystems theory: Trends, architecture and orchestration of global VCs and mechanisms behind unicorns. *Journal of Business Research*, 157, 113605. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113605>
- CB Insights (2023) *State of Fintech 2023 Report*, New York: CB Insights.
- El-Dardiry R., Vogt B. (2023) How far do Gazelles run? Growth patterns of regular firms, high growth firms and startups. *Applied Economics*, 55(37), 4304–4318. <https://doi.org/10.1080/00036846.2022.2128184>
- Gamboa L.F., Otero J. (2009) An estimation of the pattern of diffusion of mobile phones: The case of Colombia. *Telecommunications Policy*, 33, 611–620. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2009.08.004>
- Guo K., Zhang T. (2021) Research on the Development Path and Growth Mechanism of Unicorn Enterprises. *Mathematical Problems in Engineering*, 7, 9960828. <https://doi.org/10.1155/2021/9960828>
- Huebl S., Does R., Orlova A., Heckova E., Aschauer D., Kojalek M. (2022) *The 2022 European Unicorn & Soonicorn Report*, San Francisco, CA: 5Invest.
- Jha A., Saha D. (2020) Forecasting and analyzing the characteristics of 3G and 4G mobile broadband diffusion in India: A comparative evaluation of Bass, Norton-Bass, Gompertz, and logistic growth models. *Technological Forecasting and Social Change*, 152, 119885.
- Korkmaz M. (2020) A study over with four-parameter Logistic and Gompertz growth models. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 37(3), 2023–2030. <https://doi.org/10.1002/num.22641>
- Kuckertz A., Bernhard A., Berger E.S.C., Dvouletý O., Harms R., Jack S., Kibler E. (2023) Creating and maintaining hope through social entrepreneurship in light of humanitarian crises. *Journal of Business Venturing Insights*, 19, e00356. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2022.e00356>
- Kuckertz A., Brandle L., Gaudig A., Hinderer S., Reyes C.A.M., Prochotta A., Steinbrink K.M., Berger E.S.C. (2020) Startups in times of crisis – A rapid response to the COVID-19 pandemic. *Journal of Business Venturing Insights*, 13, e00169. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2020.e00169>
- Kuratko D.F., Audretsch D.B. (2021) The future of entrepreneurship: The few or the many? *Small Business Economics*, 59, 269–278. <https://doi.org/10.1007/s11187-021-00534-0>
- Lee S., Marcu M., Lee S. (2011) An empirical analysis of fixed and mobile broadband diffusion. *Information Economics and Policy*, 23(3–4), 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2011.05.001>
- Leendertse J., Schrijvers M., Stam E. (2022) Measure Twice, Cut Once: Entrepreneurial Ecosystem Metrics. *Research Policy*, 51(9), 104336. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104336>
- Meade N., Islam T. (2015) Forecasting in telecommunications and ICT-A review. *International Journal of Forecasting*, 31(4), 1105–1126. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.09.003>
- Meek S., Cowden B.J. (2023) Strategies of Unicorn startups: How these positive deviants compare to early-stage and Fortune 500 ventures. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 30(6), 1109–1128. <https://doi.org/10.1108/JSBED-02-2023-0069>
- Michalakelis C., Dimitris V., Sphicopoulos T. (2008) Diffusion models of mobile telephony in Greece. *Telecommunications Policy*, 32(3–4), 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2008.01.004>
- OECD (2021) *Understanding Firm Growth: Helping SMEs Scale Up*, Paris: OECD.
- Pelinovsky E., Kokoulina M., Epifanova A., Kurkin A., Kurkina O., Tang M., Kirillin M. (2022) Gompertz model in COVID-19 spreading simulation. *Chaos, Solitons and Fractals*, 154, 111699. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111699>
- Retterath A., Braun R. (2020) *Benchmarking Venture Capital Databases* (SSRN Paper 3706108). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3706108>
- Rodrigues C.D., Noronha M.E.S.D. (2023) What companies can learn from unicorn startups to overcome the COVID-19 crisis. *Innovation & Management Review*, 20(3), 211–226. <https://doi.org/10.1108/INMR-01-2021-0011>
- Rogers E.M. (1962) *Diffusion of Innovations*, New York: Free Press.
- Rossi M., Martini E. (2019) Venture capitalists and value creation: The role of informal investors in the growth of smaller European firms. *International Journal of Globalisation and Small Business*, 10(3), pp. 233–247. <https://doi.org/10.1504/IJGSB.2019.100123>
- Satoh D. (2021) Discrete Gompertz equation and model selection between Gompertz and logistic models. *International Journal of Forecasting*, 37(3), 1192–1211. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.01.005>
- Schumpeter J.A. (1943) *Capitalism, Socialism and Democracy*, London, New York: Routledge.
- Shahid Y. (2023) *Can Fast Growing Unicorns Revive Productivity and Economic Performance?*, Washington, D.C.: Center for Global Development.
- Shane S. (2009) Why encouraging more people to become entrepreneurs is bad public policy. *Small Business Economics*, 33(2), 141–149. <https://doi.org/10.1007/s11187-009-9215-5>
- Stafeev A. (2024) What makes a successful unicorn startup founder. *International Journal of Professional Business Review*, 9(5), 4638. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i5.4638>
- Startup Genome (2022) *The Global Startup Ecosystem Report 2022*, San Francisco, CA: Startup Genome.
- Testa G., Compañó R., Correia A., Rückert E. (2022) *In search of EU unicorns – What do we know about them?*, Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/843368>
- Trabucchi D., Talenti L., Buganza T. (2019) How do Big Bang Disruptors look like? A Business Model perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 330–340. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.009>
- Urbiniati A., Chiaroni D., Chiesa V., Frattini F. (2018) The Role of Business Model Design in the Diffusion of Innovations: An Analysis of a Sample of Unicorn-Tech Companies. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 16(1), 1950011. <https://doi.org/10.1142/S0219877019500111>
- Van Meeteren M., Trincado-Munoz F., Rubin T.H., Vorley T. (2022) Rethinking the digital transformation in knowledge-intensive services: A technology space analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121631. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121631>
- Venâncio A., Picoto W., Pinto I. (2023) Time-to-unicorn and digital entrepreneurial ecosystems. *Technological Forecasting and Social Change*, 190, 122425. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122425>
- Veugelers R., Amaral-Garcia S. (2025) *Financing EU Health Innovation: The Role of Venture Capital*, Seville: JRC.
- WIPO (2023) *Global Innovation Index 2023: Innovation in the Face of Uncertainty*, Geneva: World Intellectual Property Organization. <https://doi.org/10.34667/tind.48220>

Роль управленческих компетенций в цифровой трансформации организаций

Филипп Гетцингер

Аспирант (PhD), pgoetzinger@net.efzg.hr

Марио Спремич

Профессор, mspremic@efzg.hr

Божидар Якович

Профессор, bjakovic@efzg.hr

Университет Загреба (University of Zagreb), Хорватия, Trg J.F. Kennedy 6, HR-10000 Zagreb, Croatia

Аннотация

В контексте повсеместного распространения цифровой экономики организации сталкиваются с необходимостью перехода на эту модель посредством цифровой трансформации (ЦТ). При правильном проведении ЦТ достигаются существенные преимущества с точки зрения поддержания устойчивости и конкурентоспособности в постоянно меняющейся среде. Подобные преобразования выходят за рамки простого внедрения передовых технологий и предполагают управление процессами повышенной сложности, глубокую рекомбинацию бизнес-процессов, структур, методов внешних коммуникаций и др. Однако указанные факторы не учитываются большинством организаций. Другими словами, ЦТ недооценивается с точки зрения сложности, продолжительности и интенсивности адаптационного напряжения. Подобные преобразования удаются «с первой попытки» только 10–20% организаций, причем крупные компании терпят неудачу чаще всего.

В настоящем исследовании анализируются причины, по которым большинство инициатив ЦТ не достигают поставленных целей. Особый акцент делается на связи цифровых компетенций руководителей с результативностью технологических реформ. С этой целью проанализирован массив релевантных публикаций по теме ЦТ за последние пять лет. Согласно выводам, большинство организаций вступают в ЦТ без надлежащей подготовки в виде заблаговременного пересмотра компетенций и корпоративной культуры, выхода за рамки устоявшихся моделей мышления и поведения, которые прежде обеспечивали конкурентоспособность, но в новом контексте перестают работать. Сформулированы принципы, повышающие шансы на успешные цифровые преобразования. Статья вносит вклад в растущий объем знаний по методам управления в условиях трансформационных переходов.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровые компетенции руководителей; новые модели управления; динамические способности; управление переходами; конкурентоспособность

Цитирование: Goetzinger P., Spremić M., Jaković B. (2025) The Role of Digital Leadership Capabilities in Enterprise-Wide Digital Transformation, 19(2), pp. 68–76. <https://doi.org/10.17323/fstg.2025.27129>

The Role of Digital Leadership Capabilities in Enterprise-Wide Digital Transformation

Philipp Goetzinger

PhD Researcher, pgoetzinger@net.efzg.hr

Mario Spremić

Professor, mspremic@efzg.hr

Božidar Jaković

Professor, bjakovic@efzg.hr

Faculty of Economics & Business, University of Zagreb, Trg J.F. Kennedy 6, HR-10000 Zagreb, Croatia

Abstract

In a situation of rapid technological development and the world's transition to a new technological regime, organizations are faced with the need for digital transformation (DT). This process goes beyond the simple implementation of advanced technologies and involves the management of processes of increased complexity, deep recombinations of business processes, structures, methods of external communications, and so on. However, these factors are not considered by most organizations. In other words, DT is underestimated in terms of complexity, duration, and intensity of adaptation stress. Only 10%-20% of organizations succeed in such a transformation at the first attempt, with large companies failing most often. This study analyzes the reasons why most of these initiatives

fail to achieve their goals. Particular emphasis is placed on the link between digital competencies of managers and the impact of technological reforms. For this purpose, an array of relevant publications on the topic of DT over the last five years was analyzed. According to the results, the majority of organizations enter DT without proper preparation in the form of early revision of competencies and corporate culture, going beyond the established models of thinking and behavior, which previously provided competitiveness, but in the new context cease to work. Principles that increase the chances of successful digital transformation are formulated. This article contributes to the growing body of knowledge on management practices in transformational transitions.

Keywords: digital transformation, digital competencies of managers; new management models; dynamic capabilities; transition management; sustainable competitiveness

Citation: Goetzinger P., Spremić M., Jaković B. (2025) The Role of Digital Leadership Capabilities in Enterprise-Wide Digital Transformation, 19(2), pp. 68–76. <https://doi.org/10.17323/fstg.2025.27129>

В контексте динамичного технологического прогресса организации сталкиваются с необходимостью перехода к более сложным моделям развития, включая цифровую экономику. По данным ООН, в 2019 г. объем глобальной цифровой экономики уже достигал внушительной суммы в 22.5 трлн долл. (UNCTAD, 2019), а пандемический кризис стал мощным драйвером ее дальнейшего роста. Ключевым условием перехода к цифровой экономике является комплексная цифровая трансформация (ЦТ), при правильном проведении которой организации получают существенные преимущества с точки зрения увеличения стоимости, поддержания устойчивости и конкурентоспособности в неопределенной деловой среде (Ciao et al., 2024). При этом ужесточаются требования к стандартам предпринимательства и ведения бизнеса в целом.

Основная цель ЦТ — изменить практики создания стоимости на протяжении всей цепочки: от перевода производственных процессов в цифровой формат до повышения прозрачности взаимосвязей в цепочках производства и поставок (Kirti et al., 2022), что оптимизирует методы управления (Klos et al., 2021). Таким образом, конечной целью ЦТ является не просто переход на цифровые форматы, а, скорее, обеспечение устойчивого роста и увеличения стоимости. В целом реализация ЦТ подразумевает долгосрочную комплексную стратегию. Цифровые технологии становятся для организаций инструментами модернизации моделей производства, управления, обслуживания потребителей и маркетинговых стратегий. Основываясь на этих наблюдениях, правительства переосмысливают законы и политику, связанные с безопасностью данных, интеллектуальной собственностью и формированием цифровых компетенций (Mergel et al., 2019; Nambisan et al., 2019).

Ключевым драйвером адаптации к новым технологическим циклам остается человеческий фактор (Schiuma et al., 2024). От персонала, обладающего соответствующими компетенциями, включая динамические способности, в особенности топ-менеджмента, зависит, сможет ли организация освоить возможности принципиально иного уровня. Несмотря на свою значимость, роль руководства в осуществлении ЦТ является недостаточно изученным фактором (Trenerry et al., 2021). Философия ресурсного обновления и компетенции, ориентированные на реализацию сложных процессов ЦТ, существенно отличаются от традиционных паттернов управления (Veeraya et al., 2024). О дефиците такого набора навыков говорит тот факт, что в более чем 80% случаев цифровые преобразования не достигают желаемых целей (Oludapo et al., 2024). Проблема особенно характерна для крупных организаций, ввиду испытываемых ими трудностей отхода от традиционных моделей управления, которые в свое время обеспечивали конкурентоспособность (Oludapo et al., 2024; Trenerry et al., 2021). Устранение этого барьера требует радикально иного восприятия динамизма перемен и повышенной настойчивости в инициативных действиях (Oludapo et al., 2024).

Для лучшего понимания аспектов, определяющих результативность корпоративной ЦТ, требуются углубленные исследования. Наша статья вносит вклад в этот

процесс посредством анализа новейшей тематической литературы, направленного на выявление связей между трансформационными процессами в организациях, их управленческими практиками, результативностью и стратегиями развития.

Методология исследования

Для отбора релевантных публикаций использовался набор поисковых терминов в сочетании с булевыми операторами (И/ИЛИ), а именно: «цифровая трансформация», «цифровая грамотность руководителей», «динамический потенциал», «управление и эффективность компании». Поиск выполнялся по базе данных Web of Science ввиду ее авторитетности и репрезентативности. В соответствии с заданными критериями в поисковую выдачу попали 14 895 материалов, которые были отфильтрованы по следующим критериям:

- открытый доступ;
- обзорные публикации;
- статьи на английском языке;
- опубликованы в последние пять лет (2021–2025 гг.);
- относятся к соответствующим категориям Web of Science («бизнес», «менеджмент», «науки об окружающей среде», «компьютерные науки», «вспомогательный персонал»).

После применения указанных критериев осталось 48 исследований, из которых пять работ подверглись углубленному анализу (см. табл. 1), остальные дополнили обзор литературы. В итоговую выборку вошли публикации разных жанров, однако не менее 60% статьи из журналов Q1/Q2.

Как показывает анализ исходной выборки, первенство в числе научных публикаций по рассматриваемой тематике удерживает Китай (3158), более чем вдвое превосходя Германию, занимающую второе место (табл. 2). Его отрыв обусловлен масштабным развитием науки, технологий и предпринимательства в стране. Заметной активностью отличаются также ряд европейских государств (Германия, Великобритания, Италия и Испания, стран БРИКС (Индия, Бразилия, Россия) и Австралия.

На рис. 1 представлена динамика числа публикаций последних лет. Примечательно, что, если в 2021 г. было опубликовано около 2000 статей, то спустя всего три года этот показатель вырос в два раза. Произошел значительный сдвиг в сторону цифровизации организационных функций, что обусловило интерес исследователей к соответствующей тематике. Большой массив работ посвящен взаимосвязи ЦТ с управлением и динамическими способностями, инновационной активностью и эффективностью компаний, цифровыми компетенциями руководителей. На рис. 2 показаны прямые связи между ЦТ и другими аспектами управления.

Основные результаты литературного анализа

Определение цифровой трансформации

ЦТ выходит за рамки простого внедрения передовых технологий и предполагает управление процессами повышенной сложности, включая глубокую рекомбинацию бизнес-процессов, структур, методов внешних комму-

Табл. 1. Статьи, ставшие предметом углубленного анализа

a) Schiuma et al., 2024

Темы	- Роль трансформационных компетенций руководителей в цифровой трансформации организации - Человекоцентричный подход к цифровой трансформации организации - Роль руководителей в управлении цифровыми знаниями
Авторские ключевые слова	Руководитель – преобразователь организации; цифровые знания; цифровая трансформация; структура лидерских компетенций
Методология	- Теоретически обоснованный подход - Дедуктивный анализ литературы с последующим индуктивным эмпирическим исследованием - Полуструктурированные интервью - Анализ документов
Основные выводы	Руководителям необходимо понимать практические аспекты цифровой трансформации

b) Oludapo et al., 2024

Темы	- Уровень и причины неудач цифровой трансформации (ЦТ) - Анализ литературы по цифровой трансформации - Исследование причин, по которым инициативы цифровой трансформации часто оказываются неудачными - Вызовы после цифровой трансформации
Авторские ключевые слова	Цифровая трансформация; неудачи; трансформация организации; информационная система; трансформация людей
Методология	- Библиометрический анализ - Тематическое картирование литературы - Обзор и анализ литературы
Основные выводы	- Более 80% инициатив цифровой трансформации заканчиваются неудачей - Современные исследования имеют тенденцию чрезмерно упрощать экосистему ЦТ из-за использования широких категорий, таких, как «технологии», «информационная система» и «управление», без выявления конкретных факторов неудач - Ограниченный прогресс в понимании того, почему инициативы ЦТ оказываются неудачными, несмотря на повышенное внимание к данной теме

c) Gouveia et al., 2024

Темы	- Механизмы создания стоимости в ходе цифровой трансформации - Стратегическое управление в контексте ЦТ - Цифровое предпринимательство и устойчивость - Цифровой потенциал и инновационные бизнес-модели - Цифровизация МСП
Авторские ключевые слова	Стратегическое управление; цифровая трансформация; создание стоимости
Методология	Системный обзор литературы; библиометрический анализ; контент-анализ рецензируемых научных статей; анализ тематических кластеров
Основные выводы	- ЦТ меняет механизмы создания стоимости в разных отраслях и требует адаптации - Необходима стратегическая координация технологических достижений и целей организации, особенно для МСП

d) Espina-Romero et al., 2023

Темы	- Эволюция цифрового лидерства (2018–2023 гг.); - Влияние COVID-19 на цифровое лидерство - Географическое распределение исследований цифрового лидерства; - Отрасли экономики и цифровое лидерство; - Цифровое лидерство в образовательном контексте; - Цифровая трансформация и внедрение технологий; - Адаптация лидерства в цифровой среде
Авторские ключевые слова	Цифровое лидерство; цифровая трансформация; технологии; адаптация к переменам; инновационная деятельность; технические навыки; управление переменами; эффективные коммуникации; принятие стратегических решений
Методология	- Количественное исследование, подкрепленное библиометрическим анализом
Основные выводы	- Из-за пандемии COVID-19 в данной области произошли значительные изменения, прежде всего в отношении роли цифровой трансформации и технологических компетенций руководителей - Лидерами по числу публикаций и цитированию стали США, Германия и Китай. - Значительная активность выявлена в Европе и Азии

e) Mrugalska, Ahmed, 2021

Темы	Гибкость организаций; технологии Индустрии 4.0; интеллектуальное производство; Интернет вещей (IoT); киберфизические системы; большие данные и аналитика; облачные вычисления
Авторские ключевые слова	Индустрия 4.0; гибкость организаций; экосистема Индустрии 4.0; окружающая среда
Методология	- Системный обзор литературы
Основные выводы	- Гибкость – критический потенциал, необходимый организации для управления переменами и неопределенностью, особенно в контексте Индустрии 4.0. - Внедрение технологий Индустрии 4.0 повышает организационную гибкость по разным направлениям. - В число повышающих гибкость ключевых технологий входят интеллектуальное производство, Интернет вещей, киберфизические системы, большие данные и аналитика, облачные вычисления

Источник: составлено авторами.

Обладающие подобными компетенциями руководители способны стать мощными стимуляторами инновационной деятельности и транслировать соответствующие навыки и знания всем уровням персонала (Feliciano et al., 2023).

Факторы провала ЦТ в организациях

Инициативы по управлению переменами и освоению передовых технологий составляют значительную статью расходов в современных организациях. Несмотря на это процент неудач остается высоким, особенно в крупных компаниях (Oludapo et al., 2024). Исследование, проведенное McKinsey на выборке из более чем 800 традиционных предприятий по всему миру, показывает, что, хотя 70% из них начали использовать ЦТ, 71% из этого числа все еще находятся на стадии экспериментирования. Например, по состоянию на 2021 г. только 16% китайских предприятий достигли изначально поставленных целей в ЦТ (Ciao et al., 2024). К ключевым сдерживающим факторам на пути к ЦТ относятся культурные и структурные барьеры, значимость которых часто недооценивается. В условиях масштабных контекстуальных изменений организации не могут больше полагаться на устоявшиеся управленческие модели (которые обеспечивали успех в прежних условиях) и инкрементальные преобразования. Возникает потребность в сдвиге стратегической парадигмы. Отмеченный ранее 80%-ный показатель неудач при осуществлении ЦТ — лишь некая усредненная цифра. В крупных организациях он может достигать и 90% (Ramesh, Delen, 2021)¹, что отчасти можно связать с их более значительными масштабами деятельности и амбициозными задачами. Однако решающий вклад в эту повышенную величину вносят: жесткие иерархические структуры, негибкие бизнес-модели и культурная инертность (O'Brien et al., 2023). Рассмотрим перечисленные факторы подробнее.

Структурная сложность. Важным предварительным условием результативной ЦТ выступают значительные системные преобразования, исходящие из целостного стратегического подхода и учитывающие технологическую, процессную и кадровую составляющие. Как правило, одновременно реализуются несколько инициатив, связанных с распределением ролей и обязанностей, а также с созданием специальных цифровых подразделений. Это подразумевает изменения в организационной культуре, направленные на адаптацию персонала к новым формам работы (Jöhnk et al., 2020). Крупные организации, как правило, имеют многочисленные взаимозависимые подразделения, которые обладают полуавтономным статусом и выстраивают собственные операционные модели. Любые изменения в их деятельности, особенно в рамках ЦТ, носящей комплексный характер, распространяются на другие бизнес-единицы, вызывая каскадный эффект перемен. Таким образом, усилия по направлению этого процесса в нужное русло неизбежно выходят за рамки локальной корректировки (Karakose et al., 2022). При этом они

должны варьировать по охвату, поскольку, например, в отдельных случаях учет местной специфики игнорировать невозможно (в разных регионах деятельности компании могут действовать неодинаковые нормативные требования и т.п.).

Существенные барьеры для ЦТ возникают на операционном и стратегическом уровнях ввиду замедленной скорости принятия решений, что обусловлено *культурной инертностью*, сложностью и ригидностью организационных структур. Некоторые культурно однородные организации с богатой историей демонстрируют нежелание менять свои паттерны, несмотря на изменившиеся внешние обстоятельства (Haskamp et al., 2021). Это особенно касается случаев, когда сложившиеся модели долгое время обеспечивали успех. Возникает конфликт интересов между разными уровнями иерархии: менеджмент среднего звена начинает воспринимать радикальные преобразования, включая ЦТ, как угрозу своему статус-кво.

Инициативы по экспериментированию и внедрению новых подходов могут сдерживаться и такими «убедительными» аргументами их противников, как чрезмерно высокие затраты на модернизацию. Еще один существенный фактор, определяющий провалы ЦТ, — дефицит знаниевой базы, не адаптированной к современному контексту, поскольку большинство существующих теорий организационной трансформации были созданы до появления интернета (Haskamp et al., 2021). В современных условиях динамика распространения новых технологий требует их оперативного согласования с существующими продуктами, процессами и стратегиями.

Масштаб необходимых изменений. ЦТ крупных организаций затрагивает множество заинтересованных сторон, включая сотни сотрудников, дислоцированных на разных территориях. Вследствие этого процесс растягивается на длительный период, в течение которого рыночная ситуация может меняться непредсказуемо. Несмотря на отмеченное обстоятельство, от организации по-прежнему ожидается обеспечение приемлемых экономических показателей. Преодоление подобного многомерного вызова требует основательной подготовки.

Ограничения традиционных подходов к управлению переменами

Линейный характер управленческих моделей. Традиционные инструменты управления переменами основываются на представлении о предсказуемом и линейном характере последних. Существует множество подходов, предполагающих пошаговое логическое продвижение, включая 8-этапные модели Коттера (Kotter, 1995). Однако современный контекст делает их нерелевантными ввиду неучета таких аспектов, как сложность, нелинейность, итеративность трансформационных переходов и необходимость быстрой адаптации.

Ограничения в отношении гибкости и темпов. Базовыми составляющими традиционных моделей

¹ Остальные 10% инициатив можно считать успешными, поскольку они реализуются в пределах запланированного бюджета и в намеченные сроки.

являются минимизация риска и структурированное планирование. Однако ЦТ требует интеграции таких аспектов, как быстрое прототипирование, адаптивная перенастройка и гибкость стратегий. В крупных организациях, как правило, используются укорененные, трудно корректируемые механизмы управления рисками и циклы планирования, что затрудняет выполнение перечисленных задач.

Фрагментированное управление трансформацией. ЦТ не ограничивается внедрением технологий, а предполагает их целостный синтез с культурными и операционными измерениями. В свою очередь при традиционном подходе к модернизации внедрение технологий и организационные изменения рассматриваются как отдельные направления (Verhoef et al., 2021). Между тем отсутствие связанности между упомянутыми аспектами препятствует успешной ЦТ. Внедрение технологий должно не рассматриваться как самоцель, а стать частью и естественным инструментом интегральной корпоративной стратегии ЦТ. Для этого понадобятся динамические способности, непрерывное обучение, междисциплинарное сотрудничество и адаптивное руководство (традиционные модели редко учитывают эти направления). Например, если организация обновит свою систему управления, но не скорректирует соответствующим образом производственные процессы и навыки персонала, трансформация остановится. Необходимо перейти от фрагментарного подхода к целостной модели, сформировать новую культуру (Verhoef et al., 2021), обеспечить эффективное встраивание технологий в организационную структуру.

Ограничения структур управления. Традиционные управленческие структуры, построенные по принципу «сверху вниз», не совместимы с междисциплинарной, основанной на сотрудничестве природой ЦТ. Целесообразно сформировать распределенную управленческую сеть, которая выходит за рамки традиционных иерархических цепочек, охватывая все регионы деятельности и подразделения организации. Наделение автономией целевых групп придаст гибкость в адаптации к новому уровню технологической сложности, что повысит эффективность реализации ЦТ.

Новые методы масштабирования ЦТ

Одним из упомянутых ранее инструментов, обеспечивающих эффективную ЦТ, являются *динамические способности*, носители которых могут наращивать потенциал для освоения возникающих возможностей, быстро перераспределять ресурсы (Теесе, 2007), повышать стратегическую гибкость и адаптивность управленческих систем. Важно рассматривать ЦТ не как внутренний проект, а как открытую площадку, тесно взаимодействующую с внешней экосистемой. Подобный подход

позволит в полной мере воспользоваться преимуществами платформенных моделей, открытых инноваций и внешних партнерств, сделает возможным прохождение ЦТ с минимальными издержками. Так, метод «безопасной пробной трансформации» (Minimum Viable Transformation) обеспечивает быстрый запуск пилотных версий инновационных бизнес-моделей, их тестирование и корректировку².

Примеры успешных масштабных трансформаций

Компания Microsoft вследствие ЦТ превратилась из производителя операционных систем для локальных устройств в поставщика облачных услуг. Ключевыми драйверами трансформации стали: уход от фрагментированной модели бизнес-процессов, назначение руководителей, способных организовать такой переход, культура непрерывного обучения и роста, налаживание сотрудничества в формате междисциплинарных рабочих групп (Ali, Begum, 2024). Из сочетания перечисленных факторов возникла облачная экосистема «Azure», благодаря которой Microsoft удалось значительно повысить рыночную капитализацию, стать одним из лидеров инноваций в области ИИ и облачных вычислений. Siemens, осуществив масштабные инвестиции в привлечение специалистов по ЦТ, смогла плавно перейти от производственной к платформенной модели на основе промышленного интернета вещей и цифровых двойников.³ Банк DBS реформатировал свою бизнес-модель и корпоративную культуру, практикуя иммерсивные методы обучения персонала и вовлекая руководителей в проекты по трансформации клиентского опыта⁴. Все эти инициативы, несмотря на различия в приоритетах и методах, внесли вклад в расширение базы знаний о «рецептах» успешной ЦТ.

Заключение

Цифровая трансформация позволяет встроиться в новый технологический мир, предлагающий возможности более высоких уровней, но только на определенных условиях, которые для большинства организаций могут восприниматься как труднопреодолимые барьеры. В особенности это касается крупных предприятий, которые долгое время были успешными и конкурентоспособными. Если в среднем по компаниям разных размеров условный показатель неудач ЦТ составляет 80%, то для крупных игроков он может достигать 90% (Ramesh, Delen, 2021). Такое положение дел объясняется в основном отсутствием динамических способностей как ключевой составляющей трансформационного потенциала. Многие организации входят в этот процесс неподготовленными, не осознав в полной мере скрытую сложность данного феномена. Для преодоления подобной тенденции требуются сдвиг стратегической парадигмы и зна-

² <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/business-trends/2015/minimum-viable-business-model-transformation-business-trends.html>, дата обращения 04.03.2025.

³ <https://www.powermag.com/long-form-stories/digitalization-how-siemens-is-leading-the-transformation-of-the-energy-industry/>, дата обращения 11.04.2025.

⁴ <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/how-we-help-clients/rewired-in-action/dbs-transforming-a-banking-leader-into-a-technology-leader>, дата обращения 18.04.2025.

чительные усилия по компетентностному обновлению персонала. Масштабное и быстрое развитие цифровых экосистем на основе ИИ обуславливает потребность в принципиальном изменении состава компетенций и типов управленческих моделей для адаптации организаций к усложняющемуся контексту. Речь идет о способностях высшего порядка, с точки зрения которых управление сложными технологическими переходами и проведение компаний сквозь разные циклы обновлений в многих измерениях выглядит естественной практикой.

В настоящем исследовании анализируется влияние цифровых компетенций руководителей на результативность ЦТ в организациях с акцентом на причинах, по которым большинство таких инициатив не достигают поставленных целей. Проанализированы ключевые составляющие ЦТ, включая технологические компетенции, трансформационный потенциал, стратегическую гибкость, управление кооперационными сетями. Установлено, что оптимальный баланс трансформационных, стратегических и технологических компетенций стимулирует инновационную деятельность и обеспечивает конкурентное преимущество. Одна из наиболее трудно осваиваемых когнитивных опций – синтезировать несочетаемые, на первый взгляд, аспекты, держать в фокусе разнонаправленные процессы, видеть единство противоположностей. Другими словами, прежде чем начинать в организации цифровую трансформацию, следует подвергнуть пересмотру компетентный портфель и корпоративную культуру. Персонал должен пройти радикальное обновление устоявшихся представлений о развитии в эпоху постоянных перемен, приняв более сложные схемы работы. Все это требует выхода за рамки устоявшихся моделей мышления и поведения, которые прежде гарантировали успешную ди-

намику развития, но в новом контексте перестали работать. Для лучшего понимания специфики процессов ЦТ необходимо проводить лонгитюдные исследования кейсов подобных преобразований в разных национальных и отраслевых контекстах. Целесообразно создавать динамические дорожные карты, которые позволяют корректировать движение к заданной цели по мере развития технологических инноваций в разных странах. Особое внимание следует уделить принципам этического руководства, касающегося переподготовки персонала, обеспечения конфиденциальности данных и минимизации «предвзятости» алгоритмов.

Компетентные в цифровом отношении руководители реализовывают сложные процессы трансформации, определяют оптимальную траекторию, координируют бизнес-стратегии. Однако остаются недостаточно изученными их влияние на функционал и структуру организации, специфика эффектов для конкретных отраслей и организаций разного размера. Теоретическим основам уделяется больше внимания, чем эмпирическим данным, что ограничивает разнообразие исследований. Географическое смещение (в первую очередь анализируются развитые страны) создает пробелы в понимании роли цифровых компетенций руководителей в ЦТ организаций в развивающихся странах. Кроме того, основное внимание уделяется крупным предприятиям, а МСП игнорируются. Следует отметить отсутствие стандартных инструментов для оценки эффекта цифровых компетенций руководителей. В эпоху, когда ЦТ охватывает все большее число отраслей, цифровые компетенции персонала становятся важнейшим фактором результативности этого процесса. Организации, инвестирующие достаточные средства в их наращивание, повышают вероятность своего успеха в современном цифровом мире.

Библиография

- Al Maazmi A., Piya S., Araci Z.C. (2024) Exploring the Critical Success Factors Influencing the Outcome of Digital Transformation Initiatives in Government Organizations. *Systems*, 12(12), 524. <https://doi.org/10.3390/systems12120524>
- Aldoseri A., Al-Khalifa K.N., Hamouda A.M. (2024) AI-powered innovation in digital transformation: Key pillars and industry impact. *Sustainability*, 16(5), 1790. <https://doi.org/10.3390/su16051790>
- Ali M.M., Begum S. (2024) Case Study: Satya Nadella's Leadership at Microsoft. *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, 26(12), 74–79.
- AlNuaimi B.K., Singh S.K., Ren S., Budhwar P., Vorobyev D. (2022) Mastering digital transformation: The nexus between leadership, agility, and digital strategy. *Journal of Business Research*, 145, 636–648. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.03.038>
- Bharadwaj A., El-Sawy O.A., Pavlou P.A., Venkatraman N. (2013) Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37, 471–482. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.3>
- Bresciani S., Huarng K.H., Malhotra A., Ferraris A. (2021) Digital transformation as a springboard for product, process and business model innovation. *Journal of Business Research*, 128, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.02.003>
- Carroll N., Conboy K., Wang X. (2023) From transformation to normalisation: An exploratory study of a large-scale agile transformation. *Journal of Information Technology*, 38(3), 267–303. <https://doi.org/10.1177/02683962231164428>
- Correani A., De-Massia A., Frattini F., Petruzzelli A.M., Natalicchio A. (2020) Implementing a digital strategy: Learning from the experience of three digital transformation projects. *California Management Review*, 62, 37–56. <https://doi.org/10.1177/0008125620934864>
- Espina-Romero L., Norono-Sanchez J.G., Rojas-Cangahuala G., Palacios Garay J., Parra D.R., Rio Corredoira J. (2023) Digital Leadership in an Ever-Changing World: A Bibliometric Analysis of Trends and Challenges. *Sustainability*, 15(17), 13129. <https://doi.org/10.3390/su151713129>
- Feliciano M.M., Ameen N., Kotabe M., Paul J., Signoret M. (2023) Is digital transformation threatened? A systematic literature review of the factors influencing firms' digital transformation and internationalization. *Journal of Business Research*, 157, 113546. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113546>
- Gao J., Zhang W., Guan T., Feng Q., Mardanic A. (2022) The effect of manufacturing agent heterogeneity on enterprise innovation performance and competitive advantage in the era of digital transformation. *Journal of Business Research*, 155, 113387. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113387>

- Haskamp T., Dremel C., Marx C., Uebernickel F. (2021) *Understanding Inertia in Digital Transformation: A Literature Review and Multilevel Research Framework*. Paper presented at the 42th International Conference on Information Systems (ICIS), December 2021, Austin, USA.
- Heredia J., Castillo V.M., Geldes C., Carbajal F.M.G. (2022) How do digital capabilities affect firm performance? The mediating role of technological capabilities in the “new normal”. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(2), 100171. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100171>
- Hinings B., Gegenhuber T., Greenwood R. (2018) Digital innovation and transformation: An institutional perspective. *Information and Organization*, 28, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2018.02.004>
- Hussein H., Albady O.M., Mathew V., Al-Romeedy B.S., Alsetoohy O., Abou Kamar M., Khairy H.A. (2024) Digital leadership and sustainable competitive advantage: Leveraging green absorptive capability and eco-innovation in tourism and hospitality businesses. *Sustainability*, 16(13), 5371. <https://doi.org/10.3390/su16135371>
- Jöhnk J., Oesterle S., Ollig P., Riedel L.N. (2020) The Complexity of Digital Transformation – Conceptualizing Multiple Concurrent Initiatives. In: *WI2020 Zentrale Tracks* (eds. C.M. König, N. Guhr, J. Svetachova, M.H. Breitner), Berlin: GITO, pp. 1051–1066. https://doi.org/10.30844/wi_2020_j8-joehnk
- Karakose T., Kocabas I., Yirci R., Papadakis S., Ozdemir T.Y., Demirkol M. (2022) The development and evolution of digital leadership: A bibliometric mapping approach-based study. *Sustainability*, 14(23), 16171. <https://doi.org/10.3390/su142316171>
- Karakose T., Tülübaş T. (2023) Digital leadership and sustainable school improvement — A conceptual analysis and implications for future research. *Educational Process: International Journal*, 12(1), 7–18. <https://doi.org/10.22521/edupij.2023.121.1>
- Karippur N.A., Balaramachandran P.R. (2022) Antecedents of Effective Digital Leadership of Enterprises in Asia Pacific. *Australasian Journal of Information Systems*, 26, 2525. <http://dx.doi.org/10.3127/ajis.v26i0.2525>
- Kirti N., Rakesh D.R., Vinay S.Y., Pragati P., Balkrishna E.N. (2022) The impact of sustainable development strategy on sustainable supply chain firm performance in the digital transformation era. *Business Strategy and the Environment*, 31(3), 845–859. <https://doi.org/10.1002/bse.2921>
- Klos C., Spieth P., Clauss T., Klusmann C. (2021) Digital Transformation of Incumbent Firms: A Business Model Innovation Perspective. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 99, 3075502. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3075502>
- Kotter J.P. (1995) Leading change: Why transformation efforts fail. *Harvard Business Review*, May-June 1995. <https://hbr.org/1995/05/leading-change-why-transformation-efforts-fail-2>, accessed 11.12.2024.
- Kraus S., Durst S., Ferreira J.J., Veiga P., Kailer N., Weinmann A. (2022) Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo. *International Journal of Information Management*, 63, 102466. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102466>
- Mergel I., Edelmann N., Haug N. (2019) Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government Information Quarterly*, 36(4), 101385. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.06.002>
- Mollah M.A., Amin M.B., Debnath G.C., Hosain M.S., Rahaman M.A., Abdullah M. (2024) Nexus among digital leadership, digital transformation, and digital innovation for sustainable financial performance: Revealing the influence of environmental dynamism. *Sustainability*, 16(18), 8023. <https://doi.org/10.3390/su16188023>
- Mrugalska B., Ahmed J. (2021) Organizational Agility in Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13(15), 8272. <https://doi.org/10.3390/su13158272>
- Nambisan S., Wright M., Feldman M. (2019) The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8), 103772. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018>
- O'Brien J., Singh M., Whelan A., Manning E., Jayes F., Murphy J., Brosnan A. (2023) *Unpacking Digital Transformation Risk: A Systematic Review On Why Digital Transformations Often Fail To Deliver Value*. Paper presented at the 2023 European Academy of Management Conference, March 2023, Dublin, Ireland.
- Oludapo S., Carroll N., Helfert M. (2024) Why do so many digital transformations fail? A bibliometric analysis and future research agenda. *Journal of Business Research*, 174, 114528. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114528>
- Pagani M. (2013) Digital business strategy and value creation: Framing the dynamic cycle of control points. *MIS Quarterly*, 37, 617–632. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.13>
- Peng Y., Alias B.S., Mansor A.N., Ismail M.J. (2024) Charting the evolving landscape of digital leadership in education: A systematic literature review. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(8), 5925. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i8.5925>
- Piepponen A., Ritala P., Keränen J., Maijanen P. (2022) Digital transformation of the value proposition: A single case study in the media industry. *Journal of Business Research*, 150, 311–325. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.017>
- Plekhanov D., Franke H., Netland T.H. (2023) Digital transformation: A review and research agenda. *European Management Journal*, 41(6), 821–844. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2022.09.007>
- Qiao G., Li Y., Hong A. (2024) The strategic role of digital transformation: Leveraging digital leadership to enhance employee performance and organizational commitment in the digital era. *Systems*, 12(11), 457. <https://doi.org/10.3390/systems12110457>
- Qiao W., Ju Y., Dong P., Tiong R.L.K. (2024) How to realize value creation of digital transformation? A system dynamics model. *Expert Systems with Applications*, 244, 122667. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122667>
- Ramesh N., Delen D. (2021) Digital Transformation: How to Beat the 90% Failure Rate? *IEEE Engineering Management Review*, 49(3), 22–25. <https://doi.org/10.1109/EMR.2021.3070139>
- Schiama G., Santarsiero F., Carlucci D., Jarrar Y. (2024) Transformative leadership competencies for organizational digital transformation. *Business Horizons*, 67(4), 425–437. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2024.04.004>
- Teece D.J. (2007) Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- Trenerry B., Chng S., Wang Y., Suhaila Z.S., Lim S.S., Lu H.Y., Oh P.H. (2021) Preparing Workplaces for Digital Transformation: An Integrative Review and Framework of Multi-Level Factors. *Frontiers in Psychology*, 12, 620766. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.620766>
- Trischler J., Trischler W.J. (2022) Design for experience – A public service design approach in the age of digitalization. *Public Management Review*, 24(8), 1251–1270. <https://doi.org/10.1080/14719037.2021.1899272>
- UNCTAD (2019) *Digital Economy Report 2019*, Geneva: United Nations.
- Veeraya S., Raman M., Gopinathan S., Singh J. (2024) Digital Business Transformation of Malaysian Small and Medium-Sized Enterprises: A Review on Digital Leadership and Digital Culture. *International Journal of Organizational Leadership*, 13(4), 703–721. <https://doi.org/10.33844/ijol.2024.60439>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Wang L., Jin X., Yoo J.J. (2024) The process of visionary leadership increases innovative performance among IT industry 4.0 for SMEs for organizational sustainability: Testing the moderated mediation model. *Sustainability*, 16(19), 8690. <https://doi.org/10.3390/su16198690>
- Zhang H., Ding H., Xiao J. (2023) How organizational agility promotes digital transformation: An empirical study. *Sustainability*, 15(14), 11304. <https://doi.org/10.3390/su151411304>
- Zhu X., Ge S., Wang N. (2021) Digital transformation: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107774. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107774>

Патентные тренды как предикторы стратегии

Нестор Брандао Нето

Эксперт, nestorbn@gmail.com

Лестер Фариа

Профессор, lester@ita.br

Франсиско Кристовоа Лоренсу де Мелу

Профессор, francisco.frap@gmail.com

Технологический институт аэронавтики (Aeronautics Institute of Technology, ITA), Бразилия, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acacias, São José dos Campos – SP, 12228-900 – Brazil

Аннотация

Анализ актуальных тенденций патентования обнаруживает важные закономерности, способные стимулировать технологический прогресс в отдельных секторах — прежде всего за счет обнаружения существующих пробелов и определения новых направлений исследований. В статье рассматривается, как экономическое освоение результатов исследований и разработок (ИиР) отражает динамику инновационного процесса и учитывается при стратегическом планировании, формировании политики и управлении этой сферой. На примере финансирования государственных научно-технологических институтов бразильского аэрокосмического и оборонного секторов показано, как эти тенденции влияют на формирование активных стратегий технологического развития.

Показано, что динамика ИиР и инновационной деятельности указанных институтов точно отражает потребности и тенденции развития соответствующих технологических направлений. Результаты свидетельствуют о расширении спектра исследовательских интересов и усложнении инновационных экосистем, в которых действуют эти институты. Успех инновационной политики зависит от способности прогнозировать тренды, инвестировать в перспективные области и обеспечивать трансфер технологий в реальный сектор экономики. Такой подход позволяет научным учреждениям оперативно реагировать на зарождающиеся изменения и рыночные возможности, способствуя устойчивому развитию и научно-техническому прогрессу.

Ключевые слова: инновационное развитие; управление инновационной деятельностью; патентование; управление ИиР; научно-технологическая и инновационная политика; технологические изменения; Бразилия

Цитирование: Neto N.B., Faria L., de Melo F.C.L. (2025) Patent Trends Analysis as a Basis for Innovation Strategies. *Foresight and STI Governance*, 19(1), pp. 77–84. <https://doi.org/10.17323/fstg.2025.23834>

Patent Trends Analysis as a Basis for Innovation Strategies

Nestor Brandão Neto

Expert, nestorbn@gmail.com

Lester Faria

Professor, lester@ita.br

Francisco Cristovão Lourenço de Melo

Professor, francisco.frapi@gmail.com

Aeronautics Institute of Technology (ITA), Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acacias,
São José dos Campos – SP, 12228-900 – Brazil

Abstract

The analysis of patent trends reveals significant patterns that have the potential to drive technological advancements in specific domains, particularly by identifying emerging areas and research gaps. This study examines how the economic appropriation of research and development outcomes mirrors the dynamics of the innovation process and informs strategic planning, policy formulation, and innovation management. By conducting a detailed analysis of the economic appropriations made by public science and technology institutions within Brazil's aerospace and defense sectors, we identify how these trends can inform proactive approaches to technological innovation. The institutions studied exhibit

research and development and innovation dynamics that are finely tuned to the specific needs and trends of their technological fields, illustrating the increasing diversity of research and development interests and the complexity of the innovation ecosystems in which they operate. Ultimately, the success of innovation policies and strategies hinges on the ability to anticipate technological trends, strategically invest in high-potential areas, and efficiently transfer technologies to the productive sector. This ensures that institutions are well-positioned to respond quickly and effectively to technological changes and market opportunities, fostering sustainable development and technological progress.

Keywords: innovation development; innovation management; patenting; R&D management; R&D&I policies; technological change; Brazil

Citation: Neto N.B., Faria L., de Melo F.C.L. (2025) Patent Trends Analysis as a Basis for Innovation Strategies. *Foresight and STI Governance*, 19(1), pp. 77–84. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.23834>

Введение и контекст

В условиях ускоряющихся технологических изменений и обострения глобальной конкуренции согласование научно-технологической и инновационной политики (НТИ) со стратегическими национальными приоритетами приобретает все большую значимость. Масштабные социально-экономические вызовы — от достижения устойчивости до сохранения промышленной конкурентоспособности — требуют комплексного подхода к инновационному и технологическому развитию (Fagerberg et al., 2009; Mazzucato, 2013; Etzkowitz, Zhou, 2018). Для эффективности стимулирующих мер важно разграничивать управление исследованиями и разработками (ИиР) и политику НТИ: первое связано с реализацией проектов внутри институтов, второе — с нормативной поддержкой и регулированием ключевых инновационных процессов. Такое разграничение способствует более четкому пониманию ролей участников инновационной экосистемы.

Особого внимания заслуживают государственные научно-технологические институты, ориентированные на повышение технологического потенциала стратегических отраслей, прежде всего аэрокосмической и оборонной. Эти организации функционируют в сложной инновационной экосистеме на пересечении процессов патентования, исследовательской деятельности и государственных инициатив. Патентование не только служит индикатором научных достижений, но и отражает стратегические приоритеты ИиР, что важно для приведения инновационной политики в соответствие с потенциалом организаций и рыночными перспективами.

Статья предлагает практические подходы для разработчиков политики НТИ, менеджеров ИиР и исследователей. Продемонстрировано, как акцент на отдельных технологиях — микроструктурах, нанотехнологиях, полупроводниках, электротехнике — и фундаментальные ИиР отвечают мировому спросу на решения в области устойчивого развития. Выявление стратегических направлений инвестирования и возможностей трансфера технологий может стать катализатором научно-технического прогресса в Бразилии.

Патентная статистика служит ключевым индикатором инновационной активности. Данные о регистрации прав на результаты ИиР используются при планировании исследований и разработке принципов управления инновационной деятельностью. Рассмотрены основные тенденции патентования ведущих институтов, включая организации, входящие в Департамент аэрокосмической науки и технологий (Department of Aerospace Science and Technology, DCTA) в составе Военно-воздушных сил Бразилии, за последние два десятилетия. Этот анализ позволяет идентифицировать как перспективные направления технологического развития, так и новые исследовательские области.

В качестве объектов анализа выбраны три подведомственных DCTA организации: Институт аэронавтики и космонавтики (Institute of Aeronautics and Space,

IAE), Институт перспективных исследований (Institute for Advanced Studies, IEAv) и Институт технологий аэронавтики (Aeronautics Institute of Technology, ITA). Изучение их патентной и инновационной деятельности показывает, как учитывать выявленные тенденции при управлении созданием технологических инноваций.

Материалы и методы

Исследование направлено на всесторонний анализ того, как экономическое освоение результатов ИиР, полученных институтами системы DCTA (IAE, IEAv и ITA), может трансформироваться в экономически значимые эффекты и обеспечить обратную связь с процессами ИиР и инновационного развития. Такой подход открывает возможности для стратегического планирования ИиР, разработки политики НТИ и совершенствования управления инновационной сферой.

Методология поискового и описательного исследования (Gil, 2010; Prodanov, Freitas, 2013; Matias-Pereira, 2019; Creswell, Creswell, 2009) была применена для выявления связей между переменными на базе разнородных данных. Комплексный (холистический) подход, объединяющий разные способы сбора информации, библиометрический анализ и анализ данных, обеспечил достоверность и точность результатов. Такая целостная методология позволила получить ценные сведения для разработки эффективных стратегий инновационного развития и государственной политики с учетом тенденций патентования.

На первом этапе исследования проводился отбор источников. Анализ охватил деятельность ведущих национальных центров ИиР Бразилии, ориентированных на стратегические высокотехнологичные сектора, значимые для экономического и социального развития страны. В качестве основного инструмента сбора информации из патентных баз данных применялось приложение PatSeer® IP, разработанное компанией GridLogics. В выборку вошли патентные заявки, поданные в Национальный институт промышленной собственности (National Institute of Industrial Property, INPI) и зарубежные патентные ведомства. Для структурирования технологических направлений и поднаправлений применялась Международная патентная классификация (МПК).

Обработка данных включала тщательный обзор профильной литературы. Основное внимание уделялось качественному анализу, направленному на выявление ключевых тенденций в рамках принятой теоретической модели. Подобный подход позволил наиболее полно отразить процессы в сфере НТИ в отличие от менее информативных количественных оценок.

Целью проведенного прикладного исследования было получить практические знания для решения конкретных управленческих задач в области НТИ (Dodgson et al., 2014). Достоверность выводов обеспечена триангуляцией — сравнением данных из различных источников, повышающим надежность результатов.

Результаты и обсуждение

Эффективное инновационное развитие требует гармоничного сочетания политики НТИ и управления ИиР. Политика НТИ действует на макроуровне, формируя институциональные основы и нормативную среду, тогда как управление ИиР функционирует в организационном и микроэкономическом масштабе, трансформируя стратегические ориентиры в конкретные решения. Аналитическое разграничение этих компонентов создает основу для системного подхода к инновационной экосистеме.

Исследование патентной активности институтов IAE, IEAv и ITA демонстрирует их функционирование в рамках динамической структуры, где приоритеты исследований и инновационные стратегии регулярно корректируются под влиянием технологических достижений, политических мер и рыночного спроса. Ключевым аспектом трансформации управления ИиР стала интеграция методов Форсайта, позволяющая выявлять перспективные технологические направления и оптимизировать распределение ресурсов.

Произошел переход от закрытой модели инновационного развития к сетевому принципу с акцентом на трансфере технологий, открытых инновациях и партнерстве науки с промышленностью. Политические сдвиги в управлении сферой НТИ, с фокусом на устойчивом развитии, цифровой трансформации и технологиях двойного назначения, обусловили появление новых моделей финансирования и нормативных стимулов.

Связь между ИиР, созданием инноваций и патентованием носит нелинейный, интерактивный характер, что подтверждается выявленными тенденциями:

- патентная активность в базовых технологических областях (материалы, металлургия) отличается стабильностью, свидетельствуя о долгосрочных инвестициях;
- в полупроводниках и телекоммуникациях патентная активность менее устойчива, что указывает на зависимость от политических стимулов и финансирования;
- наблюдается межсекторальное влияние, когда достижения в одной области стимулируют инновации в смежных дисциплинах.

Анализ патентования выступает стратегическим механизмом для разработки институциональной политики и инновационных стратегий (Campbell, 1983; Kaminishi et al., 2014; Niemann et al., 2017; Kim, Bae, 2017). Государственные научно-технологические институты должны ориентироваться на потребности инновационной экосистемы, регулярно обновляя технологические портфели для сохранения конкурентоспособности на рынке наукоемкой продукции (Becz et al., 2010).

Важно подчеркнуть, что управление технологическими инновациями выходит за рамки защиты изобретений — интеллектуальная собственность выступает не самоцелью, а инструментом стратегического управления результатами ИиР. При этом ин-

новационный процесс должен рассматриваться в системной и интерактивной перспективе (Rothwell, 1994; PMI, 2021).

Примененный в исследовании системный подход позволил картировать эволюцию инновационной деятельности и ее соответствие институциональным приоритетам. Интерактивность анализа проявилась в учете взаимовлияния патентования, управления ИиР и инновационных стратегий. С помощью PatSeer® проводился масштабный поиск по патентным базам, результаты которого структурировались для выявления тенденций развития технологий и возможностей их трансфера.

В табл. 1 и 2 представлены матрицы ежегодных публикаций действующих патентов по технологическим областям для институтов DCTA (IAE и IEAv) и для ITA, характеризующие динамику их патентной активности.

Данные для IAE и IEAv позволяют детально проследить динамику разработки технологий по направлениям «Материалы» и «Металлургия». Стабильный уровень патентования в 2006–2023 гг. свидетельствует о последовательном и целенаправленном выполнении ИиР в этих областях и формировании значимых технологических трендов с высоким инновационным потенциалом. Направление ИиР «Материалы» имеет критическое значение для развития различных технологий и отраслей — электроники, автомобилестроения, аэрокосмической промышленности и здравоохранения. Современные композиты, наноструктуры, биоматериалы и новые полимеры находятся на переднем крае исследований и обладают улучшенными характеристиками: повышенной прочностью, легкостью и специальным функционалом (самовосстановление или чувствительность к внешним воздействиям).

Активно развивающиеся глобальные ИиР наноструктур и композитов концентрируются на разработке *материалов* с уникальными свойствами для электроники, катализаторов и строительной отрасли. Масштаб этих работ подтверждает обоснованность выбора данного направления в качестве приоритетного для институтов системы DCTA, способных применить накопленный опыт и сформированные компетенции. Манипулирование в наномасштабе позволяет формировать структуры с инновационными физическими, химическими и биологическими характеристиками.

Другим существенным трендом выступает патентная активность в области *металлургии*, значение которой обусловлено растущим спросом на материалы, устойчивые к экстремальным условиям и при этом экологичные в производстве. Разработка передовых сплавов с высокой термо- и коррозионной стойкостью остается стратегически важным направлением для отраслей, в которых оборудование эксплуатируется в режимах предельной нагрузки (авиация, гиперзвуковые системы, энергетика). Особую ценность приобретают ИиР в сфере порошковой металлургии, которые позволяют добиться характеристик, недостижимых традиционными методами литья. Такие материалы

Табл. 1. Статус действующей интеллектуальной собственности НТИ DCTA (IAE и IEAv)

Технологическое поднаправление	Год публикации																		
	Всего	2002	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Материалы	20		X	X	X	X		X	X			X	X	X	X		X	X	X
Металлургия	20		X	X	X	X		X	X			X	X	X	X		X	X	X
Измерение	9				X	X	X				X	X		X	X	X			
Покрытия	6		X				X						X	X		X			
Технологии обработки поверхности	6		X				X						X	X		X			
Другие специальные машины	4	X						X		X						X			
Двигатели	3										X					X	X		
Оптика	3														X			X	X
Насосы	3										X					X	X		
Турбины	3										X					X	X		
Аудиовизуальная техника	2	X										X							
Станки	2														X				X
Макромолекулярная химия	2												X				X		
Микроструктурные и нанотехнологии	2								X								X		
Полимеры	2												X				X		
Полупроводники	2												X			X			
Телекоммуникации	2	X										X							
Текстильные и бумагоделательные машины	1					X													

*Примечание: итоговые данные могут включать несколько технологических направлений в соответствии с Международной патентной классификацией (МПК).

Источник: составлено авторами.

Табл. 2. Статус действующей интеллектуальной собственности DCTA / ITA

Технологическое поднаправление	Всего	Год публикации														
		2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Приборостроение	25	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Машиностроение	18	X			X	X		X	X	X		X	X	X	X	
Химия	12		X		X	X			X			X	X		X	
Электротехника	5		X									X		X		X
Другие направления	5		X		X		X					X	X			

*Примечание: итоговые данные могут включать несколько технологических направлений в соответствии с Международной патентной классификацией (МПК).

Источник: составлено авторами.

необходимы для изготовления сложных компонентов, востребованных различными секторами промышленности.

Перспективы повышения эффективности и экологичности металлургических процессов связаны также с переработкой и устойчивостью. Патентная активность в областях «Материалы» и «Металлургия» отражает последовательное внимание рассматриваемых институтов к ИиР, обеспечивающим не только улучшение характеристик и функциональности материалов, но и достижение глобальных целей устойчивого развития и энергоэффективности. Выявленные тенденции подтверждают продуктивность междисциплинарного подхода, интегрирующего достижения химии, физики, биологии и инженерии для решения текущих и потенциальных задач.

В табл. 2 выделяются технологические области «Приборостроение», «Машиностроение», «Химия», «Электротехника» и др., что демонстрирует комплексный подход к ИиР. Наибольшую активность показы-

вают направления машино- и приборостроения, подтверждая значительный потенциал ИТА и системный характер разработок.

Машиностроение, интегрирующее разнообразные технологические процессы (от проектирования сложных систем до оптимизации производства), выступает ключевой отраслью для многих секторов экономики. ИиР в этой сфере обеспечивают существенный прирост эффективности, долговечности и производительности технических средств, что непосредственно влияет на конкурентоспособность промышленных предприятий. Патентование в сфере *приборостроения* отражает развитие технологий измерения и контроля, которые играют важную роль в научных исследованиях, обрабатывающей промышленности и секторе услуг: способность точно измерять и контролировать процессы необходима в таких областях, как аэрокосмическая промышленность, оборона, здравоохранение и энергетика, т. е. именно там, где ИТА старается стать образцом для Бразилии и всего мира.

Выделяющиеся позиции химии и электротехники свидетельствуют о стратегии диверсификации, нацеленной на решение междисциплинарных задач и выход на новые исследовательские рубежи. Химия, особенно в эпоху зеленых технологий и новых материалов, обладает огромным инновационным потенциалом по достижению устойчивости. В свою очередь, электротехника как ключевой компонент электронных систем, телекоммуникаций и информационных технологий фундаментально важна для цифровизации и связи.

Успехи ИТА в сотрудничестве с промышленностью и трансфере технологий обеспечивают ему лидирующие позиции в ИиР и создают основу для будущих прорывов. Благодаря разработке технологий для различных секторов ИТА оказывается ценным партнером для компаний, заинтересованных в передовых технологических решениях, стимулирующих экономическое развитие.

Анализ периодов высокой патентной активности показывает, что создание и регистрация инноваций носят не линейный, а циклический характер с чередованием фаз разной интенсивности. В табл. 1 прослеживается неоднородное распределение по технологическим направлениям, включая «Материалы», «Металлургию» и «Измерение». Области «Покрытия» и «Технологии обработки поверхностей» демонстрируют повышенную результативность в 2012–2023 гг., что указывает на приоритетное внимание к соответствующим ИиР в данный период. В отношении оптики и полупроводников этот показатель также сохраняется на стабильном уровне.

Патентная активность в приборо- и машиностроении оставалась постоянной в течение всего рассматриваемого периода, с пиками в отдельные годы. В электротехнике выявлен рост показателя, особенно после 2010 г., что отражает интенсификацию инновационной деятельности в ответ на растущий спрос на более передовые и устойчивые технологии.

Исходя из тенденций патентования мы выделяем три ключевых фактора, определяющих такие циклы:

- Стабильные направления научных исследований (например, материаловедение и металлургия) демонстрируют более длительные и равномерные циклы, в рамках которых инновационная деятельность осуществляется через получение инкрементных результатов при устойчивом финансировании.
- Прорывные и политически чувствительные направления (например, полупроводники, телекоммуникации и оптика) характеризуются более короткими высокоинтенсивными циклами, зачастую обусловленными нормативными стимулами, прорывными открытиями или изменением спроса со стороны промышленности.
- Междисциплинарные направления (например, приборо- и машиностроение) демонстрируют дискретные циклы, где всплески патентования обусловлены новым технологическим применением междисциплинарных инноваций.

Понимание циклической динамики принципиально важно для стратегического управления ИиР и инновационной деятельностью. С их помощью научно-технологические институты могут прогнозировать и использовать периоды высокой активности для увязки инвестиций и ИиР с новыми технологическими возможностями, определять оптимальные сроки для передачи и коммерциализации технологий, а также корректировать свои стратегии, эффективно распределяя ресурсы между долгосрочными фундаментальными исследованиями и оперативным созданием прорывных инноваций.

Изучение данных, представленных в обеих таблицах, позволяет идентифицировать лакуны и перспективные направления исследований. В табл. 1 некоторые технологические области, в частности двигатели, насосы, текстильные и бумагоделательные машины, на протяжении многих лет характеризуются относительно низкой или спорадической патентной активностью. Ограниченная патентная активность в области аудиовизуальных технологий также свидетельствует о возможном пробеле. В табл. 2 минимальная активность выявлена для «Химии» и «Других направлений», что может указывать на потенциальные возможности, особенно учитывая фундаментальную роль химии в разработке новых технологий и достижении устойчивого развития.

К перспективным направлениям исследований, или областям растущего интереса, в табл. 1 отнесены технологии покрытия и обработки поверхностей, микроструктурные и нанотехнологии. Здесь наблюдается значительный рост патентной активности, свидетельствуя о повышенном внимании к разработке новых материалов и технологий с новыми свойствами. В направлениях полупроводников и телекоммуникаций данный показатель остается стабильным, что свидетельствует о постоянном интересе к этим критически важным областям. В табл. 2 рост патентной активности в электротехнике особенно заметен в последние годы, что может быть обусловлено такими тенденциями, как электрификация транспорта, распространение возобновляемых источников энергии и спрос на более эффективные энергосистемы.

К стратегическим инвестиционным направлениям можно отнести микроструктурные и нанотехнологии, полупроводники и телекоммуникации, электротехнику и приборостроение. Инвестиции в эти сектора могут ускорить разработку новых технологий и продуктов для удовлетворения глобального спроса на развитие коммуникаций, повышение производительности и энергоэффективности.

Что касается возможностей трансфера, рост патентной активности в области технологий покрытия и обработки поверхностей предполагает наличие значимых результатов для автомобилестроения, аэрокосмической и строительной отраслей. Оптика открывает перспективы трансфера решений в здравоохранение и системы связи. Патентная активность в машиностроении указывает на потенциал применения в об-

рабатывающей и автомобильной промышленности, а инновации в области химии могут найти применение в производстве устойчивых материалов, биохимии и фармацевтике.

Выводы

Анализ патентной практики научно-технологических институтов системы DCTA за последние 19 лет выявил ряд тенденций, которые целесообразно учитывать при стратегическом планировании ИиР и управлении инновационной деятельностью.

Институты IAE и IEAv в большей степени специализируются на разработке специфических технологий, в частности новых материалов и коммуникаций, и определении перспективных научных направлений с высокой вероятностью практического применения. ИТА, напротив, демонстрирует выраженную ориентацию на фундаментальные ИиР и инженерно-технические инновации. Эти организации осознают важность приоритизации инвестиций в передовые технологии для сохранения конкурентоспособности и инновационного лидерства. Анализ трансфера технологий в областях покрытий, обработки поверхностей, оптики, электротехники и приборостроения показал потенциал их более широкого применения в различных секторах промышленности.

Выявленная неоднородность патентной активности отражает сложную структуру инновационной экосистемы представителей аэрокосмической и оборонной отраслей. Идентификация исследовательских лакун и растущих областей интереса позволяет институтам максимизировать результативность своей деятельности и вносить существенный вклад в удовлетворение глобального спроса на инструменты повышения устойчивости и эффективности.

Стратегические инвестиции в микроструктурные и нанотехнологии, полупроводники и электротехнику необходимы для сохранения технологического лидерства. Одновременно выявленные пробелы в исследованиях двигателей, насосов и химии указывают на области с нереализованным потенциалом для прорывных инноваций. Поиск баланса между освоением новых и расширением границ известных направлений критически важен для формирования динамичной инновационной экосистемы.

Политика НТИ выступает ключевым фактором формирования среды для инновационного развития. Результаты исследования подчеркивают необходимость мер по стимулированию ИиР в стратегических областях и усилению трансфера технологий. Это предполагает инвестирование в кадры и исследовательскую инфраструктуру, налоговые льготы и защиту интеллектуальной собственности. Эффективная инновационная стратегия должна включать механизмы оперативного внедрения технологий в государственном и частном секторах для ответа на глобальные вы-

зовы устойчивого развития, здравоохранения и безопасности.

Для успешной стратегии необходимо не только определить приоритетные направления, но и устранить нормативные барьеры, обеспечить адекватное финансирование и наладить сотрудничество науки, промышленности и государства. Быстрая технологическая эволюция требует гибких политик и стратегий, способных адаптироваться к изменяющейся среде.

Создание инноваций носит не линейный, а циклический характер, зависящий от технологической зрелости, институциональных приоритетов и рыночного спроса. Понимание этих циклов позволяет эффективнее распределять ресурсы и оптимизировать долгосрочное планирование. Патентование одновременно выступает результатом и драйвером инноваций, формируя направления будущих исследований. Институтам следует использовать патентную аналитику не только для защиты интеллектуальной собственности, но и как инструмент стратегического Форсайта. Междисциплинарные эффекты перетока между технологическими областями (материаловедением и оптикой, телекоммуникациями и приборостроением) демонстрируют важность открытых инновационных моделей.

Для политиков и лидеров сферы НТИ полученные результаты указывают на необходимость гибкой инновационной политики в целях:

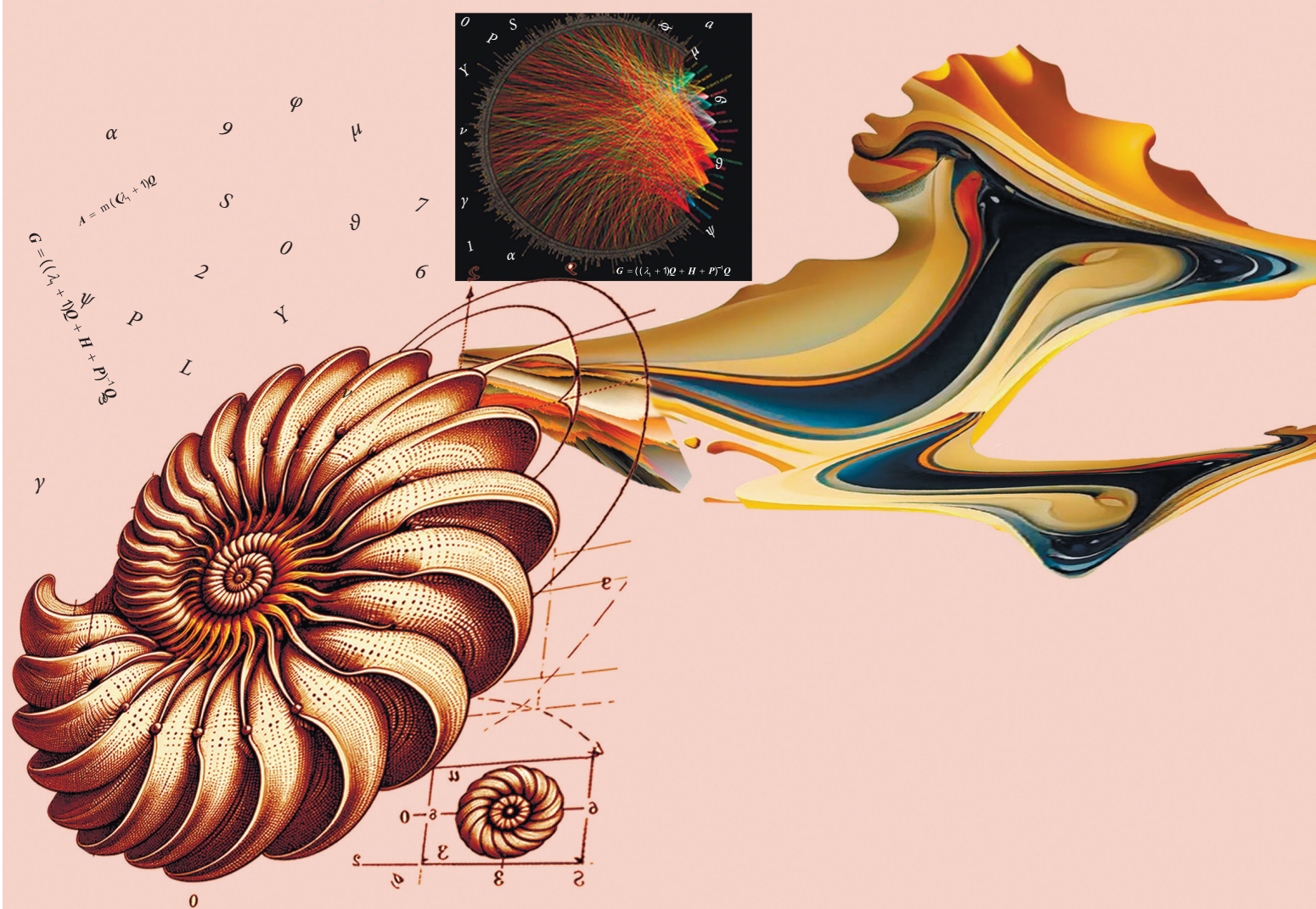
- стимулирования долгосрочных инвестиций в базовые технологии при поддержке коротких циклов высокоэффективных инноваций;
- укрепления сотрудничества науки с промышленностью для воплощения патентов в практические решения;
- использования механизмов Форсайта для предвосхищения технологических сдвигов и гармонизации исследовательских программ с мировыми тенденциями.

Учет этих положений позволит более эффективно прогнозировать и управлять ландшафтом НТИ, способствуя устойчивому технологическому развитию. Успех зависит от способности предвидеть тенденции, стратегически инвестировать в перспективные направления и стимулировать трансфер технологий. Анализ тенденций патентования в трех аэрокосмических институтах (IAE, IEAv и ИТА) предоставил ценную информацию об эволюции технологических приоритетов и влиянии внешних стимулов на траектории инновационной деятельности.

Авторы выражают благодарность Координационному комитету по развитию кадров высшего образования Бразилии (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES) и Технологическому институту аэронавтики (ITA) за поддержку настоящего исследования, а также компании Prospective Inovação Tecnológica e Ambiental Ltda за предоставление доступа к приложению PatSeer® для сбора данных и информации об интеллектуальной собственности, использованных в исследовании.

Библиография

- Becz S., Pinto A., Zeidner L.E., Banaszuk A., Khire R., Reeve H.M. (2010) *Design System for Managing Complexity in Aerospace Systems*. Paper presented at the 13th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, Fort Worth, TX AIAA, AIAA-2010-9223. <https://doi.org/10.2514/6.2010-9223>
- Campbell R.S. (1983) Patent Trends as a Technological Forecasting Tool. *World Patent Information*, 5(3), 137–143. [https://doi.org/10.1016/0172-2190\(83\)90134-5](https://doi.org/10.1016/0172-2190(83)90134-5)
- Creswell J.W., Creswell J. D. (2009) *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd. ed.), Thousand Oaks, CA: Sage.
- Dodgson M., Gann D.M., Phillips N. (eds.) (2014) *The Oxford Handbook of Innovation Management*, Oxford: Oxford University Press.
- Etzkowitz H., Zhou C. (2018) *The Triple Helix: University – Industry – Government Innovation and Entrepreneurship* (2nd ed.), New York: Routledge.
- Fagerberg J., Srholec M., Verspagen B. (2009) *Innovation and economic development* (UNUMERIT Working Papers No. 032), Maastricht: UNU-MERIT.
- Gil A.C. (2010) *How to Develop Projects of Research* (5th ed.), Sao Paulo: Atlas Press.
- Kaminishi K., Muhamad A.K.B., Kyontani T., Miyake K., Kimura T., Haruyama S. (2014) A study of technology trends analysis using patent search systems. *Journal of Technology Innovation and Sustainability*, 5(2), 18–35.
- Kim G., Bae J. (2017) A novel approach to forecast promising technology through patent analysis. *Technological Forecasting & Social Change*, 117, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.023>
- Matias-Pereira J. (2019) *Manual de metodologia da pesquisa científica* (4th ed.), Sao Paulo: Atlas Press.
- Mazzucato M. (2013) *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*, London; New York: Anthem Press.
- Niemann H., Moehrle M.G., Frischikorn J. (2017) Use of a new patent text-mining and visualization method for identifying patenting patterns over time: Concept, method and test application. *Technological Forecasting & Social Change*, 115, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.10.004>
- Prodanov C.C., Freitas E.C. (2013) *Methodology of Scientific Work: Methods and Techniques of Research and Academic Work* (2nd ed.), Novo Hamburgo, RS: Feevale.
- PMI (2021) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)* (7th ed.), Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Rothwell R. (1994) Towards the fifth-generation innovation process. *International Marketing Review*, 11(1), 7–31. <https://doi.org/10.1108/02651339410057491>
- Tidd J., Bessant J., Pavitt K. (2001) *Managing innovation: Integrating technological market and organizational change*, Chichester: Wiley.



Футурограмотность: развитие навыков по работе с будущим

Роли Хавьер Гутарра Ромеро

Профессор, rgutarrar@continental.edu.pe

Континентальный университет (Universidad Continental), Перу, Av. San Carlos 1980 Urb. San Antonio – Huancayo 12001, Perú

Альма Габриэла Валенте Меркадо

Профессор, agvmmercado@utp.edu.pe

Технологический университет Перу (Universidad Tecnológica del Perú), Перу, San Agustín de Cajas 12007, Huancayo 12001, Perú

Луис Рамирес Сирго

Профессор, luis.sirgo@uat.edu.mx

Автономный университет Тамаулипаса (Universidad Autónoma de Tamaulipas), Мексика, Mariano Matamoros S/N, Zona Centro, Cdad. Victoria, Tamps 87000, México

Аннотация

Тема динамических способностей (dynamic capabilities) за последние годы приобрела новое звучание. Как и другие компетенции высшего порядка, такие способности обеспечивают постоянное обновление знаний, гибкую рекомбинацию ресурсов, адаптацию к быстро меняющейся среде. Их ключевым элементом выступает работа с будущим, начиная с базовых навыков грамотности в отношении будущего — futures literacy (FL). Поскольку данная компетенция служит основополагающей для кадрового потенциала организаций, целесообразно начинать ее развитие уже в рамках университетских программ. Удовлетворению этой насущной потребности длительное время препятствовало отсутствие объективных инструментов,

позволяющих измерять степень освоения FL. Авторы статьи восполняют описанный пробел, предлагая инновационный подход к выявлению и стандартизации оценки компетенции FL. В работе представлены шесть теоретических аспектов FL в качестве основы для группировки соответствующих метрик, выставления итоговых оценок и их интерпретации. Эти аспекты — субкомпетенции «предвидение», «оценка будущих сценариев» и «принятие решений в условиях неопределенности» — могут быть описаны независимо друг от друга. Возможность измерять исходный уровень FL позволит разрабатывать более эффективные образовательные программы по культивированию данной компетенции.

Ключевые слова: навыки работы с будущим; динамические способности; оценка компетенций; стратегическое мышление; исследования будущего; инновационное мышление; Форсайт; сценарное планирование

Цитирование: Gutarra Romero R.J., Valente Mercado A.G., Sirgo L.R. (2025) Dynamic Capabilities: Toward an Assessment of Futures Literacy Competency. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 86–97. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.23756>

Dynamic Capabilities: Toward an Assessment of Futures Literacy Competency

Roly Javier Gutarra Romero

Professor, rgutarrar@continental.edu.pe

Universidad Continental, Av. San Carlos 1980 Urb. San Antonio – Huancayo 12001, Perú

Alma Gabriela Valente Mercado

Professor, agvmercado@utp.edu.pe

Universidad Tecnológica del Perú, San Agustín de Cajas 12007, Huancayo 12001, Perú

Luis Ramírez Sirgo

Professor, luis.sirgo@uat.edu.mx

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Mariano Matamoros S/N, Zona Centro, Cdad. Victoria, Tamps 87000, México

Abstract

In recent years, the topic of dynamic capabilities has acquired new content. As higher-order competencies, they allow one to constantly update oneself with new knowledge, flexibly recombine resources, and adapt to a rapidly changing environment. A key part of dynamic capabilities is working with the future, starting with basic skills - futures literacy (FL). Since this competence is key to the human resources of organizations, its development seems important, starting with university programs. For a long time, there were no objective tools for measuring the degree of their mastery. The authors of this article attempt to fill this

problem by offering an innovative approach to identifying and standardizing the assessment of FL competence. Six theoretical dimensions of FL are proposed as a basis for grouping assessment criteria and compiling final assessments and their interpretation. The corresponding dimensions, such as FL sub-competencies that include foresight, the assessment of future scenarios, and decision-making under uncertainty, can be assessed independently of each other. The ability to measure the initial level of FL will allow for the development of more effective educational programs for the development of this competence.

Keywords: dynamic capabilities; futures literacy (FL); skills evaluation; strategic thinking; futures studies; innovative thinking; Foresight; scenario planning.

Citation: Gutarra Romero R.J., Valente Mercado A.G., Sirgo L.R. (2025) Dynamic Capabilities: Toward an Assessment of Futures Literacy Competency. *Foresight and STI Governance*, 19(2), pp. 86–97. <https://doi.org/10.17323/fstg.2025.23756>

В условиях высокой неопределенности поддержание стратегической устойчивости требует от организаций развитых динамических способностей (*dynamic capabilities*), т. е. умения интегрировать внутренние и внешние компетенции, совершенствовать и трансформировать их для успешной адаптации к динамичной среде. Подобные компетенции обеспечивают акторам инновационные конкурентные преимущества. Данная концепция была предложена в середине 1990-х гг. в работе (Teese et al., 1997), и за последние годы число посвященных ей публикаций значительно выросло. Динамические способности стали одной из наиболее обсуждаемых тем в экспертном сообществе в контексте поиска стратегий развития в условиях турбулентности, сложности и неоднозначности.

По данным Google Trends, число релевантных запросов достигло исторического максимума на рубеже 2024–2025 гг. К изучению динамических способностей обращаются ведущие мировые университеты, включая Гарвард, Оксфорд, Массачусетский технологический институт и др., а также авторитетные журналы по экономике и бизнесу (*Journal of Business Research*, *Strategic Management Journal*, *Research Policy* и т. д.). Динамические способности рассматриваются как дополнение к стандартному набору компетенций, причем обе категории применяются в различных контекстах.

Существуют различные перечни и классификации динамических способностей. К ним часто относят и навыки работы с многовариантным будущим (*futures literacy*, FL; дословно — грамотность в отношении будущего), которые подразумевают глубокое изучение и корректную интерпретацию социально-экономических вызовов и тенденций при принятии решений. Обучение столь комплексной компетенции, поддержка ее внедрения и последующий анализ результатов требуют интеграции разнородных методологических элементов. Особое значение приобретает разработка надежного, валидного и объективного инструментария для оценки уровня FL в соответствии с методологией ЮНЕСКО (Miller, 2018; Bergheim, 2024). Академический подход к обучению FL базируется на культивировании индивидуальной способности моделировать будущее и оперировать им, тогда как в более широком контексте эти компетенции рассматриваются на уровне природных систем, сообществ и организаций.

Поскольку навыки решения проблем в любой сфере формируются постепенно через опыт, пробы и ошибки, они не могут спонтанно возникнуть у людей, а требуют целенаправленного совершенствования в процессе обучения. Этот процесс носит последовательный характер, а его результативность оценивается по различным уровням компетентности через измерение определенных параметров при помощи конкретных критериев, процедур и инструментов. Изучение характеристик и выработка концептуальных основ FL остаются насущными задачами и требуют продолжения усилий. Возникает закономерный вопрос: поддается ли FL кодификации и объективной оценке, позволяющей рассматривать ее как полноценную компетенцию, а не академическую абстракцию.

На базовом уровне FL связана со стратегическим мышлением. Однако формирование этой компетенции как в образовательной системе, так и в бизнес-школах сопряжено с определенными трудностями. Хотя в фокусе нашей статьи находится университетская среда, мы рассматриваем и более широкий контекст — корпоративный мир, инвестирующий в развитие компетенций работы с будущим, в обучение экспертов в области корпоративной стратегии, способных решать комплексные задачи в динамичном окружении. В настоящее время даже крупные компании сталкиваются с проблемами при формировании этих востребованных компетенций. На подготовку специалистов по стратегическому управлению ежегодно расходуются миллиарды долларов (Moules, 2020) и сотни миллионов часов (Doh, Stumpf, 2007). Однако значительная часть этих инвестиций не приносит ожидаемой отдачи, поскольку сотрудники не могут применить на практике навыки, приобретенные в ходе обучения. Какие же образовательные программы способны вывести компетенции и эффективность работы с будущим на качественно новый уровень?

Исследования выявили существенный разрыв между содержанием образовательных программ о корпоративном мире, преподаваемых в университетах, и их практической применимостью. Университетские курсы транслируют знания, которые считаются научно обоснованными и соответствуют строгим академическим стандартам. Однако при внедрении в рабочие процессы этот материал зачастую оказывается нерелевантным, поскольку базируется на устаревших концепциях. Последние были эффективны в прежних условиях стабильности и предсказуемости, но утратили актуальность в современной неопределенной и динамичной среде (Birkinshaw et al., 2016; Costigan, Brink, 2015).

Действенный метод преодоления этого разрыва заключается в развитии способности переформулировать исходную проблему, рассмотреть ее под иным углом зрения, провести глубокий анализ для выявления скрытых, фундаментальных проблем за очевидными вызовами. Такое «докапывание до сути» радикально трансформирует понимание ситуации и открывает новые пути ее решения (Ramirez et al., 2021).

Образовательная модель современных бизнес-школ содержит фундаментальное противоречие. Они продолжают готовить кадры узкого профиля, нацеленные преимущественно на повышение доходности акционеров и краткосрочное планирование. Одновременно усиливается давление внешней среды и многочисленных стейкхолдеров, заинтересованных в специалистах по работе с будущим, которые были бы способны учить в своих стратегиях разнонаправленные процессы. Сформировался спрос на новое поколение аналитиков стратегического развития, умеющих управлять повышенной сложностью и обеспечивать устойчивость организаций в условиях высокой неопределенности (Spanjol et al., 2023). Вместе с тем, методики обучения работе с будущим в бизнес-школах не отвечают современным требованиям. При этом FL обладает значительным потенциалом, раскрытие которого способно кардинально изменить образовательный ландшафт. Для

повышения эффективности обучения FL необходимо совершенствовать инструментарий преподавания соответствующих навыков, внедрять релевантные методы и адаптировать их к специфике процесса обучения, начиная с университетского уровня.

Начинать модернизировать образовательную методологию необходимо с разработки критериев, позволяющих оценить, насколько хорошо студенты освоили навыки FL. Задача подготовки кадров с соответствующими компетенциями начинается с университетской скамьи. В процессе обучения студенты находятся на этапе личностного и профессионального становления, их карьерный путь еще не предопределен, что обеспечивает высокую гибкость для совершенствования стратегического мышления. Учащиеся, обладающие сформированной FL, оказываются лучше подготовлены к решению сложных задач на протяжении всей своей карьеры (Miller, 2007). В разных странах реализуются разнообразные инициативы по культивированию компетенций работы с будущим. Однако в отсутствие единых стандартов эти усилия пока не приобрели системный характер, не стали неотъемлемой частью образовательных программ. Анализ профильной научной литературы обнаруживает дефицит специального инструментария для объективной оценки уровня освоения учащимися навыков FL.

Для заполнения этого пробела предлагается оригинальный инструментарий оценки уровня освоения учащимися навыков FL. Структура работы выстроена следующим образом. Сначала представлен краткий обзор истории исследований будущего (*futures studies*) и эволюции концепции FL. Далее рассматриваются актуальные тренды, формирующие современный дискурс в этой области, и приводятся примеры проектов по развитию FL как в образовательной системе, так и в бизнесе. Заключительные разделы посвящены методологии разработки анкеты, составляющей основу предлагаемого инструментария, анализу полученных результатов и формулированию выводов.

Обзор литературы

Концепция FL описывает образовательный процесс, направленный на приобретение и совершенствование способности мыслить о будущем и рассматривать текущий контекст через призму реалистичных сценариев. На этой основе принимаются решения и формируются стратегии, позволяющие избегать нежелательных и следовать предпочтительными траекториями (Poli, 2021). Стратегии разрабатываются как на индивидуальном, так и на коллективном, организационном уровнях, включая определение долгосрочных корпоративных или национальных целей и разработку инновационной политики (Miller, 2007, 2018; Karlsen, 2021). Рассмотрим подходы к развитию FL в ключевых сферах — частном секторе и образовании.

FL как область исследований будущего проходила собственный путь становления. Концепция совершенствования навыков работы с будущим в качестве базовой компетенции для широких слоев населения

(аналогично финансовой или цифровой грамотности) была сформулирована еще в 1970-х гг. (Toffler, 1970; Polak, 1973; Vygotskii, Cole, 1978). Однако несколько десятилетий эта идея не находила широкого признания. Переломный момент наступил в 2012 г., когда ЮНЕСКО под руководством главы направления Форсайт-исследований Риэля Миллера (Riel Miller) инициировала создание сети специализированных учебных лабораторий по культивированию этих компетенций в различных странах (Miller, 2012). К этому времени концепция трансформировалась, вобрав в себя элементы теорий сложности и предвосхищения (Rosen, 1991; Louie, 2010; Nadi, 2012). Ключевую роль в концептуализации FL и ее практическом применении сыграла работа (Miller, 2018), ознаменовавшая новый этап в изучении будущего.

Различные структуры оперируют собственной терминологией для описания данной области. В Германии (крупнейшая научно-образовательная организация *Stifterverband*) и других странах применяют англоязычные термины *Future Skills* или *Next Skills*. Дублинский университет (Ирландия) использует понятие *Transversal Skills*. Международные организации рассматривают FL как составляющую навыков 21 века (*21st century skills*) (OECD, 2018, 2023) и ключевых компетенций непрерывного обучения (*key competences for lifelong learning*) (European Commission, 2019). В рамках *Next Skills* фидуриграмотность тесно связана с управлением неоднозначностью, этической компетентностью, конструированием смыслов и рефлексивностью (Ehlers, 2024). Исследование (Lalot и др., 2020) вводит понятие осознанности в отношении будущего (*futures consciousness*), акцентируя внимание на таких аспектах, как открытость к альтернативам. Безотносительно терминологических расхождений, сложился консенсус, что навыки работы с будущим поддаются тренировке и укреплению различными методами.

В терминах классического определения компетенции FL рассматривается как совокупность знаний, практических умений и психологических установок (*attitude*). В ее структуре выделяют шесть взаимосвязанных и комплементарных компонентов (табл. 1), последовательно надстраивающихся друг над другом.

С точки зрения степени владения выделяются четыре уровня FL (Bergheim, 2024):

Базовый. Присущ большинству людей, способных представлять различные варианты будущего и отчасти открытых для новых идей и видов деятельности.

Средний. Характерен для лиц с повышенной осознанностью, умеющих детально прорабатывать альтернативные сценарии будущего, осмысливать их и формировать на этой основе собственные планы.

Продвинутый. Свойствен обладателям стратегического мышления, которые систематически обновляют свои знания в области теорий сложности, предвосхищения, Форсайта и принимают активное участие в стратегических сессиях.

Профессиональный. Включает немногочисленную группу экспертов, создающих новое знание в сфере наук о сложности, предвосхищения и Форсайта. Они раз-

Табл. 1. Составляющие FL	
Субкомпетенция	Описание
1) Работа со сложностью и неопределенностью	Будущее рассматривается через призму сложных адаптивных систем (САС), характеризующихся свойствами эмерджентности, неоднозначности, высокой непредсказуемости и т. п.
2) Компетенция множественного будущего	Многообразие траекторий — неотъемлемая характеристика САС, причем различные варианты могут иметь разную коннотацию с точки зрения восприятия (вероятное, желаемое и др.). Умение работать с такими блоками, как планирование, самоорганизация, оптимизация, идентифицировать сдерживающие факторы (например, слепые зоны), подвергать сомнению различные данные и т. п.
3) «Компетенция предположения»	Будущее существует только в воображении, следовательно, осознание его образов, присутствующих в собственном восприятии и в сознании других людей, а также их истоков помогает формировать нарративы.
4) Компетенция рефрейминга и эксперимента	Раскрывается через эксперименты, когнитивные напряжения, открытость неведомому, нарративные практики, ролевые игры, проживание сценариев.
5) Компетенция в области новизны и возникающих трендов	Чувствительность к различиям между вариантами будущего, способность поднимать важные новые вопросы, развивать и принимать незнакомые ситуации, исследовать неизвестные пространства и явления.
6) Компетенция трансформирующей агентности	Знание о связях между ожиданием, образами будущего и действиями в настоящем. Понимание возможностей и ограничений агентности в САС. Идентификация стратегий для разных образов будущего и разработка дорожных карт.
Источник: составлено авторами по материалам (Bergheim, 2024).	

рабатывают инновационные методы взаимодействия с передовыми системами и процессами.

Приведенная классификация логически связана с многослойной структурой исследований многовариантного будущего (Poli, 2021), отраженной в табл. 2. Каждый уровень (слой) предполагает работу как с известными, так и с неизвестными аспектами, подчеркивая разницу между прогнозированием и Форсайтом. Прогнозирование представляет собой попытку предвосхитить будущее, часто исходя из гипотезы о его линейной преемственности с настоящим. В свою очередь Форсайт нацелен на конструирование различных реалистичных сценариев для принятия решений и разработки стратегий, позволяющих избежать нежелательного и приблизить предпочтительное развитие событий (Miller, 2018; Poli, 2017, 2019).

Другое ключевое измерение — различие между комплексными системами и САС (Poli, 2013, 2017). Стратегические условия 21 века кардинально отличаются от предыдущих эпох: любая организация со сверхсложной структурой нуждается в определенной гибко-

сти для сохранения устойчивости (McChrystal, 2019). Достичь этого невозможно без культивирования FL большинством ее сотрудников.

При объединении этих, казалось бы, противоречивых измерений формируется стратегия опережающего реагирования (*anticipation*), обеспечивающая преобразование накопленных знаний о будущем в дорожную карту действий по воплощению предпочтительных сценариев. По мере движения от первого слоя к четвертому и от известных аспектов к неизвестным происходит повышение уровня FL.

В работах (Poli, 2021; Inayatullah, 2020) совершенствование FL как компетенции описывается как переход от базовых к более продвинутым способам применения знаний о будущем. Ключевое значение приобретает стремление выйти за рамки текущего контекста к новым горизонтам, преодолеть инерцию привычных решений и трансформировать жизненную траекторию. Эта способность неравномерно представлена в разных регионах и культурных контекстах, формируя лишь отдельные очаги концентрации, а ее развитие непосредственно связано

Табл. 2. Многоуровневая матрица исследований будущего			
Уровни FS	Измерения работы с будущим		Основной вывод
	Известное	Неизвестное	
Уровень 4. Взаимодействие: работа со сложными системами	Изучение комплексных систем	Работа с живыми САС (т. е. системами биологической или социальной природы)	Осваиваем взаимодействие с САС
Уровень 3. Неопределенность: работа с неполными данными	Оценка рисков (событий с известной вероятностью наступления)	Погружение в неопределенность (изучение возможных событий с неизвестной вероятностью наступления)	То, чего мы не знаем, гораздо важнее того, что знаем
Уровень 2. Преобразование: работа с текущей деятельностью	Ориентация на ключевые тренды	Идентификация возникающих процессов, слабых сигналов, потенциальных джокеров, окон возможностей	Вероятность реализации любого сценария (как позитивного, так и негативного) во многом зависит от нашего понимания и характера предпринимаемых действий или бездействия
Уровень 1. Воздействие: сканирование будущего	Прогнозирование	Форсайт	Будущее не предопределено, возможны разные сценарии его реализации
Примечание: слои расположены в матрице соответственно их иерархии по отношению друг к другу.			
Источник: составлено авторами по материалам (Poli, 2021).			

со способами применения (или неприменения) знаний о будущем. Будучи интегрированными в практические действия и оформленными в стратегию, подобные знания обладают принципиально иной ценностью по сравнению с абстрактным теоретизированием (Shutz, 1967). В целом «пассивную» ориентацию на будущее можно противопоставить «активной».

В образовательной сфере пассивная ориентация проявляется в распространенной практике приобретения знания без определенной жизненной или карьерной цели. При таком подходе будущее остается неартикулированным, выступая лишь неявным фоном процесса обучения, а его проактивные возможности не находят применения (Miller, 2015). В противоположность этому различные формы активной ориентации интегрируют в образовательный процесс знания о будущем, в том числе через рациональное распределение ресурсов для достижения целей с учетом контекста и взаимоотношений (Facer, 2016), когда, например, студент выбирает курсы не по принципу их простоты, а с учетом долгосрочных карьерных перспектив и меняющихся требований рынка труда. Такое контекстное планирование базируется на понимании ожиданий и приоритизации использования ресурсов. Будущее служит фоном для рациональных решений, однако об их эффективности можно говорить лишь при наличии универсального набора критериев. Оптимизация как конкурентное преимущество предполагает овладение навыками высшего порядка, хотя в современном турбулентном мире различные рационализаторские подходы становятся все менее эффективными (Archer, 2013).

Действенной альтернативой представляется разработка образовательных программ, основанных на работе с контрастирующими сценариями и погружении в незнакомый опыт. Подобные условия способствуют усвоению инновационного мышления и навыков распознавания новых возможностей (Bloch, 1995; Poli, 2017). Наиболее эффективным подходом к достижению этих целей выступают безопасные учебные пространства, позволяющие экспериментировать с различными сценариями.

Дополнительную сложность в процесс формирования FL вносит многообразие подходов к исследованию будущего (Mangnus et al., 2021). Ключевым фактором развития данной компетенции служит рефлексия о различных способах прогнозирования и проактивных стратегиях. Эти методологии порождают различные эпистемологические утверждения о будущем и о его проявлениях в настоящем. Выделяют четыре основных подхода:

1. Будущее, по крайней мере частично, известно. Данный подход использует механизмы планирования и модели оценки вероятностей событий. Он учитывает даже маловероятные ситуации с масштабными последствиями (джокеры) для минимизации рисков.

2. Будущее характеризуется фундаментальной неопределенностью. Приоритет отдается концептуализации нескольких вероятных сценариев для проверки адаптивных возможностей в различных контекстах с применением таких методов, как количественное мо-

делирование, сценарное планирование и сканирование горизонтов.

3. Альтернативные сценарии вырабатываются коллективным воображением через дизайн, игры и другие экспериментальные подходы, направленные на совместное создание нарративов.

4. Критическая деконструкция подвергает сомнению само взаимодействие с будущим. Она ставит вопрос о том, как формируются представления о будущем, и какие политические последствия они порождают.

Перечисленные подходы отражают принципиально различные стратегии взаимодействия с будущим. Такое многообразие отношений к нему и способов работы с ним усложняет развитие FL. Например, уверенность в будущем критически важна для восприятия жизни как осмысленной (Myllyniemi, 2017). Отсутствие позитивного видения перспектив может проявляться в выборе неоптимального образовательного или карьерного трека, росте общественной тревожности и других негативных последствиях.

Таким образом, FL опирается на рефлексия о многообразных способах взаимодействия с будущим и их последствий. Трактовка этого понятия неизменно соотносится с актуальными воздействиями, формируемыми образами будущего (личными и общественными) и траекториями их воплощения. Многоплановые практические следствия позволяют выделить различные уровни FL. Описанные подходы задействуют разные инструменты и методики, консолидируют людей вокруг определенных образов будущего и несут уникальные социальные функции. Одни расширяют пространство для действий, другие его сужают (Stirling, 2008). Рефлексивная FL помогает видеть палитру сценариев и путей их осуществления. Вне зависимости от избранной методологии, она способна направлять видение будущего к расширенным возможностям. Гармоничное сочетание противоположных режимов — открытых и закрытых — возможно через интеграцию дисциплин, особенно когда рефлексивность обретает институциональную форму.

В работе (Pouru-Mikkola, Wilenius, 2021) представлена новая парадигма трансформативной FL для образовательных учреждений, объединяющая теории трансформативного обучения и FL. Трансформативное обучение, базирующееся на целостном (холистическом) подходе, предполагает изменение систем отсчета, определяющих характер взаимодействия с будущим через культивирование соответствующих когнитивных, мотивационных и практических навыков. Системы отсчета охватывают структурные предпосылки, через которые осмысливается жизненный опыт: ассоциации, концепции, ценности, чувства и условные реакции (Mezirow, 1991). Они формируют и ограничивают ожидания, восприятие, познание и эмоции. В процессе трансформации возникает критическое осмысление устоявшихся интерпретаций и убеждений.

Холистический подход к культивированию FL учитывает многообразие человеческой природы. Так, в статье (Ahvenainen et al., 2015) обучение работе с будущим описывается как процесс, задействующий рациональ-

ные и иррациональные аспекты мышления — эмоции и интуицию. По наблюдениям (Gidley, Hampson, 2005), в развитии FL чрезмерно акцентируется когнитивное измерение и совершенствование индивидуальных способностей. При этом некогнитивные измерения (эмпатическое, творческое, коммуникативное и др.) и коллективное обучение представлены недостаточно, хотя также расширяют возможности для обучения. В работах (Rogers, Taff, 1996; Rogers, 1998) предложен цикл обучения FL, служивший моделью трансформативного обучения (Siirilä et al., 2018; Sterling, 2010). Он состоит из пяти этапов:

- 1) когнитивный: приобретение новых знаний, освоение новых способов мышления, обретение новой перспективы;
- 2) аффективный: эмоциональная реакция на полученные новые знания — от печали, отчаяния и гнева до надежды, смирения и смелости;
- 3) экзистенциальный: пересмотр жизненной траектории и ценностей, вызванный двумя предыдущими фазами;
- 4) эмпауэрмент: обретение чувства личной свободы и ясности, позволяющее задуматься о путях к лучшему будущему;
- 5) действие: воплощение обретенной свободы в конкретном личном выборе и социальных практиках для достижения желаемого будущего.

Таким образом, синтез теорий FL и трансформативного обучения фокусирует образовательный процесс на критическом анализе личных установок и эмоций относительно будущего, осмыслении новых ролей и перспектив, а также поиске способов действия на основе новых идей.

Организация обучения FL

Лаборатории по изучению FL входят в ограниченный набор форматов работы с «социальной сложностью» (Aaltonen, 2009), в которых реализуются творческие подходы к взаимодействию с будущим, учитывающие неопределенность и поощряющие самоорганизацию (Bergheim, 2022). Множество методик, объединенных термином «инженерные подходы», опираются на способность менеджеров, экспертов или исследователей понимать, проектировать и контролировать систему извне, устанавливая четкие правила. К таким методикам относятся: сканирование среды, прогнозирование, интеллектуальный анализ текстов, дорожные карты, сценарии и «колесо будущего» (Aaltonen, 2009). Применяемые в различных ситуациях инструменты для решения специфических задач требуют соответствующих способов оценки их эффективности.

Образовательный процесс в большинстве лабораторий состоит из четырех последовательных этапов (Bergheim, 2022), имеющих целью выявить имплицитные прогностические модели и предположения, а затем экспериментировать с ними.

Этап 1. Выявление. Участника просят описать его видение будущего (фантомный сценарий), после чего выясняют основания, побудившие его предполагать такой ход событий.

Этап 2. Рефрейминг. Участники трансформируют исходный сценарий, применяя альтернативные предположения для построения реалистичного сценария.

Этап 3. Переосмысление. Текущий контекст анализируется сквозь призму созданных сценариев, что позволяет выявить новые, ранее скрытые проблемы.

Этап 4. Действие. Отработка вариантов действий, сформированных на трех предыдущих этапах через практическое обучение.

В ходе подготовки развиваются ключевые компетенции: работа в команде, формирование коллективного интеллекта, навигация в условиях сложности и неопределенности с сохранением устойчивости (Burns, 2015).

Еще одним принципом функционирования лабораторий служит создание коллективного разума, позволяющего учащимся испытать различные формы восприятия и осмысления, оценить границы своих знаний и обнаружить общие закономерности сложных процессов. Переосмысление трансформирует ментально-когнитивные установки при помощи разнообразных инструментов. Лаборатории отличаются друг от друга по многим параметрам. В некоторых образовательные сессии ограничиваются несколькими часами, в других растягиваются на несколько дней. Одни работают с небольшим числом участников, другие — с сотнями. Некоторые лаборатории отдают приоритет второй фазе, способствующей развитию креативности, а для других она остается периферийным направлением. Часть лабораторий сосредоточены на выявлении и разработке новых способов действий в четвертой фазе, другие намеренно ограничивают процесс обучения третьей фазой, полагаясь на энтузиазм участников по дальнейшей самостоятельной работе после окончания сессии.

Масштабирование обучения FL требует подготовки профильных преподавателей. В работе (Kazemeir et al., 2021) представлен опыт реализации такой образовательной программы. Оценивалась степень освоения несколькими участниками трех целевых качеств FL: обновленное восприятие будущего, принятие сложности и собственной активной позиции (агентности). Параллельно изучалась воспринимаемая ценность стратегий и организации обучения. Все участники отметили развитие как минимум одного из этих качеств, подтвердив эффективность предложенных методов и структуры курса. Исследователи призывают к углубленному анализу компонентов FL и способов их оценки с учетом индивидуальных особенностей учащихся, их опыта работы с будущим и других аспектов.

Сдвиг в восприятии будущего связан с проблемой инерции мышления и поведения, когда некие паттерны принимаются за безальтернативные. Возникает нечувствительность к факторам, влияющим на характер суждений и ограничивающим внутренний потенциал (Wals, Peters, 2017). Пределы воображения не позволяют людям принять во внимание эмерджентные свойства системы и преодолеть рамки укоренившихся представлений о возможном и вероятном (Bell, 2002). Видение будущего формируется под влиянием субъективных эмоций и опыта, а также господствующих в обществе взглядов, ценностей и убеждений (Rubin, 1998).

Способность заглянуть в завтрашний день проявляется в конкретных поступках: образы и допущения о нем формируют сегодняшние действия, которые, в свою очередь, определяют контуры будущего.

Культивирование FL позволяет преодолеть описанную коллизию. Переориентация с прогнозирования и планирования на вариативность представлений о мире помогает снизить тревогу перед переменами и увидеть в неопределенности потенциал развития (Larsen et al., 2020; Nelson, 2019). FL открывает возможность принимать сложность, действовать новаторски и выходить за границы привычного (Damhof et al., 2020).

Для модернизации процесса обучения одна из лабораторий FL в Ганзе (Германия) реализовала в 2019 г. трехмодульную программу подготовки преподавателей Mastering Futures Literacy. Каждый модуль нацелен на совершенствование одного из трех ключевых качеств FL: обновленное восприятие будущего, принятие сложности и обретение агентности (переход от пассивной к активной преобразующей роли). Данный подход предполагал поэтапное развитие FL, начинающееся с трансформации восприятия будущего. По мере изменения мировоззрения сложность и неопределенность перестают восприниматься как угроза.

Программа была направлена на формирование общества с едиными ценностями, подготавливая участников к интеграции в более широкую сеть обучения FL (Kazemier et al., 2021). По завершении курса преподаватели выразили готовность создавать пространство для экспериментов с различными сценариями будущего и распространять компетенции FL в академической среде. Подобные инициативы способствуют трансформации системы высшего образования, поскольку культивирование FL выходит за рамки господствующих инкрементальных инноваций и внешних количественных показателей. В конечном счете растет способность высшего образования отвечать на масштабные социальные вызовы.

Опыт сотрудничества бизнеса и образования в развитии FL

Взаимодействие компаний и университетов в области FL значительно расширяется. Совместно осваивая новые компетенции, организации из различных секторов создают эффект перетока знаний, который усиливает образовательный потенциал вузов и открывает возможности экспериментального обучения.

Одним из методов, получивших наибольшее распространение в корпоративном обучении, выступает сценарное планирование. Так, в Оксфордском университете подготовка строится на конкретных примерах, связанных с реальными стратегическими проблемами членов учебной группы (Ramirez et al., 2021). Подобный подход служит гибким инструментом исследования будущего через построение сценариев, благодаря чему формируется навык выявления подлинных причин трудноразрешимых проблем. В ходе коллективного поиска учащиеся вскрывают их скрытую суть, достигая прорыва в поиске решения.

В работе (Toivonen et al., 2021) оценивалось влияние различных методов обучения на уровень FL в Финляндии и Швеции. Четыре студенческие группы (373 участника) прошли специальные программы работы с будущим: две отработывали метод «колеса будущего», третья — разработку сценариев, четвертая изучала только теоретический материал. Цель заключалась в достижении трех уровней FL — «осознание — открытие — выбор» (*awareness — discovery — choice*) (Miller, 2007, 2012), ведущих к развитию трансформативной субъектности. Оценка усвоенных знаний выявила разную эффективность методов. Более высокие уровни FL демонстрировали участники практико-ориентированных программ. Однако внедрение сценарного планирования и «колеса будущего» в процессы принятия решений связано со сложностями: работа с будущим требует глубокой вовлеченности, а механизмы имплементации результатов остаются неопределенными. Выводы исследования (Toivonen et al., 2021) актуальны для представителей как академической среды, так и корпоративного сектора, выстраивающих отношения с местными сообществами.

Обзор литературы демонстрирует разнообразие подходов к использованию FL. Однако перед запуском образовательных проектов следует тщательно изучить исходное отношение обучающихся к будущему. Культивирование FL рассматривается как условие социальной значимости и устойчивости корпоративных и академических проектов. Подчеркивается необходимость оценки базового уровня FL у учащихся для более эффективного планирования программ с учетом множественных факторов (Mangnus, 2021). Хотя примеры, рассмотренные в работе (Kazemier et al., 2021), демонстрируют признаки развития целевых компетенций, применяемая методология не позволяет объективно оценить степень освоения навыков FL, поскольку выводы основываются на самооценке респондентов. Цель настоящего исследования — предложить такой объективный комплексный инструмент.

Методология

Стандартизированный инструмент для измерения базового уровня FL у студентов востребован исследователями будущего и особенно разработчиками образовательных программ в этой области. Для его создания разработана анкета, вопросы которой группировались по шести составляющим FL, выделенным (Miller, 2018) (табл. 3) с опорой на рекомендации ЮНЕСКО по развитию учебных лабораторий (Miller, 2018; Bergheim, 2024). Анкета прошла экспертную валидацию с участием девяти профильных академических специалистов. По результатам анализа с помощью статистики Эйкена (Aiken, 1985) анкета была скорректирована. Пилотное тестирование проводилось на выборке студентов государственного университета Мексики. В опросе участвовали 256 студентов старше 17 лет (табл. 4). Более двух третей респондентов (173 чел.) составили женщины, что указывает на их повышенный интерес к тематике исследования.

Табл. 3. Критерии оценки FL

Составляющая	Функции работы с образами будущего
Прогнозирование (forecasting)	Составление обобщенных прогнозов на базе экстраполяции из прошлого
Фаталистичность (fate)	Идентификация образов будущего, основанных на фаталистических представлениях или мифах
Творческие преобразования (creative reform)	Решение знакомых проблем инновационными способами
Самосовершенствование (self-improvement)	Формирование представлений о будущем на основе понимания процессуальности и временности с использованием внутренней креативности
Стратегическое мышление (strategic thinking)	Восприятие и осмысление возникающих процессов с упором на повторяющиеся явления
Мудрость предвосхищения (tao-being wisdom)	Интуитивное понимание сложных процессов с акцентом на уникальные, локально специфичные характеристики

Источник: составлено авторами на основе (Miller, 2018).

Табл. 4. Половозрастная структура выборки

а) Возраст				
Валидность	Частота	Процент	Валидный процент	Кумулятивный процент
	3	1.2	1.2	1.2
17	20	7.8	7.8	9.0
18	61	23.8	23.8	32.8
19	44	17.2	17.2	50.0
20	38	14.8	14.8	64.8
21	38	14.8	14.8	79.7
Свыше 21 года	52	20.3	20.3	100.0
Всего	256	100.0	100.0	

б) Пол				
Валидность	Частота	Процент	Валидный процент	Кумулятивный процент
	3	1.2	1.2	1.2
Мужчина	79	30.9	30.9	32.0
Женщина	173	67.6	67.6	99.6
Не указано	1	0.4	0.4	100.0
Всего	256	100.0	100.0	

Источник: составлено авторами.

Вопросы анкеты представлены в табл. 5. С помощью веб-приложения Microsoft Forms респондентам предлагалось выбрать один из пяти вариантов ответа по шкале Лайкерта для оценки степени уверенности: максимальная, высокая, средняя, низкая, минимальная.

Результаты

Следующий этап состоял в оценке статистической надежности полученных ответов с применением поискового факторного анализа (Hair et al., 2019), тестов Кайзера-Мейера-Олкина (КМО) (Kaiser, 1974) и Барлетта (Bartlett, 1954) и коэффициента альфы Кронбаха. Данные обрабатывались с помощью статистического пакета SPSS. Для описания результатов был построен набор факторных и структурных матриц.

Всего проанализированы шесть основных факторов, группирующих элементы различных субкомпетенций FL (способность оценивать будущие сценарии, принимать решения в условиях неопределенности, играть на опережение и др.). Значения альфы Кронбаха во всех случаях превысили 0.8, что свидетельствует о высокой надежности выбора аспектов, характеризующих компетенции FL. Таким образом, формулировки вопросов в каждой группе, описывающей соответствующую компоненту FL, коррелируют, измеряя схожие конструкции. Поисковый факторный анализ (EFA) проводился методом максимального правдоподобия с косоугольным вращением Облимина и нормализацией Кайзера. Результаты представлены в табл. 6.

Структурная матрица (табл. 7) демонстрирует общие корреляции между элементами и лежащими в их основе факторами. Ее компоненты отражают значительное сопряжение с ожидаемыми факторами, подтверждающая валидность предлагаемой структуры инструмента. Элементы с наивысшей корреляцией относятся к вопросам 19–21, которые показали сильную положительную связь с фактором 1 (нагрузки 0.776, 0.639 и 0.625 соответственно). Эти пункты надежно отражают теоретическое измерение, представленное данным фактором.

Напротив, некоторые элементы также имеют отрицательную нагрузку (например, вопрос 21 с фактором 3, нагрузка –0.439), свидетельствуя о наличии обратных связей между некоторыми элементами и недоминантными факторами.

Матрица паттернов (табл. 8) иллюстрирует чистую нагрузку между элементами и комплементарными факторами, исключая косвенное влияние других. Она позволяет четко определить, какие элементы более тесно

Табл. 6. КМО и тест Барлетта

Оценка КМО релевантности выборки		0.903
Тест сферичности Барлетта	Approx. Chi-Square	1950.695
	df	253
	Sig.	0.000

Источник: составлено авторами.

Табл. 5. Вопросы анкеты и их распределение по категориям FL

Прогнозирование
1. Используете ли вы статистические, исторические или контекстные данные для сравнения альтернатив перед принятием важных карьерных решений?
2. Следите ли вы за актуальной информацией, новейшими тенденциями и достижениями в вашей сфере?
3. Умеете ли вы идентифицировать тренды, способные повлиять на вашу будущую карьеру?
4. Умеете ли вы идентифицировать ранние сигналы о приближающихся масштабных переменах в вашей профессиональной сфере?
Фаталистичность
5. Считаете ли вы, что будущее линейно, и любые действия или события в нем предопределены?
6. Считаете ли вы, что существует незыблемый порядок, и судьба вещей не может быть изменена?
7. Считаете ли вы, что независимо от предпринимаемых действий «глобальный» исход будет одним и тем же?
Творческие преобразования
8. Способны ли вы учитывать средне- и долгосрочные (≥ 10 лет) последствия своих текущих проектов?
9. Концептуализируете ли вы гипотезы о будущем в форме моделей, прототипов или других творческих инструментов?
10. Используете ли вы сценарии, чтобы трансформировать идеи о будущем в действия, актуальные в настоящем?
Самосовершенствование
11. Готовы ли вы к дополнительным обязательствам во имя достижения цели?
12. Стремитесь ли вы к постановке значимых, амбициозных целей в вашей академической и профессиональной жизни?
13. Берете ли вы на себя инициативу, чтобы находить решения до того, как проблемы станут критическими?
14. Проявляете ли вы активность в поиске возможностей в вашей учебной или профессиональной сфере, вместо того чтобы ждать их появления?
15. Думаете ли вы об инновационных решениях проблем, возникающих в ходе вашей академической или профессиональной деятельности?
Стратегическое мышление
16. Ставите ли вы личные или профессиональные цели на кратко-, средне- и долгосрочную перспективу?
17. Есть ли у вас стратегии идентификации и реализации возможностей в вашей сфере?
18. Прогнозируете ли вы возможные проблемы и предпринимаете ли превентивные меры в вашей учебной или профессиональной деятельности?
19. Учитываете ли вы средне- и долгосрочные карьерные последствия ваших текущих действий и решений?
20. Разработан ли у вас план на случай непредвиденных обстоятельств в вашей академической или профессиональной жизни?
Мудрость предвосхищения
21. Способны ли вы идентифицировать потенциальные проблемы или изменения в своей академической или профессиональной среде до их фактического возникновения?
22. Насколько вы чувствительны к переменам в своем окружении, чтобы связать их с будущими событиями в вашей учебной или профессиональной деятельности?
23. Считаете ли вы, что готовы решать локальные проблемы с учетом глобального контекста в своей академической или профессиональной сфере?
Источник: составлено авторами.

но связаны с каждым фактором без учета возможных перекрестных зависимостей. Так, пункт 6 показал интенсивную нагрузку на фактор 2 (0.824), подтверждая прямую связь с ним. В то же время некоторые элементы, такие как вопрос 12, демонстрируют более сложную факторную нагрузку в виде сильного отрицательного соотношения с фактором 3 (-0.772) и умеренно положительного — с другими факторами. Подобная картина потенциально сигнализирует о необходимости пересмотра содержания соответствующего пункта анкеты или его интерпретации в дальнейших исследованиях.

Таким образом, каждый измеряемый фактор состоит из взаимосвязанных элементов, подтверждающих изначально предложенную теоретическую структуру. Однако некоторые элементы демонстрируют незначительные перекрестные нагрузки с более чем одним фактором, что указывает на необходимость пересмотра или уточнения анкеты в дальнейших исследованиях.

В результате переменные были сгруппированы в три фактора: специфические знания (F1), масштабируемые знания (F2) и глубокая осведомленность о будущем (F3).

Обсуждение и выводы

Существующие исследования в области FL (Kazemier et al., 2021; Pouru-Mikkola, Wilenius, 2021) подчеркивали потребность в образовательных инструментах для развития долгосрочного мышления в университетах. Удовлетворить этот запрос позволит инновационный подход к выявлению и стандартизации оценки FL у студентов. Статистические вычисления подтверждают надежность разработанной анкеты для измерения данного показателя, обеспечивая высокую точность охвата. Поисковый факторный анализ и расчеты надежности с применением альфы Кронбаха свидетельствуют о высокой внутренней согласованности компонентов предлагаемого инструмента.

Табл. 7. Структурная матрица

	Факторы					
	1	2	3	4	5	6
R21	0.776	0.312	−0.439	0.517	0.236	
R19	0.639		−0.447	0.385	0.229	0.443
R20	0.625		−0.36	0.292		0.159
R18	0.623	0.212	−0.497	0.455	0.219	0.383
R22	0.6	0.217	−0.399	0.523	0.221	
R23	0.504	0.2	−0.386	0.501	0.224	
R6	0.13	0.824		0.134	−0.12	0.114
R7		0.631			0.399	−0.162
R5	0.178	0.595		0.192	0.161	
R12	0.394		−0.772	0.388	0.176	0.329
R11	0.346		−0.763	0.371	0.19	0.326
R13	0.47	0.132	−0.654	0.445		0.108
R17	0.541	0.178	−0.614	0.439	0.531	0.336
R14	0.516	0.168	−0.602	0.406	0.308	0.109
R15	0.566	0.222	−0.583	0.472	0.183	0.252
R16	0.462	0.127	−0.527	0.369	0.484	0.414
R4	0.372	0.212	−0.433	0.694	0.271	0.124
R3	0.383		−0.427	0.643	0.177	0.141
R9	0.44	0.331	−0.348	0.571	0.281	0.192
R1	0.295		−0.273	0.567	−0.174	0.183
R2	0.301		−0.301	0.522		0.109
R8	0.47	0.174	−0.359	0.482	0.311	0.154
R10	0.38	0.119	−0.536	0.395	0.134	0.586

Примечание: Метод извлечения — максимальное правдоподобие. Метод вращения — Облимин с нормализацией Кайзера.
Источник: составлено авторами.

Результаты факторного анализа подтверждают релевантность предложенных шести теоретических измерений FL для разработки соответствующих университетских программ. Показано, что работа с образами будущего представляет собой не абстрактную способность, а компетенцию, поддающуюся строгой оценке (Miller, 2018; Karlsen, 2021).

Поисковый факторный анализ позволил четко сгруппировать элементы FL по шести основным факторам, подтвердив возможность независимой оценки субкомпетенций (предвидение, оценка будущих сценариев, принятие решений в условиях неопределенности и т. п.). Высокая корреляция между элементами-вопросами и комплементарными факторами, отраженная в матрице, свидетельствует о структурной валидности предлагаемого инструмента. Тем не менее по некоторым пунктам наблюдаются незначительные перекрестные нагрузки с более чем одним фактором, что указывает на необходимость дальнейшей дора-

Табл. 8. Матрица паттернов

	Факторы					
	1	2	3	4	5	6
R21	0.681	0.124		0.141		−0.158
R20	0.655					
R19	0.551	−0.108				0.314
R18	0.426		−0.112	0.102		0.247
R22	0.420			0.277		
R6		0.890			−0.281	0.173
R7		0.597		−0.176	0.311	−0.115
R5		0.566				
R11			−0.775			
R12			−0.763			
R13	0.155		−0.605		−0.196	−0.125
R14	0.223		−0.451		0.144	
R15	0.285	0.110	−0.335	0.114		
R4				0.660	0.180	
R3			−0.112	0.586		
R1				0.571	−0.243	
R2				0.488		
R9	0.114	0.204		0.456	0.168	0.103
R8	0.232			0.317	0.210	
R23	0.283			0.306		−0.139
R17	0.188		−0.318		0.394	0.166
R16	0.155		−0.228		0.377	0.284
R10			−0.285	0.122		0.465

Примечание: Метод извлечения — максимальное правдоподобие. Метод вращения — Облимин с нормализацией Кайзера.
Источник: составлено авторами.

ботки для прояснения содержания и теоретического согласования. Элементы с отрицательными нагрузками на недоминантные факторы, такие как пункт 21 в факторе 3, нуждаются в переформулировании или исключении.

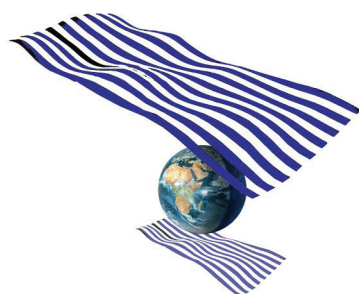
Для дополнительной валидации идентифицированной факторной структуры в рамках дальнейших исследований следует провести подтверждающий факторный анализ. Таким образом, оценка потенциала воспроизводимости предложенных теоретических факторов в различных выборках респондентов станет более обоснованной, что повысит обобщаемость инструмента. Разработка и тестирование представленной анкеты не только вносят вклад в исследования будущего, но и предлагают новый оценочный инструмент для университетов. Способность измерять исходный уровень FL у учащихся позволит создавать более эффективные образовательные программы по развитию этой все более востребованной компетенции.

Библиография

Aaltonen M. (2009) Evaluation and Organization of Futures Research Methodology — Version 3.0. In: *Futures Research Methodology — V3.0* (eds. J.C. Glenn, T.J. Gordon), Washington, D.C.: The Millennium Project.
Ahvenainen M., Jokinen L., Korento K., Ollila J. (2015) Learning for the future - thinking ahead. *Futura*, 46–53, 2/2015 (in Finnish).
Aiken L.R. (1985) Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement*, 45(1), 131–142. <https://doi.org/10.1177/0013164485451012>
Archer M.S. (2013) *The reflexive imperative in late modernity*, Cambridge: Cambridge University Press.
Bartlett M.S. (1954) A Note on the Multiplying Factors for Various χ^2 Approximations. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 16(2), 296–298. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1954.tb00174.x>
Bell W. (2002) Foreword. In: *Lessons for the future: The missing dimension in education* (ed. D. Hicks), London: Routledge-Falmer, pp. 11–16.
Bergheim S. (2022) *On the Evaluation of Futures Literacy Laboratories*, Frankfurt am Main: Center for Societal Progress.
Bergheim S. (2024) *On the Competence of Futures Literacy*, Frankfurt am Main: Center for Societal Progress.

- Birkinshaw J., Lecuona R., Barwise P. (2016) The relevance gap in business school research: Which academic papers are cited in managerial bridge journals? *Academy of Management Learning and Education*, 15 (4), 686–702. <https://doi.org/10.5465/amle.2015.0282>
- Bloch E. (1995) *The principle of hope* (3 vols.), Cambridge, MA: The MIT Press.
- Burns A. (2015) Action Research. In: *Handbook of Research in Second Language Teaching and Learning* (ed. E. Hinkel), New York: Routledge, pp. 187–204.
- Costigan R.D., Brink K.E. (2015) Another perspective on MBA program alignment: An investigation of learning goals. *Academy of Management Learning and Education*, 14(2), 260–276. <http://dx.doi.org/10.5465/amle.2013.0315>
- Damhof L., Kazemier E., Gulumans J., Cremers P., Doornbos A., Beenen P. (2020) Anticipation for emergence: Defining, designing and refining futures literacy in higher education. In: *Humanistic futures of learning: Perspectives from UNESCO Chairs and UNITWIN Networks* (ed. S. Joseph), Paris: UNESCO, pp. 168–171.
- Doh J.P., Stumpf S.A. (2007) Executive education: A view from the top. *Academy of Management Learning and Education*, 6(3), 388–400. <http://dx.doi.org/10.5465/AMLE.2007.26361628>
- Ehlers U.D. (2020) *Future Skills — Future Learning and Future Higher Education*, Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.
- European Commission (2019) *Key competences for lifelong learning*, Brussels: European Commission.
- Facer K. (2016) Using the future in education: Creating space for openness, hope and creativity. In: *The Palgrave international handbook of alternative education* (eds. H. Lees, N. Noddings), London: Palgrave MacMillan, pp. 63–78.
- Gidley J.M., Hampson G.P. (2005) The evolution of futures in school education. *Futures*, 37(4), 255–271. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2004.07.005>
- Hair J.F., Babin B.J., Anderson R.E., Black W.C. (2019) *Multivariate Data Analysis* (8th ed.), England: Pearson Prentice.
- Inayatullah S. (2020) A castle surrounded by hungry wolves: Toward a stage theory of the uses of the future. *World Futures Review*, 12(1), 40–54.
- Kaiser H.F. (1974) An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1), 31–36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>
- Karlsen J.E. (2021) Futures literacy in the loop. *European Journal of Futures Research*, 9(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40309-021-00187-y>
- Kazemier E.M., Damhof L., Gulumans J., Cremers P.H.M. (2021) Mastering futures literacy in higher education: An evaluation of learning outcomes and instructional design of a faculty development program. *Futures*, 132, 102814. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102814>
- Lalot F., Ahvenharju S., Minkinen M., Wensing E. (2020) Aware of the Future?: Development and Validation of the Futures Consciousness Scale. *European Journal of Psychological Assessment*, 36(5), 874–888. <http://dx.doi.org/10.1027/1015-5759/a000565>
- Larsen N., Mortensen K.J., Miller R. (2020) *What is Futures Literacy and why is it important?*. <https://medium.com/copenhageninstitute-for-futures-studies/what-is-futures-literacy-and-why-is-it-important-a27f24b983d8>, дата обращения 19.11.2024
- Louie A. (2010) Robert Rosen's Anticipatory Systems. *Foresight*, 12(3), 18–29. <https://doi.org/10.1108/14636681011049848>
- Mangnus A.C., Oomen J., Vervoort J.M., Hajer M.A. (2021) Futures literacy and the diversity of the future. *Futures*, 132, 102793. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102793>
- McChrystal S. (2019) *Team of teams*, New York: Penguin.
- Mezirow J. (1991) *Transformative dimensions of adult learning*, San Francisco: Jossey-Bass.
- Miller R. (2018) *Transforming the Future. Anticipation in the 21st Century*, London: Routledge.
- Miller R. (2007) Futures Literacy: A Hybrid Strategic Scenario Method. *Futures*, 39, 341–362. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2006.12.001>
- Miller R. (2012) Anticipation: The discipline of uncertainty. In: *The future of futures*, Washington, D.C.: Association of Professional Futurists, pp. 39–43.
- Miller R. (2015) Learning, the future, and complexity. An essay on the emergence of futures literacy. *European Journal of Education*, 50 (4), 513–523. <https://doi.org/10.1111/ejed.12157>
- Moules J. (2020) FT Executive Education Rankings 2020: Analysis amid the Pandemic. *Financial Times*, 10.05.2020. <https://www.ft.com/content/1c3f4b42-8172-11ea-b6e9-a94cfd1d9bf>, дата обращения 10.12.2024
- Myllyniemi S. (2017) *Youth Barometer 2016*, Helsinki: Ministry of Education and Culture.
- Nadin M. (2012) Prolegomena — What Speaks in Favor of an Inquiry into Anticipatory Processes? In: *Anticipatory systems: Philosophical, mathematical and methodological foundations* (ed. R. Rosen), Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, pp. 19–60.
- Nelson C. (2019) Interview with Riel Miller by Clair Nelson. In: *Human futures* (ed. E. Overland), Washington, D.C.: World Futures Studies Federation, pp. 37–44.
- OECD (2018) *The OECD Survey of Adult Skills is the jewel in the crown of its Programme for the International Assessment of Adult Competencies (PIAAC)*, Paris: OECD.
- OECD (2023) *21st Century competencies*, Paris: OECD.
- Polak F. (1973) *The Image of the Future*, London: Elsevier.
- Poli R. (2013) A note on the difference between complicated and complex social systems. *Cadmus*, 2(1), 142–147.
- Poli R. (2017) Social time as a multidimensional category. *World Futures Review*, 9(1), 19–25.
- Poli R. (2019) *Working with the future*, Milan: Bocconi University Press.
- Poli R. (2021) The challenges of futures literacy. *Futures*, 132, 102800. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102800>
- Pouru-Mikkola L., Wilenius M. (2021) Building individual futures capacity through transformative futures learning. *Futures*, 132, 102804. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102804>
- Ramírez R., Rowland N.J., Spaniol M.J., White A. (2021) Avoiding the valley of death in educating strategists. *Long Range Planning*, 54(3), 102000. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2020.102000>
- Rogers M. (1998) Student responses to learning about futures. In: *Futures education. World yearbook of education 1998* (eds. D. Hicks, R. Slaughter), London: Kogan Page, pp. 203–216.
- Rogers M., Tough A. (1996) Facing the future is not for wimps. *Futures*, 28(5), 491–496. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(96\)00021-3](https://doi.org/10.1016/0016-3287(96)00021-3)
- Rosen R. (1991) *Life itself: A comprehensive inquiry into the nature, origin, and fabrication of life*, New York: Columbia University Press.
- Rubin A. (1998) *The images of the future of young Finnish people*, Turku: Publications of the Turku School of Economics and Business Administration.
- Schütz A. (1967) *The Phenomenology of the Social World*, Evanston, IL: Northwestern University Press.
- Siirila J., Laininen E., Tikkanen J., Salonen A.O., Panssar T. (2018) Transformative learning in the Anthropocene era. *Journal of Professional Education*, 20(5), 39–56 (in Finnish).
- Spanjol J., Rosa A., Schirrmeister E., Dahl P., Domnik D., Lindner M., de la Cruz M., Kuhlmann J.F. (2023) The potential of futures literacy for impact-oriented business schools. *Futures*, 146. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.103084>
- Sterling S. (2010) Transformative Learning and Sustainability: Sketching the Conceptual Ground. *Learning and Teaching in Higher Education*, 5, 17–33.
- Toffler A. (1970) *The Future Shock*, New York: Random House.
- Toivonen S., Rashidfarokhi A., Kyrö R. (2021) Empowering upcoming city developers with futures literacy. *Futures*, 129, 102734. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102734>
- Vygotsky L.S., Cole M., Jolm-Steiner V., Scribner S., Souberman E. (1978) *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wals A.E.J., Peters M.A. (2017) Flowers of resistance: Citizen science, ecological democracy and the transgressive education paradigm. In: *Sustainability Science* (1st ed.), New York: Routledge, pp. 29–52.

ISSN 1995-459X
9 771995 459777



Вебсайт



Website

Загрузите в
App Store



Download on the
App Store

ДОСТУПНО В
Google Play



GET IT ON
Google Play