

FORESIGHT AND STI GOVERNANCE

ФОРСАЙТ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА «ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

ISSN 1995-459X
(print)

ISSN 2312-9972 (online)
ISSN 2500-2591 (english)

2023

T.17 №1



В НОМЕРЕ

Инновационные стратегии
высокотехнологических компаний

Эволюция технологий хранения энергии

Новые решения в области кибербезопасности



РЕЙТИНГ ЖУРНАЛА

по импакт-фактору
в Российском индексе
научного цитирования (2022)

- Наукоедение 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 направлениям:

- Business, Management and Accounting (miscellaneous)
- Decision Sciences (miscellaneous)
- Economics, Econometrics and Finance (miscellaneous)
- Social Sciences (miscellaneous)
- Social Sciences – Development
- Statistics, Probability and Uncertainty

«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
Cnki • 中国知网

RUSSIAN SCIENCE CITATION INDEX
WEB OF SCIENCE

EBSCO

Academic
Search
Premier

DOAJ

ProQuest
Start here.

OAJ
.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

SHERP
Romeo

Главный редактор Леонид Гохберг (НИУ ВШЭ)

Заместитель главного редактора Александр Соколов (НИУ ВШЭ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Татьяна Кузнецова (НИУ ВШЭ)

Дирк Майсснер (НИУ ВШЭ)

Юрий Симачёв (НИУ ВШЭ)

Томас Тернер (НИУ ВШЭ)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Андрей Белоусов (Правительство РФ)

Николас Вонортас (Университет Джорджа Вашингтона, США)

Фред Голт (Маастрихтский университет, Нидерланды, и Технологический университет Тсване, 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 (Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии, Бельгия)

Элиас Караяннис (Университет Джорджа Вашингтона, США)

Майкл Кинэн (ОЭСР, Франция)

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 (ANACOM, Португалия)

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

Вольфганг Полт (Университет прикладных наук Йоханнеум, Австрия)

Озчан Саритас (НИУ ВШЭ)

Марио Сервантес (ОЭСР, Франция)

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 250 экз.

Заказ 0000

Отпечатано в ООО «Фотоэксперт», 109316, Москва,
Волгоградский проспект, д. 42

© Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», 2007–2023

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:**

- **Business, Management and Accounting** (miscellaneous)
- **Decision Sciences** (miscellaneous)
- **Economics, Econometrics and Finance** (miscellaneous)
- **Social Sciences** (miscellaneous)
- **Social Sciences Development**
- **Statistics, Probability and Uncertainty**

National Research University
Higher School of Economics



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

Alexander Sokolov, Deputy Editor-in-Chief, HSE, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

Andrey Belousov, Government of the Russian Federation
Cristiano Cagnin, EU Joint Research Centre, Belgium
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 Tshwane University of Technology, 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
Keun Lee, Seoul National University, Korea, and HSE, Russian Federation
Carol S. Leonard, University of Oxford, United Kingdom
Sandro Mendonca, ANACOM, 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, Joanneum Research, Austria
Ozcan Saritas, HSE, Russian Federation
Klaus Schuch, Centre for Social Innovation, Austria
Alina Sorgner, John Cabot University, Italy, and Kiel Institute for the World Economy, Germany
Nicholas Vonortas, George Washington University, United States
Angela Wilkinson, World Energy Council and University of Oxford, United Kingdom

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
DRJI

ERIH PLUS

ICI 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

EDITORIAL BOARD

Tatiana Kuznetsova, HSE, Russian Federation
Dirk Meissner, HSE, Russian Federation
Yury Simachev, HSE, Russian Federation
Thomas Thurner, HSE, Russian Federation

EDITORIAL TEAM

Executive Editor — Marina Boykova
Development Manager — Natalia Gavriličeva
Literary Editors — Yakov Okhonko, Caitlin Montgomery
Proofreader — Elizaveta Polukeeva
Designer — 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

Т. 17. № 1

СТРАТЕГИИ

Высокотехнологичные услуги в парадигме экономики сложности: формирование комплексной сервисной экосистемы

Вероника Белоусова, Николай Чичканов, Григорий Гашиников, Жаклин Краюшкина, Томас Тернер

7

Новая стратегия высокотехнологичных компаний – скрытые источники роста

Мария Кокорева, Анастасия Степанова, Кирилл Повх

18

ИННОВАЦИИ

Реконфигурация ландшафта технологий хранения энергии

Жозе Силва, Гильерме Тавора, Сандро Мендонка

34

Трансформация управления инновационным развитием для решения проблем декарбонизации и роста энергоэффективности

Александр Мельник, Ирина Наумова, Кирилл Ермолаев

51

Инновационные сценарии для агропромышленной сети Эквадора

Кристиан-Герман Эрнандес, Фернандо Барраган-Очоа, Джошуа Уртадо-Уртадо

67

Влияние трансфера технологий на развитие предпринимательского потенциала

Франсиско Паредес-Леон, Марисела Родригес-Сальвадор, Педро Ф. Кастильо-Вальдес

80

МАСТЕР-КЛАСС

Умная автоматизация в интересах кибербезопасности

Анжело Невес, Вирджиния Араухо

89

CONTENTS

Vol. 17. No. 1

STRATEGIES

Technology-Intense Service Offerings in the Light of Economic Complexity: Establishing a Holistic Service Ecosystem

Veronika Belousova, Nikolai Chichkanov, Grigory Gashnikov, Zhaklin Krayushkina, Thomas Thurner 7

The New Strategy of High-Tech Companies – Hidden Sources of Growth

Maria Kokoreva, Anastasia Stepanova, Kirill Povkh 18

INNOVATION

Reconfiguring the Battery Innovation Landscape

José Silva, Guilherme Távora, Sandro Mendonça 34

Adapting Innovation Development Management Processes to Improve Energy Efficiency and Achieve Decarbonization Goals

Alexander Melnik, Irina Naoumova, Kirill Ermolaev 51

Innovation Scenarios for Ecuadorian Agrifood Network

Cristian-Germán Hernández, Fernando Barragán-Ochoa, Joshua Hurtado-Hurtado 67

Evaluating the Impact of Technology Transfer from the Perspective of Entrepreneurial Capacity

Francisco Paredes-Leon, Marisela Rodriguez-Salvador, Pedro F. Castillo-Valdez 80

MASTER CLASS

Smart Automation for Enhancing Cybersecurity

Ângelo Neves, Virgínia Araújo 89

Высокотехнологичные услуги в парадигме экономики сложности: формирование комплексной сервисной экосистемы

Вероника Белоусова^a

Заместитель директора и ведущий научный сотрудник, Центр исследований отраслевых рынков и бизнес-стратегий, Институт статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ), vbelousova@hse.ru

Николай Чичканов^a

Научный сотрудник и заведующий отделом, Центр исследований отраслевых рынков и бизнес-стратегий ИСИЭЗ, nchichkanov@hse.ru

Григорий Гашников^a

Приглашенный преподаватель, Факультет компьютерных наук, ggashnikov@hse.ru

Жаклин Краюшкина^{b*}

Докторант PhD, Zhaklin.Krayushkina@unige.ch

Томас Тернер^a

Ведущий научный сотрудник, Лаборатория экономики инноваций ИСИЭЗ, tthurner@hse.ru

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

^b Женевский институт финансовых исследований Женевского университета (Geneva Finance Research Institute at the Geneva University), Швейцария, 24 rue du Général-Dufour 1211 Genève 4, Switzerland

* Жаклин Краюшкина участвовала в подготовке рукописи исследования в качестве стажера-исследователя в ИСИЭЗ.

Аннотация

В кризисных ситуациях крупные компании вынуждены превентивно адаптироваться к радикальному изменению внешней среды с учетом действий партнеров и конкурентов. Пандемия COVID-19 стала таким трансформирующим контекстом, ускорив цифровизацию различных сфер экономики. В статье проанализирована деятельность крупнейших банков, выводящих на российский рынок новые услуги на основе цифровых технологий.

Предлагая такие услуги, банки формируют комплексные высокотехнологичные платформы, не связанные с основным профилем деятельности, прежде всего образовательные и медицинские, базирующиеся на сложных роботизированных и блокчейн-решениях. В силу вышеописанной тенденции трансфер знаний и технологий из других отраслей для запуска финансовых инноваций становится ключевым стратегическим активом.

Ключевые слова: банковский сектор; COVID-19; антикризисные стратегии; цифровизация; диверсификация; экономическая сложность; сервисные инновации; предложение услуг; технологические платформы; финтех

Цитирование: Belousova V., Chichkanov N., Gashnikov G., Krayushkina Z., Thurner T. (2023) Technology-Intense Service Offerings in the Light of Economic Complexity: Establishing a Holistic Service Ecosystem. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 7–17. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.7.17

Technology-Intense Service Offerings in the Light of Economic Complexity: Establishing a Holistic Service Ecosystem

Veronika Belousova ^a

Deputy Director and Leading Research Fellow, Centre for Industrial Market Studies and Business Strategies, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge (ISSEK), vbelousova@hse.ru

Nikolai Chichkanov ^a

Research Fellow and Head of Department, ISSEK Centre for Industrial Market Studies and Business Strategies, nchichkanov@hse.ru

Grigory Gashnikov ^a

Visiting Lecturer, Faculty of Computer Science, ggashnikov@hse.ru

Zhaklin Krayushkina ^b

PhD student, Zhaklin.Krayushkina@unige.ch

Thomas Thurner ^a

Leading Research Fellow, ISSEK Laboratory for Economics of Innovation, tthurner@hse.ru

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

^b Geneva Finance Research Institute at the University of Geneva, 24 rue du Général-Dufour 1211 Genève 4, Switzerland

* The majority of study research was performed while Zhaklin Krayushkina was a research assistant at HSE ISSEK.

Abstract

Crisis situations, like the COVID-19 pandemic, have historically been identified as times of enhanced innovation and entrepreneurial activities. Innovation actors are required to respond quickly to a new situation bearing in mind the effects of actions across their network of partners and competitors as well as rising economic complexity. Indeed, first indications suggest that this pandemic is no different and has facilitated the use of digital technologies. In order to assess these developments, this paper studies new service offerings based on

digital technologies using the example of three major Russian banks. We found that banks have now developed into technology platforms that use their experience to engage in areas like education, advanced robotics, and health care. Technologies developed by partner organizations, such as the integration of blockchain solutions, have spread rapidly. Thereby, banks have obtained a strategic advantage for launching innovations in the financial industry, including technology and knowledge transfers from other industries.

Keywords: banking; COVID-19; anti-crisis strategies; digitalization; diversification; economic complexity; service innovation; service offerings; technological platforms, fintech

Citation: Belousova V., Chichkanov N., Gashnikov G., Krayushkina Z., Thurner T. (2023) Technology-Intense Service Offerings in the Light of Economic Complexity: Establishing a Holistic Service Ecosystem. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 7–17. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.7.17

Усложнение экономических взаимосвязей и усиление финансового неравенства за последнее десятилетие способствовали стремительному развитию финансовых технологий и инноваций (Lapatinas, 2019; Hartmann et al., 2017; Fan et al., 2015; Tacchella et al., 2013). Предложение финансовых услуг существенно расширилось, стало более гибким, адаптивным и наукоемким, обрело экосистемную основу. Активизировалась разработка технологических платформ как инструментов для совместной работы по максимизации потребительской ценности и удовлетворения запросов клиентов. Перечисленные процессы находятся под влиянием растущей экономической сложности, которая наблюдается в странах как с высоким, так и низким уровнем дохода (Nguyen et al., 2020; Nguyen, Su, 2021).

Эффекты экономики сложности наглядно проявились в условиях пандемии COVID-19 (Desjardine et al., 2019; Kwong et al., 2019), когда введение мер социального дистанцирования разрушило большинство устоявшихся поведенческих моделей и способствовало переходу глобальной экономики в кризисный режим (Nummela et al., 2020; Arner et al., 2020). Вместе с тем, пандемия совпала с масштабными технологическими переменами в экономике, вызванными развитием новых производственных технологий, таких как робототехника,¹ киберфизические системы и искусственный интеллект (ИИ). Появился эффективный инструментарий для реструктуризации и трансформации сложившихся социальных и экономических процессов. Меры социального дистанцирования, введенные для борьбы с распространением COVID-19, существенно ограничили частоту, а в некоторых случаях и саму возможность физического контакта между клиентами и персоналом банковских отделений. В результате потребление финансовых сервисов в значительной степени свелось к использованию цифровых каналов, а электронные платежи стали еще быстрее заменять наличное денежное обращение. Банковский сектор всегда был в авангарде освоения новых технологий, а созданные в последние десятилетия инновации обеспечили интеграцию технологических платформ (прежде всего программного и аппаратного обеспечения) в бизнес-модели. При этом процесс внедрения цифровых технологий банками во многом соответствует концепции обратного продуктового цикла (Barras, 1990). Данная модель характерна для компаний сферы услуг, которые часто осваивают передовые технологии для того, чтобы повысить эффективность текущей деятельности, и лишь затем трансформируют

полученный опыт в новые решения. Таким образом, банки стимулируют распространение новых технологий в обществе за счет внедрения цифровых инноваций, разрабатываемых самостоятельно либо в партнерстве с финтех-компаниями (World Economic Forum, 2020). В первую очередь отметим цифровизацию рутинных операций, реализация которых в цифровых каналах обходится дешевле, чем работа оператора, что позволяет предоставлять финансовые услуги социальным группам, не охваченным (или недостаточно охваченным) ранее².

В последнее десятилетие банки не только способствовали развитию технологических компаний путем их кредитования, но и сами все чаще выступали в качестве поставщиков технологий и центров обработки данных. Более половины представителей финансового сектора пользуются ИИ для ускорения структурированных операций и выявления мошеннических действий (McKinsey, 2021). Например, на основе анализа больших данных формируются системы для рейтинговой оценки риска дефолта заемщиков или борьбы с отмыванием денежных средств (Aitken et al., 2020). Несмотря на то что под влиянием кризисов многие направления инновационной деятельности становятся неэффективными, в целом пандемия стимулировала распространение цифровых технологий. Так, в ряде секторов, наиболее активно применяющих цифровые бизнес-модели, включая банковский, наблюдается активный рост инновационной деятельности, ориентированной на ускоренную адаптацию к новым условиям и укрепление конкурентных преимуществ.

Упомянутые процессы анализируются в статье на примере реализации банками накопленного опыта в области цифровых технологий для развития новых высокотехнологичных услуг в ответ на вызовы пандемии COVID-19. Это предполагает использование широкого подхода к анализу влияния финансовых учреждений на социально-экономическую систему.

Банки во время кризиса

Банковский сектор всегда был на переднем крае технологических инноваций в сфере услуг. Первые электронные услуги (банкоматы) появились в 1960-е гг., а в 1970-е гг. стали доступны другие сервисы на основе платежных карт. Организации этой сферы оказались в числе первых, кто стал предлагать услуги онлайн и разрабатывать приложения для смартфонов. Поскольку банки выполняют

¹ В банковской сфере выделяются три основных направления робототехники (Shabbir et al., 2022). Для оптимизации внутренних бизнес-процессов используются физические роботы, обычно выполняющие логистические, складские функции и т. д. Они задействованы и в банковских отделениях, но полезным функционалом обладают редко и в основном предназначены для развлечения клиентов. Кроме того, под «роботизацией» понимается оптимизирование рутинных ручных операций с помощью легко настраиваемых ИТ-платформ (*low code, no code*). В результате значительно снижается механическая нагрузка на персонал, повышаются качество и скорость выполнения операций. Для выявления мошенничества широко применяются киберфизические системы. Причем «роботизация» не имеет отношения к ИИ, поскольку роботы выполняют пошаговые процедуры вместо сотрудников (например, распознавание текста, поэтапный ввод данных в регистрационные формы). Наконец, к ИИ относят алгоритмы, способные работать автономно в рамках предоставленных им прав. Накапливая и обрабатывая статистику по правильным и неправильным действиям из баз данных, собранных разными ИТ-системами, они проходят самообучение. Исходя из этого, алгоритмы наделяются «полномочиями» взаимодействовать с клиентом, принимать решения и осуществлять предиктивный либо ретроспективный анализ.

² <https://globalfindex.worldbank.org/>, дата обращения 07.11.2022.

ключевую функцию управления финансовыми потоками, от них ожидают бесперебойного функционирования в сложных ситуациях, включая пандемии.

Для описания способности систем адаптироваться к изменениям в случае кризисных шоков без потери функциональности, структуры или идентичности введен термин «операционная устойчивость» (Walker et al., 2004)³. Стихийные бедствия, пандемии и другие масштабные катастрофические события существенно ограничивают возможности финансовой деятельности. В лучшем случае кредитные организации не могут полноценно оценивать потенциальных заемщиков, в худшем — физически лишаются возможности оказывать услуги. Ранее изучалось влияние на их функционирование таких стихийных бедствий, как землетрясения, цунами, извержения вулканов.⁴ Среди исследований эффектов пандемии отметим анализ политики центральных банков (Funke, Tsang, 2020), последствий кризиса COVID-19 для финансовой сферы Германии (Flögel, Gärtner, 2020) и Индии (Mainrai, Mohania, 2020).

Инновации в сфере услуг

Разные секторы обладают неодинаковой способностью генерировать или осваивать инновации. Одни готовы вкладывать «длинные» инвестиции, другим не хватает достаточной гибкости, чтобы отойти от устоявшихся способов организации бизнеса, несмотря на потерю их эффективности (Adamson, 1952; Adamson, Taylor, 1954). Некоторые инновации создаются пользователями путем адаптации функциональных свойств существующих продуктов для решения собственных задач (Von Hippel, 1986). Выделяется особая их категория — «лидирующие пользователи» (*lead users*), которые находятся в постоянном поиске новых решений, всегда опираются на передовые технологии и, следовательно, находятся в авангарде знаний. Со временем к их наработкам обращаются другие участники рынка (Urban, Von Hippel, 1988; Franke, Shah, 2003; Lüthje, 2004). Наглядный пример — кейсы хирургических инноваций в университетских клиниках Германии (Lüthje, 2003) и библиотечных IT-сервисов (Morrison et al., 2000).

Существующие продукты и услуги могут утратить актуальность в радикально меняющемся контексте. Тем не менее рекомбинация действующих технологий приводит к появлению новых, адаптированных предложений и способствует изменению траекторий инновационной деятельности для компаний. Если новая разработка получит распространение и станет нормой, то активные и открытые к рискам экспериментаторы — «экстремальные пользователи-новаторы» (*extreme user innovators*)

— получают преимущество за счет раннего старта (Von Hippel, 2005; Christensen, 1997). В противном случае они приобретают опыт, который нередко оказывается полезным при возвращении к практике «работаем, как обычно». В свое время дефицит ресурсов способствовал возникновению в японской промышленности концепции «бережливого управления» (*lean management*) (Womack, Jones, 2005). Гуманитарные катастрофы и восстановление разрушенной инфраструктуры обусловили появление радикально новых решений в сфере логистики, коммуникаций и здравоохранения (Ramalingam et al., 2009).

Предприниматели выполняют посреднические функции в рекомбинировании технологических траекторий (Bessant et al., 2015). Кризисные ситуации (включая COVID-19) оказываются для них источником возможностей, которые часто обусловлены неспособностью или нежеланием других акторов (в государственном и частном секторах) оперативно реагировать на возникающие вызовы (Gümüşay, Harrison, 2020).

Со второй половины XX века сфера услуг вносит значимый вклад в экономическое развитие и генерирует спрос на новые технологии и высококвалифицированных специалистов. Большую роль в этом сыграл переток знаний и технологий из авангардных секторов (*vanguard sectors*). Когда новые технологии доказали свою прибыльность в этих отраслях, их примеру последовали другие. Однако логика распространения инноваций в промышленности и в сфере услуг различается. В первом случае внедрение новых технологий обуславливает создание продуктовых инноваций, вслед за которыми появляются процессные. Во втором инновационная деятельность следует обратному производственному циклу — расширение сервисных предложений способствует дифференциации продуктовой линейки и повышает производительность компаний (Barras, 1986). Сервисная сфера использует новые технологии для совершенствования бизнес-процессов, формируя более радикальные инновации, и лишь затем на этой основе появляются новые или значительно улучшенные продукты (Bhagwati, 1984).

Банки извлекают прибыль из двух основных источников: от учетных операций (инвестиции, процессинг, расчетно-кассовые центры, депозитарии и др.) и от реализации различных финансовых продуктов. Цифровизация облегчает доступ потребителей к таким продуктам и предоставляет финансовым провайдерам возможность занимать новые рыночные ниши, формировать специальные предложения, привлекая игроков из других отраслей. Повышается их рентабельность и расширяется клиентский охват (Schmiedel et al., 2006; Beijnen, Bolt, 2009).

³ Например, Банк Англии (Bank of England) определяет операционную устойчивость, которая считается приоритетом для финансового сектора, как способность предотвращать технологические или иные инциденты, связанные с производственными операциями, реагировать на них, адаптироваться, восстанавливаться и извлекать уроки. Подробнее: <http://data.parliament.uk/writtenevidence/committeeevidence.svc/evidencedocument/treasury-committee/it-failures-in-the-financial-services-sector/written/97231.html>, дата обращения 22.01.2023.

⁴ В исследовании (Hosono et al., 2016) проанализированы последствия Великого землетрясения Хансин-Авадзи (произошло в январе 1995 г. в районе города Кобе и острова Авадзи на западе Японии) с точки зрения потенциала банков по удовлетворению спроса компаний на заемный капитал. В публикации (Berg, Schrader, 2012) исследован эффект извержений вулканов в отношении заимствований у микрофинансовых организаций в Эквадоре. Оценивалась также степень восстановления предприятий Шри-Ланки после цунами 2004 г. (De Mel et al., 2010).

Одновременно банки сталкиваются с растущей конкуренцией со стороны технологических компаний, особенно на рынке платежных услуг. Серьезный вызов для сложившихся финансовых игроков представляют новые стартапы (финтех-компании, неолбанки). Они изначально организуют работу с клиентом исключительно в дистанционном формате, тогда как традиционные банки расходуют значительные ресурсы на реорганизацию бизнес-процессов, доработку IT-систем и переобучение сотрудников. Финтех-компании завоевывают лояльность потребителей, предлагая персонализированные продукты для узких сегментов. В отличие от них, многие банки часто не способны обеспечить тонкую настройку персонализации услуг, но могут предоставлять финтех-компаниям необходимую инфраструктуру. Если последним удастся продемонстрировать эффективность своих технологических решений на нишевых рынках, банки вступают с ними в партнерские отношения или приобретают в собственность. Таким образом, на фоне растущих потребительских ожиданий финансовые структуры в стремлении сохранить доминирующие позиции активно вовлекают в свою инновационную деятельность внешние организации.

Методология

Переходу банков с очного на дистанционное онлайн-обслуживание посвящена обширная литература. В фокусе исследователей оказались вопросы восприятия и принятия технологий (Karjaluoto et al., 2002; Pikkarainen et al., 2004), а также повышения доверия потребителей к цифровым коммуникациям с финансовыми структурами (Bhattacharjee, 2002). Изучаются опыт внедрения чатов, видеозвонков и других технологических решений (Vessey et al., 2020; McCarty, 2020), риски потенциального мошенничества, обусловленные неправомерным доступом к персональным данным (Lewis, 2020). Предложены рекомендации по оптимизации удаленного предоставления услуг для всех категорий клиентов, прежде всего лиц с ограниченными физическими возможностями (Buehler et al., 2020).

Для ответа на исследовательский вопрос настоящей статьи мы изучили использование банками технологий в ответ на пандемию COVID-19 в период с января 2020 г. по октябрь 2022 г. на основе открытых источников данных (включая пресс-релизы, годовые отчеты и материалы для инвесторов). Дополнительно рассматривались последние отчеты консалтинговых компаний с рекомендациями по повышению устойчивости бизнес-операций после пандемии COVID-19. Наше исследование фокусировалось на практиках предоставления цифровых услуг для розничных клиентов тремя ведущими банками, работающими в России, которые отбирались по следующим критериям:

- принадлежность к «системообразующим» структурам (в соответствии с определением регулятора);
- лидерство в области цифровизации;
- диверсификация по формам собственности: частный, государственный и иностранный (чтобы по-

лучить представление о разных типах стратегий, практиках корпоративного управления и возможностях доступа к рынку капитала);

- публичный статус (акции проанализированных банков торгуются на бирже, что обеспечивает доступ к их нефинансовым (годовым) отчетам и стратегическим документам, открытым для инвесторов).

Рассматривались такие аспекты, как «Технологическое развитие», «Изменения в бизнес-стратегии банков» и «Поддержка клиентов и общества». Каждое из них включает несколько подкатегорий, отраженных в табл. 1. Сводка по реализованным мероприятиям представлена на рис. 1. Наше исследование не фокусировалось на разборе конкретных практик, а ставило задачу в целом оценить применение банками своего технологического потенциала для реагирования на пандемию. Для этого использовался кейс-анализ (Creswell, Poth, 2017; Yin, 2009). Надежность исходных данных обеспечивалась путем триангуляции (Riege, 2003). Информация аккумулировалась из разных источников (сайтов, пресс-релизов, годовых отчетов и презентаций для инвесторов). Собранные сведения сопоставлялись с данными от СМИ, не связанных с изучаемыми компаниями, и дополнительно проходили валидацию отраслевыми специалистами. Чтобы устранить фактор предвзятости отдельных экспертов, применялся метод рефлексивности (Lincoln, Guba, 1985). Это связано с тем, что в исследовательскую группу входили представители двух государств и двух организаций, специализирующиеся по разным научным направлениям и имеющие неодинаковый опыт в плане продолжительности карьеры и ее траектории. Собранные данные были тщательно закодированы, отсортированы, структурированы в базу данных и системно проанализированы (Lincoln, Guba, 1985; Golafshani, 2003; Riege, 2003).

Высокотехнологичные услуги во время пандемии

Пандемия стала стимулом для банков в формировании новых пакетов услуг. Последние структурированы

Табл. 1. Направления анализа банковской деятельности

Категория	Подразделы
Технологическое развитие	• Продукты и услуги на основе новых технологий • Технологические партнерства • Кибербезопасность
Изменения в бизнес-стратегии	• Условия деятельности (офисная и удаленная работа) • HR-стратегия (от программ поддержки персонала до гибридных форматов работы)
Поддержка клиентов и общества	• Проекты в области здравоохранения • Информирование о COVID-19 • Благотворительность • Услуги в условиях самоизоляции и образовательные инициативы для клиентов
Источник: составлено авторами.	

Табл. 2. Примеры технологий предоставления финансовых услуг		
№	Типы технологий	Финансовые услуги
1	Сквозные технологии, разработанные банками для более эффективного предоставления услуг и применимые в других отраслях.	- Удаленная идентификация (включая биометрию) - Био-эквайринг - Платежи по QR-коду
2	Обеспечивающие технологии, заимствованные банками из сферы бигтеха у крупнейших технологических компаний (в частности, технологии на основе интернета вещей) и постепенно адаптированные. Впоследствии стали использоваться в других отраслях сферы услуг.	- Искусственный интеллект - Машинное обучение - Блокчейн-технологии - Облачные вычисления - Аналитика больших данных - Роботы (включая физических) - Экосистемы (открытые API/открытые данные) - Чат-боты и голосовые боты (интерактивное общение)
3	Подрывные технологии, используемые банками для удаленного предоставления услуг на основе ИТ-решений, реализованных в других отраслях сферы услуг (онлайн-обучения, телемедицины и т. п.).	- Системы мониторинга состояния здоровья - Технологии обучения - HR-технологии
Источник: составлено авторами.		

на рис. 1 в зависимости от формы собственности финансовых организаций и типологии цифровых решений, заложенных в основе каждого продукта (табл. 2). Процесс их внедрения проходил в несколько этапов, которые подробно рассматриваются далее.

Этап 1. Преодоление негативных последствий карантина, введение систем мониторинга здоровья

На рис. 2 показаны первые шаги банков во время карантина (февраль – апрель 2020 г.), направленные на преодоление его негативных последствий и разработку систем мониторинга состояния здоровья. Например, появилась возможность бесплатно пройти онлайн-тест на симптомы COVID-19 на основе ИИ: вначале только для клиентов, а впоследствии и для всех жителей города. Банки начали также содействовать адаптации к новым условиям российской системы образования, столкнувшейся с необходимостью быстрого внедрения дистанционных форматов в учебный процесс. Одна из частных структур инициировала на своей образовательной платформе серию онлайн-программ. В числе первых сервисов оказалась игра, обучающая правилам поведения в условиях самоизоляции. До этого группа ее разработчиков создавала инструменты для набора персонала и привлечения клиентов.

Этап 2. Мониторинг макроданных, создание блокчейн-технологий

В мае – июле 2020 г. банки сфокусировались на создании систем мониторинга макроданных и блокчейн-технологий (рис. 3). Совместно с медицинским стартапом были разработаны бесплатные услуги поддержки пожилых людей во время пандемии COVID-19. Государственный банк сконцентрировался на образовательных проектах, организовав серию вебинаров по финансовой и цифровой грамотности. Частный банк организовал бесплатную онлайн-лекцию о возможности использования

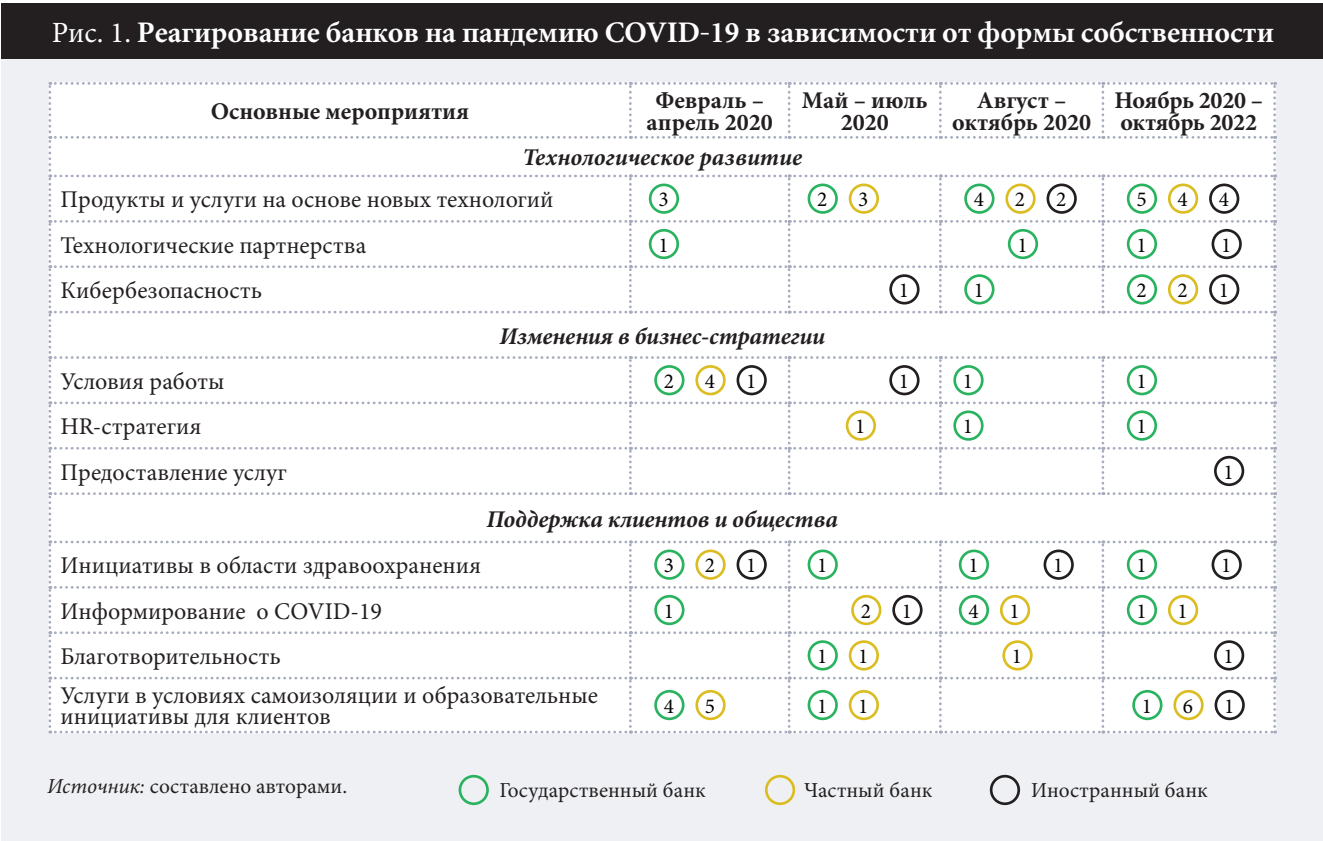
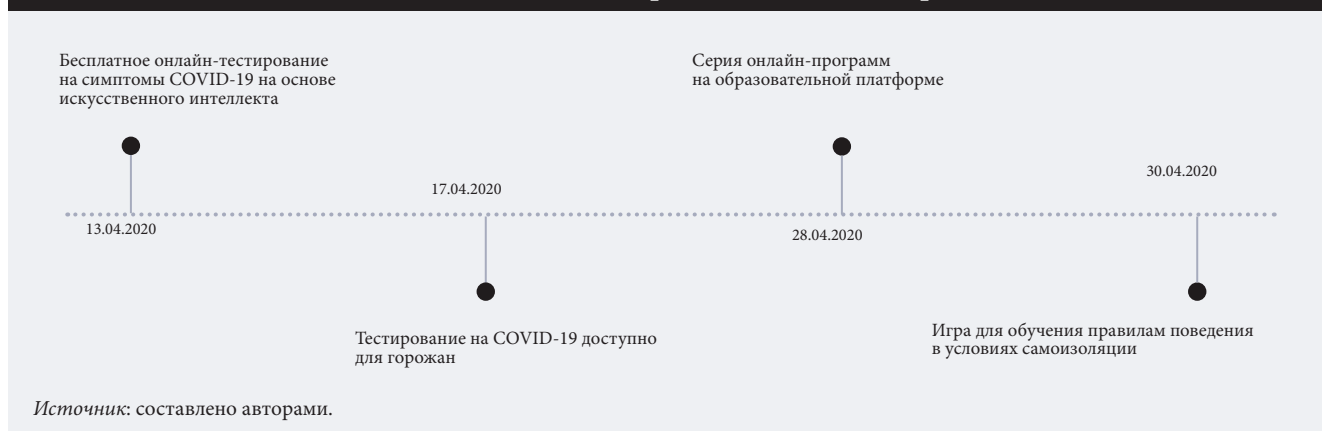


Рис. 2. Системы мониторинга состояния здоровья



IT-инструментов в разных профессиях. Иностраный банк представил исследование, сравнивавшее поведение малого и среднего бизнеса до и после пандемии. Для более состоятельных клиентов разработана интерактивная онлайн-карта (с игровыми элементами) для планирования дальних поездок после снятия карантинных мер. Предложен «корона-индекс» для мониторинга развития российской экономики во время пандемии. Департамент искусственного интеллекта российского государственного банка создал приложение на основе ИИ для интерпретации компьютерных томограмм. Один из проанализированных банков (иностраный) внес существенный вклад в развитие технологии блокчейна в России, реализовав первый для страны проект блокчейн-автоматизации. Интеграция собственной платформы с аналогичными ресурсами компании-нефтетрейдера ускорила расчеты по торговле нефтью, повысив их прозрачность.

Этап 3. Онлайн-обучение, новые формы удаленной работы

На протяжении августа–октября 2020 г. банки сосредоточили основное внимание на совершенствовании дистанционного обслуживания и учебных онлайн-сервисов для регулярного общения с самой молодой группой

клиентов (рис. 4). Например, один из них полностью перевел программу обучения финансовым технологиям в онлайн и подключился к блокчейн-платформе авиакомпаний для автоматизации расчетов, предоставив клиентам возможность мгновенно оплачивать билеты и другие услуги. Затем организовал трехмесячный бесплатный онлайн-курс по инновационным финансовым технологиям, ИИ-банкингу, разработке IT-экосистем и т. д. Слушатели курса получили представление о возможностях соответствующих приложений, созданных крупными технологическими компаниями. Помимо образовательных инициатив отметим публикацию карты «Посткарантинный туризм в 2020 г.».

С расширением масштабов пандемии значимость технологического развития возросла. Один из российских государственных банков принял решение об использовании робототехники как ключевой технологии и активизировал создание автоматизированных сервисов. С конца сентября 2020 г. во вновь открываемых «phygital»-отделениях установили банкоматы с обновленной системой биометрии, включая функцию распознавания лиц, благодаря чему клиенты получили возможность обслуживания без паспортов.

В рамках изменения бизнес-стратегии иностранный банк в начале октября 2020 г. запустил проект «Будущее

Рис. 3. Поддержка клиентов и общества



Рис. 4. Автоматизация и удаленное предоставление банковских услуг



работы» для разработки и внедрения оптимальных форматов удаленной занятости. Ставилась задача найти оптимальный баланс между гибкими формами организации деятельности и удовлетворенностью работников. Проект охватил более 5000 сотрудников (при общей численности персонала 9000 человек). Наконец, отметили организацию бесплатного учебного курса «Стать предпринимателем» для молодых людей в возрасте 14–25 лет, планирующих начать собственное дело.

Этап 4. Расширение цифровизации и совершенствование бизнес-стратегий

Активная разработка инновационных сервисов продолжилась и в последний анализируемый период пандемии (ноябрь 2020 г. – октябрь 2022 г.) (рис. 5). Внедрены новые виды робототехники: робот-собака для изучения поведения роботов и «когнитивный агропилот» — авто-

номная система управления сельскохозяйственной техникой. Государственный банк расширил свою инициативу «Персональные цифровые сертификаты», запустив в начале ноября 2020 г. программы углубленного обучения специалистов по интернет-маркетингу, программированию, машинному обучению и теории ИИ. В конце того же месяца было внедрено одно из первых решений на российском рынке по оплате счетов со смартфона по QR-коду под управлением telegram-бота, адресованное малому и среднему бизнесу. Совместно с вещательными и медийными компаниями организована серия онлайн-лекций на разные темы (кино, мода, экология, красота) для клиентов, желающих учиться дома (начало декабря 2020 г.). Каждая тематическая программа включала три интерактивные лекции (на платформе ZOOM). Был представлен первый робот для дезинфекции помещений, получивший признание Международной федера-

Рис. 5. Мероприятия в рамках стратегий устойчивого развития



ции робототехники (International Federation of Robotics) как одна из ключевых в мире разработок сервисных роботов⁵ (середина декабря 2020 г.).

Затем банк объявил о планах дальнейшего развития облачных медицинских сервисов, включая разработку единой экосистемы на основе ИИ. Внедрив несколько блокчейн-приложений, он стал первым из российских финансовых учреждений, подключившихся к платформе Федеральной налоговой службы. С конца декабря 2020 г. действует облачная блокчейн-платформа «зеленой» сертификации для проверки источников происхождения энергии, направленная на развитие возобновляемой энергетики. В рамках социальной поддержки один из обследованных банков в середине января 2021 г. внедрил аналитический алгоритм, способный диагностировать COVID-19 по кашлю, а также запустил новые общедоступные бесплатные трехмесячные IT-курсы.

Наряду с развитием технологий изменились и бизнес-стратегии рассматриваемых организаций. Государственный банк реализовал проект браузерной игры с использованием 12 языков программирования для найма IT-персонала, интегрирующий игровые, образовательные и HR-инициативы. В ходе игры кандидаты писали код, который система автоматически анализировала и на этой основе оценивала соискателей. Был также введен ежегодный «День здоровья» и в партнерстве с Google инициирована программа обучения предпринимателей (март 2021 г.). Решения для здравоохранения на основе ИИ нацелены на выявление очагов пневмонии в легких по рентгеновским снимкам, с последующей приоритизацией пациентов на основе модели, оценивающей риск тяжелых симптомов после госпитализации (июль 2021 г.).

С началом пандемии увеличилась нагрузка на банковские кол-центры, которые стали ежемесячно обрабатывать свыше 20 миллионов телефонных звонков от розничных клиентов. Решением стало разделение труда на основе автоматизации — на стандартные вопросы отвечает голосовой бот, а сотрудники подключаются только в сложных, нестандартных ситуациях.

Крупнейший государственный банк продолжает внедрять все больше предиктивных сценариев поддержки клиентов, включая голосовых и чат-ботов. Разработанные им новые цифровые технологии уже практикуются в ряде медицинских учреждений. Совместно с российским медицинским вузом разработана программа обучения и повышения квалификации врачей, унифицирован подход к взаимодействию с пациентами в телемедицине (октябрь 2021 г.). Один из частных банков запустил в конце декабря 2021 г. комплексное сервисное приложение для поездок в условиях COVID-19, с помощью которого оформляются ПЦР-тесты, справки и QR-коды о вакцинации и наличии антител. В середине февраля 2022 г. клиенты получили возможность самостоятельно оформлять получение платежных карт.

Обсуждение и выводы

По данным Ernst & Young, в 2019 г. уровень использования финансовых технологий в России (82%) был одним из самых высоких в мире (EY, 2019). Российские банки создали инфраструктуру для сотрудничества с наиболее активными инновационными игроками, такими, как финтех-стартапы. До недавнего времени прибыльность подобных инвестиций в стране опережала соответствующие международные показатели.

В статье проанализировано внедрение высокотехнологичных услуг тремя крупными российскими банками с начала пандемии COVID-19 в 2020 г. Мы исходили из того, что введенные ограничения способствовали расширению предложения инновационных цифровых услуг. Особый интерес вызвала связь с пандемией, значительно нарушившая традиционные бизнес-модели. Оценивалось, насколько банки реализовали свой опыт в области цифровых технологий для разработки и предложения новых высокотехнологичных услуг. В течение периода наблюдения все рассмотренные организации активно разрабатывали технологии для совершенствования сервисов, предлагавшихся до пандемии, и внедряли новые. Расширилось предложение онлайн-услуг, в том числе для клиентов, которые скептически относились к интернет-банкингу. Внедрены цифровые средства обработки данных, например, для выявления мошенничества. Перечисленные инструменты автоматизации оптимизируют коммуникацию с клиентами, прежде всего через чат-боты.

Появились приложения на основе геймификации, облегчающие отбор соискателей. Первым из них стала игра (доступная для загрузки на сайте банка), в которой участники знакомились с правилами поведения во время пандемии. Банк воспользовался опытом геймификации, накопленным в ходе привлечения клиентов и найма персонала. Особый интерес представляет использование финансовыми организациями ИИ в медицинских приложениях. От активного участия потребителей прежде всего выигрывают онлайн-сервисы.

Прогнозирование заболеваемости COVID путем проверки симптомов пользователей или анализа загруженных ими компьютерных томограмм на основе ИИ снижает нагрузку на медицинские организации. Совместно с внешними разработчиками медицинской техники банки создали инструменты для широкого спектра задач от ранней диагностики до лечения. Алгоритмы распознавания кашля основаны на тех же платформах, что и удаленная идентификация по голосу. Иными словами, банки обладали всеми необходимыми средствами для реализации соответствующего функционала — платформой, квалифицированными специалистами и клиентской базой. Активизация участия в образовательных онлайн-программах позволила финансовым организациям предложить адресный контент более широкой аудитории. Спрос на онлайн-сервисы был особенно высоким во время карантинов. В

⁵ <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>, дата обращения 17.11.2022.

ряде случаев они оказались полезны для государственной системы образования, столкнувшейся с проблемами при переходе на онлайн-обучение, облегчили отбор соискателей в финансовой сфере и повысили эффективность обучения на рабочих местах.

Главным каналом коммуникации с розничными клиентами стали чат-боты. В дальнейшем банки, вероятно, откажутся от мобильных приложений и перейдут на унифицированные версии веб-сайтов, что высвободило бы часть IT-специалистов. Однако пандемия замедлила этот процесс из-за снижения финансовой активности, падения доходов и общей неопределенности. Сохранение лояльности клиентов и персонализация предоставления услуг с помощью мобильных приложений оказались более предпочтительным подходом к удаленному обслуживанию, чем клиент-ориентированные форматы общения, практиковавшиеся ранее.

Опыт, накопленный благодаря инвестициям в цифровизацию, послужил для разработки новых услуг, позволивших банкам продолжать работу в условиях карантина. С помощью цифровых решений они привлекают преимущества за счет существенного повышения открытости своих инновационных экосистем. Облегчилась интеграция технологий, разработанных

партнерами: от блокчейн-инструментов, предлагаемых налоговыми органами, до специализированных торговых платформ.

Наши наблюдения показали, что, помимо расширения сервисов в рамках своей традиционной деятельности, под влиянием пандемии банки начали предлагать нетипичные для них услуги. Они располагают стратегическими активами для активизации финансовых инноваций за счет трансфера знаний и технологий из других отраслей.

Наши результаты не дают полного представления о реагировании российского банковского сектора на пандемию, поскольку наш анализ ограничился лишь тремя его крупными представителями. Кроме того, исследование может отражать некоторый положительный «перекося» официальных сообщений, нацеленных на укрепление репутации финансовых учреждений в глазах клиентов и инвесторов (Ageeva et al., 2020). В ходе дальнейшего изучения затронутой темы выборка может быть расширена, в том числе за счет банков из других стран.

Статья подготовлена в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.

Библиография

- Adamson R.E. (1952) Functional fixedness as related to problem solving: A repetition of three experiments. *Journal of Experimental Psychology*, 44(4), 288–291. <https://doi.org/10.1037/h0062487>
- Adamson R.E., Taylor D.W. (1954) Functional fixedness as related to elapsed time and to set. *Journal of Experimental Psychology*, 47(2), 122–126. <https://doi.org/10.1037/h0057297>
- Ageeva E., Foroudi P., Melewar T.C., Nguyen B., Dennis C. (2020) A holistic framework of corporate website favourability. *Corporate Reputation Review*, 23, 201–214. <https://doi.org/10.1057/s41299-019-00079-9>
- Aitken M., Toreini E., Carmichael P., Coopamootoo K., Elliott K., Van Moorsel A. (2020) Establishing a social licence for Financial Technology: Reflections on the role of the private sector in pursuing ethical data practices. *Big Data & Society*, 7(1), <https://doi.org/10.1177/2053951720908892>
- Arner D.W., Avgouleas E., Gibson E. (2020) *Financial Stability, Resolution of Systemic Banking Crises and COVID-19: Toward an Appropriate Role for Public Support and Bailouts* (University of Hong Kong Faculty of Law Research Paper No. 2020/044). <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3664523>
- Barras R. (1986) New Technology and the New Services: Towards an Innovation Strategy for Europe. *Futures*, 18(6), 748–772, [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(86\)90125-4](https://doi.org/10.1016/0016-3287(86)90125-4)
- Barras R. (1990) Interactive innovation in financial and business services: The vanguard of the service revolution. *Research Policy*, 19(3), 215–237. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(90\)90037-7](https://doi.org/10.1016/0048-7333(90)90037-7)
- Beijnen C., Bolt W. (2009) Size matters: Economies of scale in European payments processing. *Journal of Banking & Finance*, 33(2), 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2008.07.014>
- Berg G., Schrader J. (2012) Access to credit, natural disasters, and relationship lending. *Journal of Financial Intermediation*, 21(4), 549–568. <https://doi.org/10.1016/j.jfi.2012.05.003>
- Bessant J., Rush H., Trifilova A. (2015) Crisis-driven innovation: The case of humanitarian innovation. *International Journal of Innovation Management*, 19(6), 1540014. <https://doi.org/10.1142/S1363919615400149>
- Bhagwati J.N. (1984) Splintering and Disembodiment of Services and Developing Nations. *The World Economy*, 7(2), 133–144. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.1984.tb00265.x>
- Bhattacharjee A. (2002) Individual trust in online firms: Scale development and initial test. *Journal of Management Information Systems*, 19(1), 211–241. <https://doi.org/10.1080/07421222.2002.11045715>
- Buehler R., Dietz M., Fumagalli F., Levy C., Lund S., White O., Windhagen E. (2020) *Banking System resilience in the Time of COVID-19*. McKinsey & Company Financial Services Insights. <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/banking-system-resilience-in-the-time-of-covid-19>, дата обращения 07.11.2022.
- Christensen C. (1997) *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Creswell J., Poth C. (2017) *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing among Five Approaches*, London: Sage.
- De Mel S., McKenzie D., Woodruff C. (2010) Who are the microenterprise owners? Evidence from Sri Lanka on Tokman versus De Soto (World Bank Policy Research Working Paper No. 4635). <https://ssrn.com/abstract=1149568>, дата обращения 19.02.2023.
- Desjardine M., Bansal P., Yang Y. (2019) Bouncing back: Building resilience through social and environmental practices in the context of the 2008 global financial crisis. *Journal of Management*, 45(4), 1434–1460. <https://doi.org/10.1177/0149206317708854>
- EY (2019) *Global FinTech Adoption Index 2019*. https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/banking-and-capital-markets/ey-global-fintech-adoption-index.pdf, дата обращения 24.01.2023.
- Fan H., Lai E.L.C., Li Y.A. (2015) Credit constraints, quality, and export prices: Theory and evidence from China. *Journal of Comparative Economics*, 43(2), 390–416. <https://doi.org/10.1016/j.jce.2015.02.007>
- Flögel F., Gärtner S. (2020) The COVID-19 Pandemic and Relationship Banking in Germany: Will Regional Banks Cushion an Economic Decline or is a Banking Crisis Looming? *Journal of Economic and Human Geography*, 111(3), 416–433. <https://doi.org/10.1111/tesg.12440>
- Franke N., Shah S. (2003) How communities support innovative activities: An exploration of assistance and sharing among end-users. *Research Policy*, 32(1), 157–178. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00006-9](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00006-9)

- Funke M., Tsang A. (2020) The People's bank of China's response to the coronavirus pandemic: A quantitative assessment. *Economic Modelling*, 93, 465–473. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.08.018>
- Golafshani N. (2003) Understanding Reliability and Validity in Qualitative Research. *The Qualitative Report*, 8(4), 597–606. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2003.1870>
- Gümüşay A.A., Harrison P. (2020) Never let a crisis go to waste': Entrepreneurship in the age of coronavirus. *LSE Business Review*, 26.06.2020. <https://blogs.lse.ac.uk/businessreview/2020/06/26/never-let-a-crisis-go-to-waste-entrepreneurship-in-the-age-of-coronavirus/>, дата обращения 07.11.2022.
- Hartmann D., Guevara M.R., Jara-Figueroa C., Aristaran M., Hidalgo C.A. (2017) Linking economic complexity, institutions, and income inequality. *World Development*, 93, 75–93. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.020>
- Hosono K., Miyakawa D., Uchino T., Hazama M., Ono A., Uchida H., Uesugi I. (2016) Natural Disasters, Damage to Banks, and Firm Investment. *International Economic Review*, 57(4), 1335–1370. <https://www.jstor.org/stable/44280155>
- Karjaluo H., Mattila M., Pentto T. (2002) Factors underlying attitude formation towards online banking in Finland. *International Journal of Bank Marketing*, 20(6), 261–272. <https://doi.org/10.1108/02652320210446724>
- Kwong C.C., Cheung C.W., Manzoor H., Rashid M.U. (2019) Entrepreneurship through bricolage: A study of displaced entrepreneurship at times of war and conflict. *Entrepreneurship and Regional Development*, 31(5–6), 435–455. <https://doi.org/10.1080/08985626.2018.1541592>
- Lapatinas A. (2019) The effect of the Internet on economic sophistication: An empirical analysis. *Economics Letters*, 174, 35–38. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.10.013>
- Lewis J. (2020) COVID-19 Insights – Emerging Risks: Financial services sector is having to adapt rapidly, *KPMG Insights*, April 2020. <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2020/04/covid-19-insights-emerging-risks.html>, дата обращения 07.11.2022.
- Lincoln Y.S., Guba E.G. (1985) *Naturalistic Inquiry*, Newbury Park, CA: Sage Publication.
- Lüthje C. (2003) *Customers as co-inventors: An empirical analysis of the antecedents of customer-driven innovations in the field of medical equipment*. Paper presented at the 32th EMAC Conference, Glasgow.
- Lüthje C. (2004) Characteristics of innovating users in a consumer goods field: An empirical study of sport-related product consumers, *Technovation*, 24(9), 683–695. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(02\)00150-5](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(02)00150-5)
- Mainrai G., Mohania S. (2020) Post-Merger Changes in Public Sector Banks: A Case of National Bank Ltd. and Bank of Gujarat Ltd. *Prabandhan: Indian Journal of Management*, 13(4), 57–64. <http://dx.doi.org/10.17010/pijom%2F2020%2Fv13i4%2F151826>
- McCarty B. (2020) Managing customer relationships in the time of COVID-19. BAI Banking Strategies. <https://www.bai.org/banking-strategies/article-detail/managing-customer-relationships-in-the-time-of-covid-19/>, дата обращения 07.11.2022.
- McKinsey (2021) *Beyond digital transformations: Modernizing core technology for the AI bank of the future*. <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/beyond-digital-transformations-modernizing-core-technology-for-the-ai-bank-of-the-future>, дата обращения 07.11.2022.
- Morrison P.D., Roberts J.H., Von Hippel E. (2000) Determinants of User Innovation and Innovation Sharing in a Local Market. *Management Science*, 46(12), 1513–1527. <https://doi.org/10.1287/mnsc.46.12.1513.12076>
- Nguyen C.P., Schinckus C., Su T.D. (2020) The drivers of economic complexity: International evidence from financial development and patents. *International Economics*, 164, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2020.09.004>
- Nguyen C.P., Su T.D. (2021) Financing the economy: The multidimensional influences of financial development on economic complexity. *Journal of International Development*, 33(4), 644–684. <https://doi.org/10.1002/jid.3541>
- Nummela N., Paavilainen-Mäntymäki E., Harikkala-Laihin R., Raitis J. (2020) When All Doors Close: Implications of COVID-19 for Cosmopolitan Entrepreneurs. *International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship*, 38(8), 711–717. <https://doi.org/10.1177/0266242620954127>
- Pikkarainen T., Pikkarainen K., Karjaluo H., Pahnla S. (2004) Consumer acceptance of online banking: An extension of the technology acceptance model. *Internet Research*, 14(3), 224–235. <https://doi.org/10.1108/10662240410542652>
- Ramalingam B., Scriven K., Foley C. (2009) *Innovations in international humanitarian action*, London: ALNAP. <https://www.calpnetwork.org/wp-content/uploads/2020/01/8rhach3-2.pdf>, дата обращения 07.11.2022.
- Riege A.M. (2003) Validity and Reliability Tests in Case Study Research: A Literature Review with “Hands-On” Applications for Each Research Phase. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 6(2), 75–86. <http://dx.doi.org/10.1108/13522750310470055>
- Schmiedel H., Malkamäki M., Tarkka J. (2006) Economies of scale and technological development in securities depository and settlement systems. *Journal of Banking & Finance*, 30(6), 1783–1806. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2005.09.003>
- Shabbir A., Shabir M., Javed A.R., Chakraborty C., Rizwan M. (2022) Suspicious transaction detection in banking cyber–physical systems. *Computers & Electrical Engineering*, 97, 107596. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107596>
- Tacchella A., Cristelli M., Caldarelli G., Gabrielli A., Pietronero L. (2013) Economic complexity: Conceptual grounding of a new metrics for global competitiveness. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 37(8), 1683–1691. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2013.04.006>
- Urban G.L., Von Hippel E. (1988) Lead user analyses for the development of new industrial products. *Management Science*, 34(5), 569–582. <https://doi.org/10.1287/mnsc.34.5.569>
- Vessey S., Ott C., Dimidschstein F. (2020) *How banks can strategically respond to Covid-19 challenges*. <https://www.consultancy.eu/news/4096/how-banks-can-strategically-respond-to-covid-19-challenges>, дата обращения 07.11.2022.
- Von Hippel E. (1986) Lead Users: A Source of Novel Product Concepts. *Management Science*, 32(7), 791–805. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.791>
- Von Hippel E. (2005) Democratizing innovation: The evolving phenomenon of user innovation. *Journal für Betriebswirtschaft*, 55, 63–78. <https://doi.org/10.1007/s11301-004-0002-8>
- Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., Kinzig A. (2004) Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. *Ecology and Society* 9(2), 5. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>
- Womack J., Jones D. (2005) *Lean Solutions: How Companies and Customers Can Create Value and Wealth Together*, New York: Free Press.
- World Economic Forum (2020) *The Global COVID-19 Fintech Market Rapid Assessment Study*, Geneva: World Economic Forum http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Covid19_FinTech_Market_Rapid_Assessment_Study_2020.pdf, дата обращения 07.11.2022.
- Yin R.K. (2009) *Case study research: Design and methods*, London: Sage.

Новая стратегия высокотехнологичных компаний – скрытые источники роста

Мария Кокорева

Доцент, Школа финансов; научный сотрудник, Лаборатория корпоративных финансов, mskokoreva@gmail.com

Анастасия Степанова

Доцент, Школа финансов; научный сотрудник, Лаборатория корпоративных финансов, anastasianstepanova@gmail.com

Кирилл Повх

Стажер-исследователь, Лаборатория корпоративных финансов, kirillpovh@gmail.com

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 109028, г. Москва, Покровский бульвар, 11

Аннотация

Наблюдаемый в настоящее время глобальный рост доли фирм с нулевым долгом наиболее выражен в отраслях, связанных с производством программного обеспечения, фармацевтической и биотехнологической продукции. Причины столь консервативной долговой политики в них до конца не раскрыты. Вопрос состоит в том, как эти компании сохраняют эффективность, не прибегая к заемным средствам и сопутствующим налоговым вычетам (налоговому щиту). На материале американских фирм из индекса RUSSELL 3000 за 12 лет авторы показывают, каким образом высокотехнологичные фирмы обходятся без заемного финансирования, и прослеживают факторы нулевой долговой нагрузки. Разделение выборки на подгруппы высокотехнологичных и невысокотехнологичных компаний продемонстрировало

разницу в мотивах отказа от долга компаний из передовых и традиционных секторов.

Традиционные детерминанты структуры капитала не могут полностью объяснить, почему сектор хайтека предпочитает бездолговую политику. В ходе исследования установлено, что такие компании чаще встречаются с финансовыми ограничениями, чем невысокотехнологичные, а в отсутствие таких ограничений могут избегать заемных средств ради сохранения гибкости. К политике нулевого долга их подталкивает также мотив «окапывания» менеджмента (*management entrenchment*). Результаты могут оказаться полезными для высшего корпоративного руководства и инвесторов, поскольку раскрывают мотивы выбора модели финансирования технологических компаний.

Ключевые слова: структура капитала; финансовый рычаг; финансовая гибкость; финансовые ограничения; нулевой долг; высокотехнологичные компании; окапывание менеджмента

Цитирование: Kokoreva M., Stepanova A., Povkh K. (2023) The New Strategy of High-Tech Companies – Hidden Sources of Growth. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 18–32. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.18.32

The New Strategy of High-Tech Companies – Hidden Sources of Growth

Maria Kokoreva

Associate Professor, School of Finance; and Research Fellow, Corporate Finance Center, mskokoreva@gmail.com

Anastasia Stepanova

Associate Professor, School of Finance; and Research Fellow, Corporate Finance Center, anastasianstepanova@gmail.com

Kirill Povkh

Research Intern, Corporate Finance Center, kirillpovh@gmail.com

National Research University Higher School of Economics, 11, Pokrovsky boulevard, Moscow 109028, Russian Federation

Abstract

The recent increase in the share of zero-leverage firms is most pronounced in the Software and Services, Hardware Equipment, and Pharmaceutical and Biotechnical industries. The reasons for these industries' conservative debt policies are not fully disclosed. How companies in technological sectors manage to perform well attracting no debt and losing debt tax shield benefits is a mystery. This study aims to determine why high-tech firms are less likely to have debt in the capital structure. On the basis of a sample of US-based firms from the RUSSELL 3000 index for 12 years, we show the factors leading to a zero-debt structure. After dividing the sample into high-tech and non-high-tech subsamples, we demonstrate

the gap between zero-debt motives for technological and traditional sectors. We show that the common determinants of corporate structure cannot fully explain why high-tech firms choose a zero-debt policy. Testing the possible motives of debt financing avoidance, we find that high-tech firms are more financially constrained than non-high-tech firms. We further show that unconstrained high-tech firms may avoid debt to maintain their financial flexibility. On top of that, managerial entrenchment also adds to the zero-leverage choice of high-tech companies. The study results are helpful for executive management teams and investors since they shed light on the specific style of financing choice for technological firms.

Keywords: capital structure; leverage; financial flexibility; financial constraint; zero-leverage; zero debt; high-tech firm; managerial entrenchment

Citation: Kokoreva M., Stepanova A., Povkh K. (2023) The New Strategy of High-Tech Companies – Hidden Sources of Growth. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 18–32. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.18.32

За последние три десятилетия доля компаний, не привлекающих заемный капитал, увеличилась примерно с 8% в 1988 г. до 30% в 2013 г. (Bessler et al., 2013). С 1996 по 2015 г. более 34% компаний в тот или иной период имели нулевой долг (Lotfaliei, Lundberg, 2019). Консервативной долговой политики придерживаются игроки как на развитых, так и на развивающихся рынках (Cui, 2020; Ghoul et al., 2018; Yasmin, Rashid, 2019). В существующих исследованиях отмечается, что, хотя принадлежность фирм с нулевым долгом не ограничивается какими-то конкретными отраслями, максимальное число таких компаний сосредоточено в секторах информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) и здравоохранения (рис. 1).

Стабильный рост числа высокотехнологичных фирм в конце XX — начале XXI в. повлек за собой изменение структуры рынка. Успех таких компаний способствовал повышению исследовательского интереса к их организационному устройству и механизмам принятия решений. Поскольку решения, затрагивающие структуру капитала, носят критически важный для компаний характер, изучения заслуживают факторы, определяющие соотношение заемного и собственного капитала в хайтеке.

Отраслевой анализ выявил максимальные доли компаний с нулевым долгом в фармацевтической и биотехнологической отраслях, а также среди разработчиков программного и аппаратного обеспечения (по состоя-

Рис. 1. Доля фирм с нулевым долгом в период с 2004 по 2015 гг.



нию на 2016 г., табл. 1). Концентрация фирм с нулевым долгом в хайтеке объясняется и эмпирически. В случае банкротства производителей узкоспециализированной продукции с большими нематериальными активами ущерб для персонала, поставщиков, потенциальных кредиторов и покупателей будет более значительным.

Хотя за последние десятилетия предпринимались неоднократные попытки расширить теоретическую базу определения оптимальной структуры капитала, загадка нулевого долга пока не получила исчерпывающей интерпретации. Классические подходы к описанию структуры капитала не объясняют растущую склонность фирм к политике нулевого долга (Graham, 2003). Выбор подобной стратегии обусловлен множеством факторов, включая финансовые ограничения (Devos et al., 2012), потребность в гибкости (DeAngelo et al., 2011), агентские проблемы (Butt, 2020) и сигнальные теории (Miglo, 2020). Несмотря на убедительные подступы к объяснению этого феномена, сохраняется значительный разрыв между теоретическими и эмпирическими данными для разных секторов.

Учитывая специфику хайтека и уровень концентрации компаний с нулевым долгом в соответствующих отраслях, одна из задач настоящей статьи состоит в том, чтобы выявить различия в мотивации к проведению политики нулевого долга между высокотехнологичными и невысокотехнологичными фирмами. Исследователи структуры капитала в секторе хайтека пока не пришли к единому мнению о причинах нежелания фирм привлекать заемные средства (Coleman, Robb, 2012; Aghion et al., 2014). Наш вклад в тему заключается в выявлении указанных мотивов и в комплексном анализе различной структуры капитала высокотехнологичных фирм.

Другой, не упомянутой выше уникальной характеристикой хайтека служит его географическая концентрация. В США высокотехнологичные фирмы сосредоточены преимущественно в четырех кластерах (Силиконовая долина, Сан-Диего, Сиэтл и Вашингтон, округ Колумбия), что делает экономику страны наибо-

Табл. 1. Распределение фирм с нулевым долгом по секторам экономики США (%)	
Сектор	Доля фирм с нулевым долгом (%)
Фармацевтика, биотехнологии и науки о жизни	37
Программное обеспечение и услуги	36
Производство компьютеров и электронных компонентов	28
Розничная торговля	26
Полупроводники и полупроводниковое оборудование	25
Медицинское оборудование и услуги	22
Автомобили и компоненты	21
Потребительские товары длительного пользования и одежда	21
Услуги для бизнеса и профессиональные услуги	17
Потребительские услуги	16
Транспорт	14
Производственное оборудование	11
Телекоммуникационные услуги	8
Продукты питания, напитки и табак	8
Энергетика	7
Производство товаров для дома и личного пользования	7
Медиа сектор	7
Производство материалов	6
Торговля продуктами питания	6
Источник: Capital IQ и расчеты авторов.	

лее удачной площадкой для изучения высокотехнологичных компаний. Анализ игроков единого национального рынка позволяет также выявить детерминанты нулевого долга на корпоративном и отраслевом уровне без страновых и культурных искажений (El Ghoul et al., 2018).

Ключевыми могут быть названы следующие результаты исследования. Во-первых, традиционные детерминанты структуры капитала не объясняют высокую долю бездолговых компаний в секторе хайтека. Во-вторых, политика нулевого долга часто выступает результатом финансовых ограничений, а не сознательным выбором высокотехнологичных фирм. В-третьих, однако, такие фирмы могут предпочитать консервативную долговую стратегию ради сохранения финансовой гибкости, а значит, с ростом их доли интерес к рынку корпоративного долга будет снижаться. Высокотехнологичные компании с высокой долей собственности инсайдеров зачастую выбирают политику нулевого долга в силу «окапывания» менеджмента (*management entrenchment*).

Вклад статьи состоит в детальном сравнительном анализе бездолговой политики высокотехнологичных фирм. Существующие исследования сфокусированы на различных детерминантах для выборки либо фирм с нулевым долгом в США (Dang, 2013) и на других развитых рынках (Bessler et al., 2013), либо основанной на некоем критерии отбора, например, статусе выплаты дивидендов (Strebulaev, Yang, 2013). Напротив, в нашей статье компании хайтека рассматриваются отдельно и сравниваются с игроками традиционных секторов экономики, чтобы глубже понять мотивы решений, связанных со структурой капитала в наиболее капитализированных отраслях экономики США. Проанализированы также некоторые возможные мотивы выбора политики нулевого долга (финансовые ограничения, гибкость, «окапывание» менеджмента), расширяющие наши представления о финансовой стратегии высокотехнологичных фирм.

Доля компаний, придерживающихся консервативной долговой политики, растет и на развивающихся рынках капитала (Machokoto et al., 2021; Ghoul et al., 2018). Анализ фирм из 21 развивающейся страны (в Азии, Южной и Центральной Америке, Восточной Европе и Африке) показывает, что такая ориентация, как правило, обусловлена соображениями финансовой гибкости, за которыми следует мотив финансовых ограничений (Iliasov, Kokoreva, 2018). К этому располагает специфика развивающихся рынков, в частности высокие барьеры, затрудняющие доступ к капиталу (информационная асимметрия, высокая доля государственной собственности, наличие пирамидальных структур собственности) (Bekaert, Harvey, 2003; Buchanan et al., 2011; Sprenger, Lazareva, 2021). Хотя исследования подтверждают актуальность факторов финансовых ограничений и гибкости для игроков с развивающихся рынков, о детерминантах выбора структуры капитала известно намного меньше. Задача дополнительно усложняется скромным объемом доступных данных для анализа деятельности высокотехнологичных компаний на развивающихся рынках.

Полученные выводы могут оказаться полезными для оценки ситуации в хайтеке развивающихся стран как минимум по двум причинам. Анализ политики нулевого долга на таких рынках показал, что ее выбор обусловлен в первую очередь высокой степенью неопределенности результатов деятельности фирм (Iliasov, Kokoreva, 2018), в особенности высокотехнологичных. Кроме того, макроэкономические параметры здесь менее значимы, чем внутрикорпоративные факторы. Появляется возможность оценить, насколько анализ развитых рынков капитала будет актуален для развивающихся стран, и на этой основе формировать стратегии выбора оптимальной структуры капитала технологических компаний.

Обзор литературы и разработка гипотез

Несмотря на высокую разработанность темы выбора оптимальной структуры капитала, проблема нулевого долга пока не получила исчерпывающего обоснования. Стандартные теории структуры капитала (теория компромисса, теория иерархии) не объясняют, почему многие фирмы выбирают бездолговую политику (Myers, Majluf, 1984; Fisher, 1933). В исследовании (Graham, 2003) описаны некоторые факторы, компенсирующие преимущества налогового щита и порождающие «загадку отказа от заемного капитала» и консервативный подход к формированию структуры капитала. Позднее эта загадка была проанализирована в исследовании (Minton, Wruck, 2001), авторы которого отметили широкое распространение консервативной финансовой стратегии, не ограничивающееся отдельными странами или отраслями.

Поскольку рост доли фирм, не прибегающих к заемному капиталу, сопровождается увеличением сектора хайтека (Bessler et al., 2013), последний заслуживает особого внимания. Высокотехнологичные компании отличаются от традиционных по ряду характеристик. Так, они активнее занимаются исследованиями и разработками (ИиР), сопряженными с повышенными рисками и неопределенностью результатов. К этому добавляется проблема информационной асимметрии: инсайдеры могут точнее оценить вероятность успеха фирмы, и чем специфичнее продукция высокотехнологичной компании, тем сложнее внешним инвесторам прогнозировать ее финансовые перспективы. К тому же такие фирмы в среднем моложе и меньше по размеру (Talberg et al., 2008), что делает участие в их IPO более рискованным (Bessler et al., 2013). В результате премии за риск при использовании ими внешнего финансирования оказываются выше (Hart, Moore, 1994; Rampini, Viswanathan, 2010). Мы сосредоточим свое внимание на факторах отказа от долга высокотехнологичными фирмами.

Вклад нашего исследования состоит в выявлении различий в выборе структуры капитала между высокотехнологичными и невысокотехнологичными фирмами на уровне детерминант и теорий. Его основной фокус направлен на традиционные характеристики структуры капитала (размер и доходность, доля материальных активов, возможности роста) и на три возможных тео-

ретических объяснения политики нулевого долга (финансовые ограничения, финансовая гибкость и «окапывание» менеджмента).

Традиционные детерминанты структуры капитала как факторы бездолговой политики

В предшествующих публикациях выявлены ключевые факторы, определяющие соотношение заемного и собственного капитала компаний (Rajan, Zingales, 1995; Hang et al., 2018). В настоящем исследовании основное внимание уделено четырем из них: размеру и доходности капитала, доле материальных активов и потенциалу роста компании. Назовем их традиционными детерминантами.

Установлена отрицательная связь *размера капитала* фирмы с вероятностью выбора политики нулевого долга (Hadlock, Pierce 2010). Компании с большими совокупными активами имеют лучшую репутацию и с большей вероятностью могут рассчитывать на выгодные условия кредитования (Saona et al., 2020). Игроки сектора хайтека обычно имеют более скромные активы, чем компании традиционных отраслей.

Материальные активы позволяют фирмам снизить требуемые затраты на заемный капитал, поскольку могут служить залогом для банковских кредитов (Molina, 2005), а в случае дефолта кредитору будет легче их реализовать. Следовательно, *доля материальных активов* должна быть положительно связана с вероятностью обращения к заемным средствам. Несмотря на рост предложения кредитов, никаких доказательств влияния доли материальных активов на спрос не найдено, что говорит о снижении склонности к бездолговой стратегии (Morais et al., 2020). По нашему мнению, у высокотехнологичных фирм меньше материальных активов, чем у невысокотехнологичных, что повышает вероятность использования ими политики нулевого долга.

В соответствии с теорией иерархии более прибыльные фирмы менее склонны использовать заемное финансирование, поскольку располагают достаточным объемом собственных средств. С другой стороны, высокая доходность капитала компании располагает банки к увеличению размера кредитов (Morais et al., 2020). Поэтому влияние *доходности капитала* на выбор политики нулевого долга остается неопределенным. Невозможно с уверенностью утверждать, являются ли высокотехнологичные фирмы более или менее прибыльными, чем невысокотехнологичные. Впрочем, хайтек зачастую в целом менее стабилен, что снижает среднее значение для всего сектора.

Отношение рыночной стоимости собственного капитала к балансовой служит индикатором ожиданий инвесторов в отношении *возможностей роста* фирмы. Высокое значение коэффициента означает, что инвесторы уверены в ее перспективах. Потенциал компании напрямую связан с финансовыми ресурсами, в которых она нуждается. Согласно теории иерархии, потребности компаний с высоким потенциалом в инвестициях превышают нераспределенную прибыль, т. е. им необходимы внешние источники финансирования, повышающие долговую нагрузку. Однако в условиях значитель-

ной информационной асимметрии, особенно характерной для хайтека, инвесторы, не располагающие достаточными знаниями о капитализации и возможностях роста высокотехнологичной фирмы, требуют от нее более высокой доходности (Myers, Majluf, 1984), которая влечет за собой снижение доли заемного капитала.

Как полагают сторонники теории компромисса, долговая нагрузка компаний с высокими возможностями роста оказывается ниже ввиду высоких издержек финансовой неустойчивости. Таким образом, разные теории структуры капитала по-разному трактуют роль потенциала роста компании в выборе консервативной долговой стратегии. Тем не менее эмпирические данные свидетельствуют, что доля заемного финансирования отрицательно связана с соотношением рыночной и балансовой стоимости (Frank, Goyal, 2009). Мы полагаем, что у высокотехнологичных фирм значение данного коэффициента в целом выше и они более склонны выбирать политику нулевого долга.

Подводя итог, можно сказать, что по крайней мере три из четырех традиционных детерминант структуры капитала, а именно его размер, доля материальных активов и возможности роста компании, могут положительно влиять на склонность высокотехнологичных фирм к бездолговой стратегии. Размер компаний хайтека и доля их материальных активов обычно ниже, чем в традиционных отраслях, что в целом повышает неопределенность и снижает уровень заемного финансирования, подталкивая к политике нулевого долга. На развитом рынке капитала потенциал роста может стимулировать заемное финансирование, тогда как высокая информационная асимметрия и премии за риски в развивающихся странах ведут к значительному удорожанию заемных средств, от которых компании предпочитают отказаться.

Таким образом, традиционные детерминанты структуры капитала актуальны как для высокотехнологичных, так и для невысокотехнологичных фирм. При этом игроки сектора хайтека менее склонны прибегать к заемному финансированию. Как следствие, наша первая гипотеза принимает следующий вид:

H1. В большинстве случаев вероятность выбора политики нулевого долга высокотехнологичными и невысокотехнологичными фирмами различна, и эта разница не полностью определяется традиционными детерминантами структуры капитала.

Наряду с этим есть основания полагать, что традиционные факторы не дают исчерпывающего объяснения разницы в числе высокотехнологичных и невысокотехнологичных фирм с нулевым долгом. Далее проанализирована мотивация компаний хайтека к выбору бездолговой стратегии.

Гипотеза финансовых ограничений

Для объяснения причин, по которым фирмы не пользуются заемным финансированием, применяется гипотеза финансовых ограничений, рассматривающая отказ от кредитов как следствие запретительно высокой стоимости их обслуживания. Хотя большинство исследователей признают значение данного фактора, консенсус

вокруг индикатора, который следует использовать для оценки финансовых ограничений, пока не сложился. Компании, испытывающие нехватку ресурсов, обычно не имеют кредитной истории и материальных активов, пригодных в качестве залога (Diamond, 1989). В исследовании (Eisfeldt, Rampini, 2009) проанализировано, насколько часто такие фирмы пользуются лизингом необходимых активов, а не внешним финансированием для их покупки. Как правило, на заемное финансирование они переходят, когда ослабевают ограничения и снижаются затраты на заемный капитал.

Фирмам, располагающим инвестиционными возможностями и вынужденным идти на значительные издержки при привлечении внешнего финансирования, приходится реинвестировать большую часть чистой прибыли. Такое отвлечение ресурсов ограничивает компании в выплате дивидендов или выкупе акций. Значение коэффициента удержания прибыли в сочетании с имеющимися инвестиционными возможностями рассматривается в работе (Korajczyk, Levy, 2002).

Другой показатель финансовых ограничений, индекс KZ (Kaplan, Zingales, 1997), назван по именам своих создателей — Стивена Каплана (Steven Kaplan) и Луиджи Зингалеса (Luigi Zingales). Он включает пять переменных: денежный поток, отношение рыночной стоимости собственного капитала к балансовой, уровень долговой нагрузки, дивиденды и денежные средства. Модернизированная версия индекса представлена в публикации (Hadlock, Pierce, 2010), где фирмы, испытывающие финансовые затруднения, характеризуются как небольшие молодые компании, имеющие ограниченный доступ к заемному финансированию или плохую репутацию. В более поздних исследованиях (Farre-Mensa, Ljungqvist, 2016) коэффициенты индекса SA (size-age index) использовались наравне с KZ.

Поскольку высокотехнологичные компании обычно моложе, меньше по размеру и располагают более скромными материальными активами, финансовые ограничения выступают важным фактором систематического предпочтения бездолговой политики (Talberg et al., 2008). Множество данных свидетельствуют о том, что в силу нематериального характера продукции деятельность в секторе хайтека сопряжена с более высокими рисками, увеличивающими неопределенность для потенциальных кредиторов (Coleman, Robb, 2012). Инновационная активность высокотехнологичных фирм повышает нестабильность денежных потоков вследствие значительной неопределенности результатов инвестиций. В конечном счете такие компании сталкиваются как с более высокой требуемой доходностью по заемному капиталу, так и с более высокой премией за риск, которую требуют акционеры. Для инновационных фирм финансовые ограничения означают потенциальные проблемы с привлечением капитала, особенно в периоды кризисов (Hall et al., 2016). В результате вторая гипотеза может быть сформулирована следующим образом:

Н2. Высокотехнологичные фирмы чаще сталкиваются с финансовыми ограничениями, чем невысокотехнологичные, что нередко склоняет их к бездолговой политике.

Можно предположить, что игроки сектора хайтека чаще сталкиваются с финансовыми ограничениями, и в этом заключается одна из причин более высокой доли фирм с нулевым долгом среди них. По нашему мнению, выбор структуры капитала компаниями, испытывающими и не испытывающими финансовых ограничений, обусловлен разными факторами, поэтому их следует анализировать отдельно.

Гипотеза финансовой гибкости

Фирмы, испытывающие финансовые ограничения, чаще придерживаются политики нулевого долга, чем те, кто с такими ограничениями не сталкивается (Devos et al., 2012; Dang, 2013; Cunha, Pollet, 2020). Если объяснить, почему финансово ограниченные фирмы не прибегают к заемному капиталу, достаточно просто, то понять мотивы компаний, не испытывающих таких ограничений и тем не менее сознательно отказывающихся от кредитов, — значительно сложнее (Bessler et al., 2013).

Другим объяснением выбора фирмами бездолговой стратегии служит гипотеза финансовой гибкости, понимаемой как способность компании реагировать на неблагоприятные рыночные условия для максимизации создаваемой стоимости. Подобный мотив, в отличие от финансовых ограничений, остается полностью на усмотрении самой фирмы. Пока компания не привлекает кредитов, она накапливает собственные средства, чтобы сохранить кредитоспособность для будущих инвестиционных проектов (Gamba, Triantis, 2008, Favara et al., 2021). Следовательно, в отличие от фирм, испытывающих финансовые ограничения, эти компании сохраняют политику нулевого долга из стратегических соображений — в интересах большей гибкости в будущем и сохранения кредитоспособности на случай ухудшения рыночной ситуации (Dang, 2013).

В исследовании (Bessler et al., 2013) финансовая гибкость определяется как способность фирмы реагировать на резкие изменения экономических условий и инвестиционных возможностей. Для хайтека этот фактор является более критичным, чем для традиционных отраслей. Иными словами, данный мотив характерен в первую очередь для фирм, обладающих потенциалом роста.

Хотя мотив финансовой гибкости при выборе политики нулевого долга изучен недостаточно, мы, в отличие от (Lundberg, Lotfaliei, 2020), считаем его жизненно важным для высокотехнологичных фирм. Хайтек развивается стремительно, и таким компаниям требуется гибкая инвестиционная стратегия. При этом финансовая гибкость выступает существенным фактором только для компаний, не испытывающих значительных финансовых ограничений. Тем самым третья гипотеза звучит следующим образом:

Н3. Финансовая гибкость является более важным мотивом отказа от долга для высокотехнологичных фирм, чем для невысокотехнологичных.

Гипотеза «окапывания» менеджмента

Еще одно возможное объяснение политики нулевого долга — гипотеза «окапывания» менеджмента (Strebulaeв, Yang, 2013), сторонники которой усматри-

вают положительную связь между таким подходом и уровнем долговой нагрузки. По мнению некоторых авторов, «окопавшиеся» менеджеры используют бездолговую стратегию для защиты своего человеческого капитала (Fama, 1980). Другие считают консервативную долговую политику инструментом, который позволяет руководству получать персональные выгоды за счет снижения денежных потоков, идущих на выплату процентов по кредитам (Stulz, 1990).

Одной из главных характеристик «окапывания» менеджмента служит высокая концентрация акций компании в руках генерального директора и других топ-менеджеров. В исследовании (Strebulaev, Yang, 2013) данная теория была проверена и подтверждена на материале американского бизнеса. Авторы выявили связь между нулевым долгом и слабостью механизмов корпоративного управления. Показано, что соответствующая политика более характерна для семейных компаний и фирм, значительная часть акций которых принадлежит генеральному директору, а также для тех, чьи директора дольше занимают свою должность, особенно если советы директоров компактны и подконтрольны. С учетом вышесказанного четвертая гипотеза принимает следующий вид:

Н4: «Окапывание» менеджмента высокотехнологичных фирм повышает вероятность выбора политики нулевого долга.

Как и авторы работы (Strebulaev, Yang, 2013), мы полагаем, что такая стратегия менеджмента выступает важным фактором бездолговой политики. Более того, по нашему мнению, хайтек в целом менее диверсифицирован, чем компании традиционных отраслей. В силу этого, а также аргументов, изложенных в исследовании (Ji et al., 2019), можно считать, что «окапывание» менеджмента существенно влияет на корпоративные решения.

Данные и методология

Выборка

Исследование опирается на финансовые данные из базы Bloomberg и нефинансовые — из Capital IQ за 2004–2015 г. Выборка охватывает крупные и средние фирмы, входящие в состав индекса RUSSEL 3000 (за исключением коммунальных и финансовых компаний, ввиду специфики их бизнес-моделей). В исходную выборку вошли 2189 фирм с данными за 2004 г. и 2242 фирмы с данными за 2015 г. На основе отраслевой классификации CIQ были сформированы две подвыборки. В первую вошли высокотехнологичные фирмы из таких отраслей, как программное обеспечение и услуги, производство компьютеров и электронных компонентов, фармацевтика, биотехнологии и науки о жизни. Во вторую подвыборку были включены все прочие фирмы, входящие в состав индекса RUSSEL 3000. Все переменные были винсоризованы на уровнях 2.5% и 97.5%. Итоговый массив панельных данных включает 17 199 годовых наблюдений. Общая характеристика и порядок расчета всех переменных представлены в табл. 2.

Методология

На первом этапе исследования был выполнен одномерный анализ с целью выяснить глубину различий между ключевыми характеристиками высокотехнологичных и невысокотехнологичных фирм. На втором этапе с помощью пробит-регрессий на основе ежегодных данных была оценена склонность компаний к политике нулевого долга. Для практикующих такой подход фирм зависимая бинарная переменная принимает значение 1, в обратном случае — 0. Объясняющими переменными выступали отношение долга к активам, размер, доля материальных активов и доходность (Rajan, Zingales, 1995).

Табл. 2. Описание переменных	
Переменная	Описание
Market leverage (рыночный долг)	Сумма долгосрочных кредитов, поделенная на нее же плюс рыночную капитализацию компании
Age (возраст)	Количество лет с даты регистрации компании
Market-to-book (отношение рыночной стоимости компании к балансовой)	Текущая рыночная капитализация компании плюс сумма долгосрочных кредитов, поделенная на сумму совокупных активов
Size (размер)	Натуральный логарифм совокупных активов
Tangibility (доля материальных активов)	Сумма материальных активов, поделенная на сумму совокупных активов
Profitability (прибыльность)	Сумма прибыли до налогообложения и выплаты процентов, поделенная на сумму выручки
R&D (ИиР)	Совокупные затраты на ИиР, поделенные на сумму совокупных активов
CapEx (капитальные затраты)	Совокупные капитальные затраты, поделенные на сумму совокупных активов
Cash holdings (денежные резервы)	Совокупные денежные средства и их эквиваленты, поделенные на сумму совокупных активов
Dividend payout ratio (коэффициент выплаты дивидендов)	Доля чистой прибыли, выплачиваемая инвесторам
N of directors on board (размеры совета директоров)	Число членов в совете директоров компании
% of independent directors (доля независимых директоров)	Доля независимых директоров в совете
% of insider ownership (доля акций компании в собственности инсайдеров)	Доля акций, принадлежащих сотрудникам компании и аффилированным с ними лицам
Источник: расчеты авторов.	

Далее с помощью оценочных коэффициентов была рассчитана вероятность нулевого долга для каждой высокотехнологичной фирмы. Доля компаний, не имеющих долга, оценивалась путем усреднения индивидуальных вероятностей для всех невысокотехнологичных фирм за год. Наконец, оценочная доля была вычтена из фактической, а итоговая разница не может быть объяснена традиционными детерминантами структуры капитала.

Как отмечено в работе (D'Mello, Gruskin, 2021), факторы, подталкивающие к отказу от долга, не совпадают с детерминантами его снижения. Это позволяет предположить, что детерминанты выбора стратегии заимствования и соотношения долга к собственному капиталу также различны. Поэтому в ходе многомерного анализа факторов, определяющих склонность фирм к бездолговой политике, использовались пробит-регрессии, а для учета цензурированного характера долга — тобит-регрессии (Nivorozhkin, 2015).

Гипотеза о финансовых ограничениях проверялась в несколько этапов. Сначала сравнивались характеристики высокотехнологичных и невысокотехнологичных фирм, которые обычно служат для оценки вероятности таких ограничений. Исходной гипотезой были относительная молодость и компактность высокотехнологичных фирм, меньшая доля материальных активов и более высокий потенциал роста.

Следуя методологии, описанной в работе (Hadlock, Pierce, 2010), выборка была разделена на фирмы, испытывающие и не испытывающие финансовых ограничений, на основе индекса размера капитала и возраста (SA). Этот показатель был выбран в силу прозрачности используемых для его расчета характеристик, которыми руководству компаний сложно манипулировать, и доступности данных обо всех компаниях. Индекс SA учитывает размер капитала, квадрат размера капитала и возраст компании и рассчитывается следующим образом:

$$SA = -0.737 * SIZE + 0.043 * SIZE^2 - 0.040 * AGE \quad (1)$$

где SIZE — логарифм совокупных активов, а AGE — число лет, в течение которых компания котируется, или лет после IPO.

Выборка была разделена на квартили на основе значений индекса: квартиль с самыми высокими значениями был определен как подвыборка компаний, испытывающих финансовые ограничения, а квартиль с минимальным уровнем индекса — как подвыборка компаний, не испытывающих таких ограничений. Чтобы избежать искажения результатов, второй и третий квартили в этой части анализа не учитывались.

Для проверки гипотезы финансовой гибкости послужила методология, описанная в работах (Arslan-Ayaydin et al., 2014; Lee et al., 2011). Финансовая гибкость компаний оценивалась на основе показателей их нераспределенной прибыли и денежных резервов. Сконструированная дамми-переменная принимает значение 1, если денежные резервы или нераспределенная прибыль компании превышает медиану для отраслевой выборки, т. е. все фирмы с денежными резервами и нераспре-

деленной прибылью ниже медианы характеризуются низким уровнем финансовой гибкости. Влияние этого фактора на вероятность выбора бездолговой политики и уровень долга компаний, не испытывающих ограничений, рассчитывались с помощью пробит- и тобит-регрессий.

Наконец, «окапывание» менеджеров оценивалось на базе характеристик корпоративного управления, отражающих полномочия и уровень контроля генерального директора фирмы (размеры совета директоров (Yermack, 1996) и долю внешних членов совета директоров (Weisbach, 1988)). Как отмечалось в исследовании (Boone et al., 2007), небольшие и менее независимые советы обеспечивают генеральному директору более высокую степень свободы, власти и влияния. В расчет принималась также доля акций компании, находящихся в распоряжении менеджмента. В соответствии с методологией, представленной в статье (Strebulaev, Yang, 2013), его «окапывание» оценивалось на основе показателей владения акциями и управления компанией.

Результаты в описательной статистике

Описательная статистика приведена в табл. 3. Одномерный анализ подтвердил значимость различий (табл. 4). Описательная статистика подтверждает гипотезу финансовых ограничений для высокотехнологичных и невысокотехнологичных фирм. Установлено, что компании с нулевым долгом обычно меньше по размеру (Devos et al., 2012), и у них ниже доля материальных активов, а у высокотехнологичных фирм данный коэффициент еще ниже. В результате компании хайтека чаще испытывают финансовые ограничения, чем игроки традиционных отраслей, что может служить определяющим мотивом в выборе бездолговой стратегии. Таким образом, фирмы с нулевым долгом моложе других, причем высокотехнологичные моложе невысокотехнологичных.

Важный результат заключается и в том, что бездолговые компании менее прибыльны, чем фирмы, использующие заемные средства. В итоге подтверждена гипотеза о финансовых ограничениях: фирмам с низким уровнем доходности капитала труднее получить доступ к заемным средствам. Однако это противоречит теории иерархии, поскольку низкий уровень прибыли означает необходимость внешнего финансирования, что подталкивает бизнес к новым кредитам. Высокотехнологичные фирмы с нулевым долгом менее прибыльны, чем другие участники выборки.

Полученные результаты подтверждают также гипотезу о роли финансовой гибкости. Высокотехнологичные и невысокотехнологичные фирмы с нулевым долгом отличаются более высоким соотношением рыночной и балансовой стоимости, чем избегающие заемных средств. Описательная статистика показывает, что хайтек имеет высокое значение данного показателя (2.7 для бездолговых и 1.9 для пользующихся заемным капиталом), т. е. более значительный потенциал роста и запрос на финансовую гибкость.

Табл. 3. Медианные значения переменных

Переменная	Высоко-технологичные		Не высокотехнологичные	
	НД	Не НД	НД	Не НД
Рыночный уровень долга	0.01	0.12	0.03	0.25
Возраст	14.64	20.35	23.99	29.53
Отношение рыночной стоимости к балансовой	2.71	1.91	2.16	1.38
Размер	6.08	7.02	6.05	7.71
Доля материальных активов	0.17	0.17	0.22	0.30
Доходность капитала	0.04	0.09	0.10	0.15
Инвестиции в ИиР	82.65	177.45	35.29	79.28
Капитальные расходы	-74.18	-162.88	-50.04	-382.14
Денежные резервы	329.22	1314.15	144.39	616.59
Коэффициент выплаты дивидендов	22.24	22.49	54.66	44.53
Размеры совета директоров	7.62	8.52	7.73	9.37
Доля независимых директоров	76.17	78.50	75.38	79.21
Доля акций компании в собственности менеджмента	8.78	6.19	8.51	5.18
Примечание: Компания считается реализующей политику нулевого долга (НД) в отсутствие долгосрочного долга в рассматриваемом году.				
Источник: расчеты авторов.				

Все бездолговые фирмы в выборке обладают и более существенными денежными резервами, что не согласуется с результатами исследования (Dang, 2013), где отмечается, что такие компании сознательно отказываются от заемных средств для сохранения финансовой гибкости в будущем, но подтверждает гипотезу о финансовых ограничениях. Мы выявили также более крупную долю акций бездолговых фирм в собственности менеджмента, «окапывание» которого выступает важным фактором отказа от заемных ресурсов.

Полученные результаты свидетельствуют, что расходы на ИиР у высокотехнологичных фирм намного выше, чем у других. При этом максимальные капитальные затраты выявлены у не использующих заемное финансирование невысокотехнологичных компаний. Тем самым подтверждена корректность разделения фирм на подвыборки, исходя из технологического фактора.

Эмпирические результаты

Отказываются ли игроки сектора хайтека от заемных средств по тем же причинам, что и невысокотехнологичные компании? В табл. 5 видно, что число высокотехнологичных фирм с нулевым долгом увеличилось. Напротив, средние значения общих детерминант структуры капитала за тот же период не претерпели заметных изменений (см. табл. 6). Это означает, что данные переменные не позволяют корректно прогнозировать вероятность выбора высокотехнологичными компаниями бездолговой политики. Мы используем подход, аналогичный рекомендациям (Fama, French, 2001) и (Denis, Osobov, 2008). Вероятность отказа от использования фирмами заемного финансирования в зависимости от значений общих факторов оценивалась с помощью пробит-регрессий. Затем на основе полученных результатов вероятная доля фирм с нулевым долгом среди высокотехнологичных компаний была оценена и сравнена с фактическими данными. Результаты первого этапа исследования отражены в табл. 7.

Фактическая доля фирм с нулевым долгом в рассматриваемый период колеблется от 32% до 36.06%, тогда как прогнозируемые значения лежат в диапазоне между 22.39% и 26.44%, т. е. устойчиво и существенно отстают от фактических. Подобный вывод соответствует гипотезе о том, что общие детерминанты структуры капитала в меньшей степени определяют вероятность отказа высокотехнологичных фирм от заемного финансирования.

Табл. 4. Одномерный анализ

Переменная	Невысокотехнологичные		Высокотехнологичные		Средняя разность
	Число	Медиана	Число	Медиана	
Рыночный уровень долга	12881	21.60	4216	0.08	21.52***
Возраст	11388	28.19	3730	17.58	10.61***
Отношение рыночной стоимости компании к балансовой	12927	1.44	4272	2.03	-0.59***
Размер компании	12927	7.45	4272	6.67	0.77***
Доля материальных активов	12921	0.29	4272	0.17	0.12***
Доходность капитала	12815	0.14	4216	0.07	0.07***
Инвестиции в ИиР	10590	72.25	3882	143.40	-71.15***
Капитальные расходы	12915	-332.35	4268	-131.45	200.9***
Денежные резервы	12846	545.46	4250	963.60	-418.14**
Коэффициент выплаты дивидендов	10444	45.82	2930	22.25	23.57***
Размеры совета директоров	3023	9.14	1160	8.26	0.88***
Доля независимых директоров	8744	78.80	2929	77.91	0.89***
Доля акций компании в собственности менеджмента	6579	5.39	2410	6.60	-1.20***
Примечание: Компания считается реализующей политику нулевого долга в отсутствие долгосрочного долга в рассматриваемом году. ***, ** и * указывают значимость на уровне 1%, 5% и 10% соответственно.					
Источник: расчеты авторов.					

Табл. 5. Динамика числа фирм, не использующих заемного финансирования

Год	Высокотехнологичные			Прочие		
	Все	НД	%	Все	НД	%
2004	287	74	25.78%	1 040	95	9.13%
2005	315	91	28.89%	1 083	113	10.43%
2006	322	97	30.12%	1 118	116	10.38%
2007	332	105	31.63%	1 158	127	10.97%
2008	358	108	30.17%	1 201	134	11.16%
2009	384	118	30.73%	1 247	154	12.35%
2010	399	122	30.58%	1 278	167	13.07%
2011	445	126	28.31%	1 342	171	12.74%
2012	501	138	27.54%	1 399	176	12.58%
2013	554	178	32.13%	1 461	187	12.80%
2014	587	187	31.86%	1 506	189	12.55%
2015	609	205	33.66%	1 528	180	11.78%

Примечание: Компания считается реализующей политику нулевого долга (НД) в отсутствие долгосрочного долга в рассматриваемом году. В таблице показано число фирм с нулевым долгом в разные годы для всей выборки и отдельно для высокотехнологичных и не высокотехнологичных компаний.

Источник: расчеты авторов.

Табл. 6. Средние значения общих детерминант структуры капитала высокотехнологичных фирм

Переменная	2004	2015
Доходность капитала	0.04	0.06
Доля материальных активов	0.17	0.17
Размер капитала компании	6.47	6.77
Отношение рыночной стоимости компании к балансовой	2.27	2.24

Примечание: В таблице представлены средние значения традиционных детерминант структуры капитала высокотехнологичных фирм на начало (2004 г.) и конец исследуемого периода (2015 г.)

Источник: расчеты авторов.

ния, чем невысокотехнологичных. Поскольку указанные детерминанты не объясняют роста доли компаний хайтека с нулевым долгом, здесь должны действовать другие факторы.

Пробит-регрессия, учитывающая четыре общих детерминанты структуры капитала и фиктивную переменную компаний хайтека, позволила получить новые данные о различиях между высокотехнологичными и невысокотехнологичными фирмами. Панель В табл. 7 показывает значимость фиктивной переменной высокотехнологичных фирм, т. е. высокую вероятность того, что они предпочтут отказаться от заемных средств. Этот результат подтверждает гипотезу 1.

Табл. 7. Модель склонности и пробит-модель с фиктивной переменной высокотехнологичных фирм

Табл. 7а. Панель А.

Год	Факт	Прогноз	Факт – Прогноз
2004	32.00	22.64	9.36***
2005	36.44	24.94	11.51***
2006	35.77	25.60	10.17***
2007	35.45	26.13	9.32***
2008	33.33	23.16	10.18***
2009	35.48	25.41	10.07***
2010	36.06	26.19	9.87***
2011	33.06	26.44	6.62***
2012	32.13	25.32	6.81***
2013	34.75	26.37	8.38***
2014	34.36	23.89	10.48***
2015	34.03	22.39	11.64***

Примечание. Прогнозируемая доля фирм с нулевым долгом рассчитана с помощью оценочных коэффициентов годовых пробит-регрессий для всей выборки фирм, с использованием следующих детерминант: размер капитала компании, доходность капитала, потенциал роста и доля материальных активов. Фирма считается реализующей политику нулевого долга (НД), если у нее нет долгосрочных долгов в данном году. ***, ** и * указывают значимость на уровне 1%, 5% и 10% соответственно.

Табл. 7б. Панель В.

Переменные	НД
Доходность капитала	0.29** (0.13)
Доля материальных активов	-0.98*** (0.21)
Размер капитала компании	-0.53*** (0.03)
Отношение рыночной стоимости компании к балансовой	0.10*** (0.02)
Дамми-переменная высокотехнологичной компании	1.33*** (0.12)
Константа	1.29*** (0.22)
Число наблюдений	16 925
Число компаний	2017

Панель В. Пробит-регрессия с фиктивной переменной высокотехнологичных фирм. Компания считается реализующей политику нулевого долга (НД) в отсутствие долгосрочного долга в рассматриваемом году. ***, ** и * указывают значимость на уровне 1%, 5% и 10% соответственно.

Источник: расчеты авторов.

Финансовые ограничения

Гипотеза финансовых ограничений (гипотеза 2) была проверена путем деления выборки на две части: испытывающих и не испытывающих их компаний. Описательная статистика этих подвыборок (первый и четвертый квартили) представлена в табл. 8. Компании, не сталкивающиеся с ограничениями, существенно старше, крупнее, рентабельнее и имеют более высокую долю материальных активов. Потенциал роста выше у тех испытывающих ограничения фирм, которые являются более молодыми, менее прибыльными и располагают меньшими материальными активами. Более трети (37%) в подвыборке компаний, испытывающих финан-

Табл. 8. Сравнительная статистика подвыборок компаний, испытывающих и не испытывающих финансовых ограничений

Табл. 8а. Панель А.

Параметры	Статус					
	Не испытывают ограничений			Испытывают ограничения		
Stat	mean	p50	N	mean	p50	N
Возраст	61.78	56.00	4043	6.78	6.00	4058
Доходность капитала	0.16	0.15	4035	0.04	0.10	3941
Доля материальных активов	0.29	0.21	4042	0.22	0.13	4056
Размер	7.95	7.95	4043	6.08	5.72	4058
MB ratio	1.33	1.03	4043	1.99	1.39	4058
Высокотехнологичные	0.11	0.00	4043	0.37	0.00	4058

Табл. 8б. Панель В.

ht	Переменная	Среднее	p50	N
0	ограничения	0.42	0	6147
1	ограничения	0.77	1	1954
Всего		0.50	1	8101

Примечание. Выборка была разделена на компании, испытывающие и не испытывающие финансовые ограничения, на базе индекса SA и на квартили — на базе значений индекса. Квартиль с максимальным значением выступал в качестве подвыборки компаний, испытывающих финансовые ограничения, квартиль с минимальным значением служил подвыборкой компаний, не сталкивающихся с такими ограничениями. На панели В табл. 8 показано распределение испытывающих эти ограничения фирм между хайтеком и традиционными отраслями.

Источник: расчеты авторов.

совые ограничения, приходится на высокотехнологичные фирмы, а в подвыборке не сталкивающихся с такими ограничениями их всего около 11%. Как показано в панели В табл. 8, финансовые ограничения испытывают около 77% фирм в хайтеке и 41.5% — в традиционных секторах. Как видно, в целом высокотехнологичные компании чаще сталкиваются с финансовыми ограничениями.

В табл. 9 представлены результаты проверки гипотезы о финансовых ограничениях. Полученные данные ее подтверждают, поскольку фирмы, сталкивающиеся с ограничениями, с большей вероятностью откажутся от заемных средств. Разделение выборки на высокотехнологичные и невысокотехнологичные фирмы выявило значимость финансовых ограничений только для первых. Исходя из описательной статистики мы ожидали, что это окажется справедливо (хотя и в меньшей степени) также и для невысокотехнологичных фирм. Полученные результаты оказались более контринтуитивными: для невысокотехнологичных фирм финансовые ограничения не являются важным фактором при принятии решения о нулевом долге.

Таким образом, финансовые ограничения выступают важным фактором для высокотехнологичных

фирм, поскольку нулевой долг часто не становится их добровольным выбором, но порожден недоступностью кредитов.

Финансовая гибкость

В табл. 10 представлены результаты проверки гипотезы 3 на подвыборке фирм, не испытывающих финансовых ограничений. Очевидно, финансовая гибкость не влияет на вероятность выбора бездолговой политики фирмами, не сталкивающимися с финансовыми ограничениями, но влияет на уровень их долга (столбцы 1–2). К тому же вклад финансовой гибкости в вероятность отказа от заемного финансирования различается у высокотехнологичных и невысокотехнологичных фирм. Для компаний традиционных отраслей ее роль остается незначительной, несмотря на то, что она существенно снижает шансы на отказ от заемных средств в хайтеке (столбцы 3–4). Это полностью подтверждает гипотезу 3. Указанная зависимость сохраняется и при выборе уровня долга, т. е. финансовая гибкость существенно влияет на уровень долга технологических компаний (столбцы 5–6).

«Окапывание» менеджмента

В табл. 11 приведены результаты проверки гипотезы об «окапывании» менеджмента. Установлено, что выбору бездолговой политики способствует контроль ме-

Табл. 9. Проверка гипотезы о финансовых ограничениях фирм с нулевым долгом

Переменные	Вся выборка	Высокотехнологичные	Невысокотехнологичные
Размер	-0.56*** (0.05)	-0.33*** (0.07)	-0.70*** (0.07)
Доходность капитала	0.17 (0.18)	-0.12 (0.23)	0.45 (0.28)
Доля материальных активов	-0.64** (0.30)	0.28 (0.49)	-1.10*** (0.40)
Соотношение MBratio	0.05* (0.03)	0.10** (0.04)	0.01 (0.04)
Фиктивная переменная ВТ компаний	1.30*** (0.16)	–	–
SA_constrained (ограничения)	0.32* (0.17)	0.65** (0.32)	0.21 (0.20)
Константа	1.11*** (0.380)	0.56 (0.62)	2.07*** (0.53)
Число наблюдений	7933	1879	6054
Число компаний	1504	430	1074

Примечание: Компания считается реализующей политику нулевого долга (НД) в отсутствие долгосрочного долга в рассматриваемом году. ***, ** и * указывают значимость на уровне 1%, 5% и 10% соответственно. Выборка была разделена на компании, испытывающие и не испытывающие финансовых ограничений на базе показателя SA. Выборка была разделена на квартили на базе значений индекса: квартиль с максимальным значением выступал в качестве подвыборки компаний, испытывающих финансовые ограничения, квартиль с минимальным значением служил подвыборкой компаний, не сталкивающихся с такими ограничениями.

Источник: расчеты авторов.

Табл. 10. Проверка гипотезы финансовой гибкости

Переменные	Вся выборка	Вся выборка	Высоко-технологичные	Не-высокотехнологичные	Высокотехнологичные	Не-высокотехнологичные
	НД	Долг	НД	НД	Долг	Долг
Размер	–0.660*** (0.11)	0.03*** (0.00)	–0.43** (0.21)	–0.71*** (0.19)	0.02 (0.01)	0.03*** (0.00)
Доходность капитала	0.55 (0.55)	–0.04** (0.02)	–0.03 (1.13)	0.81 (0.62)	0.09* (0.05)	–0.07*** (0.02)
Доля материальных активов	–1.36** (0.61)	0.06*** (0.02)	2.673 (1.68)	–1.73** (0.71)	–0.08 (0.08)	0.07*** (0.02)
Соотношение MBratio	0.19*** (0.07)	–0.03*** (0.00)	0.47*** (0.16)	0.13 (0.08)	–0.02** (0.01)	–0.03*** (0.00)
Гибкость	–0.17 (0.22)	–0.04*** (0.01)	–1.60*** (0.50)	0.17 (0.25)	–0.06*** (0.02)	–0.04*** (0.01)
Константа	1.29 (0.90)	0.06** (0.03)	1.07 (1.85)	1.56* (0.94)	0.14 (0.09)	0.06** (0.03)
Число наблюдений	4022	3409	452	3570	388	3021
Число компаний	499	439	66	433	58	381

Примечание: Компания считается реализующей политику нулевого долга (НД) в отсутствие долгосрочного долга в рассматриваемом году. ***, ** и * указывают значимость на уровне 1%, 5% и 10% соответственно. Финансовая гибкость оценивалась через нераспределенную прибыль и денежные резервы компаний. Фиктивная переменная принимает значение 1, если эти показатели превышают медиану для отраслевой выборки.

Источник: расчеты авторов.

неджмента над акциями компании (данный показатель значим на уровне лишь 15%). Размеры совета директоров и его независимость снижают вероятность отказа от заемного финансирования. Уровень долга зависит еще и от доли акций компании в собственности ее менеджеров и наличия независимых членов совета директоров, однако размер последнего в данном случае роли не играет.

Выявлены различия между высокотехнологичными и невысокотехнологичными фирмами. В первом случае большая доля акций в собственности менеджмента значительно повышает вероятность выбора бездолговой политики, что соответствует результатам исследования (Strebulaev, Yang, 2013). Для компаний традиционных секторов этот фактор незначителен, а наличие независимых директоров в совете играет важную роль, тогда как для высокотехнологичных фирм значимы лишь размеры последнего.

Ограничение при проверке гипотезы об «окапывании» менеджмента состоит в том, что рассматривался только недавний период (начиная с 2013 г.). Данных за более ранние периоды для этого оказывается недостаточно.

Обсуждение

Как показывают полученные результаты, хайтек в целом более консервативен в выборе структуры капитала, что объясняется как традиционными детерминантами, так и отраслевыми факторами, влияющими на корпоративную финансовую политику. Бездолговая стратегия отчасти обусловлена самой природой высокотехнологичных компаний с их нестабильными денежными потоками и сопутствующими ограничениями. Сталкивающиеся с ними фирмы вынуждены отказываться от заемного финансирования, что для них особенно чувствительно на ранних стадиях жизненного цикла (Lundberg, Lotfaliei, 2020). По мере развития бизнеса

и сокращения информационной асимметрии между фирмой и кредиторами снижается и роль финансовых ограничений. При этом испытывающие их компании с производительностью выше средней склонны инвестировать в инновации, а не в интернационализацию (Роелфсема, Йи, 2018).

Установлено, что не испытывающие финансовых ограничений игроки сектора хайтека склонны выбирать политику нулевого долга. Что касается отраслевой специфики, то в технологических секторах необходимы более гибкие бизнес-модели, поскольку значимой частью деятельности здесь выступают ИиР, продолжительность которых крайне неопределенна. Было показано, что финансовая гибкость и «окапывание» менеджмента также имеют отраслевые особенности. Но можно ли говорить об объективных мотивах выбора такими компаниями бездолговой структуры капитала? Может ли стратегия опоры исключительно на внутренние источники и долевое финансирование быть долгосрочно правильной для высокотехнологичных фирм? Третий аспект отраслевой специфики состоит в динамичной макроэкономической среде, которая в сочетании с волатильностью самого сектора вынуждает высокотехнологичные фирмы избегать любых дополнительных рисков, даже если принимаемые финансовые решения оказываются не самыми оптимальными в краткосрочной перспективе.

Консервативная политика в вопросе использования заемного финансирования может быть вызвана смещением акцента с оптимизации структуры капитала на обеспечение надежного доступа к ресурсам (DeAngelo, 2022). Поскольку без необходимых средств невозможно вести ИиР и осуществлять дальнейшие инвестиции, т. е. стратегически развиваться и повышать капитализацию, именно внимание на доступе к финансированию позволит глубже понять политику нулевого долга. Инвестиционные возможности в хайтеке весьма неопределенны как по времени, так и по объему. Ярким примером служит пандемия COVID-19, способствовавшая

Табл. 11. Проверка гипотезы «окапывания» менеджмента

Переменные	Вся вы- борка	Вся вы- борка	Высоко- техноло- гичные	Невысо- котехно- логич- ные
	НД	Долг	НД	НД
Размер	-0.89*** (0.10)	0.02*** (0.00)	-0.58*** (0.13)	-0.98*** (0.13)
Доходность капитала	-0.37 (0.43)	-0.10*** (0.02)	-0.51 (0.52)	0.60 (0.51)
Доля матери- альных акти- вов	-0.13 (0.48)	0.07*** (0.02)	1.43* (0.82)	-0.27 (0.56)
Соотношение MBratio	0.26*** (0.07)	-0.03*** (0.00)	0.22*** (0.08)	0.13* (0.078)
Доля акций в собственности менеджеров	0.02 (0.01)	0.001** (0.00)	0.03* (0.02)	0.00 (0.01)
Доля независи- мых директо- ров (%)	-0.02* (0.01)	-0.001*** 0.00	-0.00 (0.01)	-0.02** (0.01)
Размеры сове- та директоров	-1.05** (0.42)	0.01 (0.01)	-1.08* (0.62)	-0.56 (0.49)
Константа	5.01*** (1.12)	0.17*** (0.04)	4.03** (1.57)	5.43*** (1.35)
Число наблюдений	4057	2955	1107	2950
Число компаний	1951	1442	538	1413

Примечание. Компания считается реализующей политику нулевого долга (НД) в отсутствие долгосрочного долга в рассматриваемом году. ***, ** и * указывают значимость на уровне 1%, 5% и 10%, соответственно. «Окапывание» менеджмента оценивалось на базе индикаторов собственности акций компании и управления ею.
Источник: расчеты авторов.

стремительному развитию технологий и новому витку инновационного развития (OECD, 2021).

Свежий ракурс проблеме принципиального соотношения долга и собственного капитала дает оценка квалификации менеджеров, необходимая для оптимизации структуры капитала (DeAngelo, 2022). Значение интеллектуального капитала в бизнес-моделях технологических компаний позволяет предположить, что в хайтеке выше доля менеджеров, рассматривающих выбор структуры капитала в новой, более широкой парадигме (Фрич, Вюрвих, 2019).

Рецептом успешного развития высокотехнологичных фирм, придерживающихся политики нулевого долга, могут служить сохранение кредитоспособности, способность аккумулировать денежные резервы и мобилизовать внутренние ресурсы при появлении новых инвестиционных возможностей. Яркими примерами лидерства в технологическом бизнесе в отсутствие внешних заимствований или с долгом, близким к нулю, выступают такие компании из индекса S&P500, как Intuitive Surgical (хирургическая робототехника), Amdocs (CRM-услуги) или SEI Investments (финтех).

Заклучение

В статье проанализированы причины заметной концентрации фирм с нулевым долгом в хайтеке, мотивы и факторы бездолговой политики высокотехнологичных компаний. На базе выборки из индекса Russell 3000 за 2004–2015 гг. подтвержден факт роста числа фирм, не пользовавшихся заемными средствами в рассматриваемый период. Среди игроков традиционных секторов данная тенденция выражена менее ярко. Установлено, что размер, доходность, доля материальных активов и потенциал роста компании (которые обычно считаются общими детерминантами корпоративной структуры) не полностью объясняют, почему высокотехнологичные фирмы выбирают политику нулевого долга.

По итогам рассмотрения возможных мотивов отказа от заемного финансирования установлено, что высокотехнологичные фирмы чаще испытывают финансовые ограничения, чем невысокотехнологичные, т. е. не имеют доступа к заемным ресурсам, и это предопределяет их бездолговую стратегию. Иначе говоря, политика нулевого долга не всегда является добровольным выбором.

Для игроков сектора хайтека, не сталкивающихся с финансовыми ограничениями, гибкость в рассматриваемой сфере оказалась важнее, чем для представителей традиционных отраслей. Этот результат ценен, поскольку означает, что высокотехнологичные фирмы отказываются от заемного финансирования не только когда испытывают соответствующие ограничения, но и ради сохранения гибкости.

Отмеченные эффекты «окапывания» менеджмента в хайтеке и традиционных отраслях стимулируют отказ высокотехнологичных компаний от заимствований: если такая фирма находится в собственности ее менеджеров, это повышает вероятность выбора политики нулевого долга. В традиционных компаниях более важную роль играет совет директоров. В целом в высокотехнологичных фирмах большую роль играют человеческий фактор и отдельные лица, принимающие решения.

По мере роста значения высокотехнологичного бизнеса для экономики можно ожидать дальнейшего увеличения числа компаний, придерживающихся стратегии нулевого или близкого к нулевому долга. Факторы, характерные для хайтека, дают основания рассматривать такой подход в качестве нового инструмента и передового опыта, а не признака консервативной финансовой политики.

Статья подготовлена на основе материалов исследовательского проекта, реализованного в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ. Мнения или суждения, высказанные в статье, необязательно отражают точку зрения НИУ ВШЭ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и выражают благодарность коллегам из Школы финансов НИУ ВШЭ и ее руководителю профессору Ирине Иваиш-ковской за комментарии и идеи.

Библиография

- Роелфсема Х., Йи Ч. (2018) Интернационализация и инновации на возникающих рынках. *Форсайт*, 12(3), 34–42. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2018.3.34.42>
- Фрич М., Вюрвих М. (2019) Роль знаний, навыков и возможностей в формировании региональных стартапов в сфере информационных технологий. *Форсайт*, 13(2), 62–71. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.2.62.71>
- Aghion P., Bond S., Klemm A., Marinescu I. (2004) Technology and financial structure: Are innovative firms different? *Journal of the European Economic Association*, 2(2), 277–288. <http://dx.doi.org/10.1162/154247604323067989>
- Arsalan-Ayaydin Ö., Florackis C., Ozkan A. (2014) Financial flexibility, corporate investment and performance: Evidence from financial crises. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 42, 211–250. <https://doi.org/10.1007/s11156-012-0340-x>
- Bekaert G., Harvey C.R. (2003) Emerging Markets Finance. *Journal of Empirical Finance*, 10(1–2), 3–56.
- Bessler W., Drobetz W., Haller R., Meier I. (2013) The international zero-leverage phenomenon. *Journal of Corporate Finance*, 23, 196–221. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2013.08.004>
- Boone A.L., Field L.C., Karpoff J.M., Raheja C.G. (2007) The determinants of corporate board size and composition: An empirical analysis. *Journal of Financial Economics*, 85, 66–101. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2006.05.004>
- Buchanan B.G., English P.C., Gordon R. (2011) Emerging market benefits, investability and the rule of law. *Emerging Markets Review*, 12(1), 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2010.09.001>
- Butt U. (2020) Profits, financial leverage and corporate governance. *International Journal of Managerial Finance*, 16(2), 203–223.
- Coleman S., Robb A. (2012) Capital structure theory and new technology firms: Is there a match? *Management Research Review*, 35(2), 106–120. <http://dx.doi.org/10.1108/01409171211195143>
- Cui W. (2020) Is debt conservatism the solution to financial constraints? An empirical analysis of Japanese firms. *Applied Economics*, 52(23), 2526–2543. <https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1693019>
- Cunha I., Pollet J. (2020) Why do firms hold cash? Evidence from demographic demand shifts. *The Review of Financial Studies*, 33(9), 4102–4138. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz124>
- D'Mello R., Gruskin M. (2021) To be or not to be all-equity for firms that eliminate long-term debt. *Journal of Empirical Finance*, 64, 183–206. <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2021.09.001>
- Dang V.A. (2013) An empirical analysis of zero-leverage: New evidence from the UK. *International Review of Financial Analysis*, 30, 189–202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.irfa.2013.08.007>
- DeAngelo H. (2022) The Capital Structure Puzzle: What Are We Missing? *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 57(2), 413–454. <https://doi.org/10.1017/S002210902100079X>
- DeAngelo H., DeAngelo L., Whited T.M. (2011) Capital Structure Dynamics and Transitory Debt. *Journal of Financial Economics*, 99(2), 235–261. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2010.09.005>
- Denis D.J., Osobov I. (2008) Why do firms pay dividends? International evidence on the determinants of dividend policy. *Journal of Financial Economics*, 89, 62–82. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2007.06.006>
- Devos E., Dhillon U., Jagannathan M., Krishnamurthy S. (2012) Why are firms unlevered? *Journal of Corporate Finance*, 18(3), 664–682. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2012.03.003>
- Diamond D.W. (1989) Reputation acquisition in debt markets. *Journal of Political Economics*, 97, 828–862. <http://dx.doi.org/10.1086/261630>
- Eisfeldt A.L., Rampini A.A. (2009) Leasing, ability to repossess, and debt capacity. *Review of Financial Studies*, 22(4), 1621–1657. <https://www.jstor.org/stable/30225705>
- El Ghouli S., Guedhami O., Kwok C., Zheng X. (2018) Zero-leverage puzzle: An international comparison. *Review of Finance*, 22(3), 1063–1120.
- Fama E.F. (1980) Agency problems and the theory of the firm. *Journal of Political Economics*, 88, 288–307. <https://www.jstor.org/stable/1837292>
- Fama E.F., French K.R. (2001) Disappearing dividends: Changing firm characteristics or lower propensity to pay? *Journal of Financial Economics*, 60(1), 3–43. [https://doi.org/10.1016/S0304-405X\(01\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0304-405X(01)00038-1)
- Farre-Mensa J., Ljungqvist A. (2016) Do measures of financial constraints measure financial constraints? *Review of Financial Studies*, 29(2), 271–308. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhv052>
- Favara G., Gao J., Giannetti M. (2021) Uncertainty, access to debt, and firm precautionary behavior. *Journal of Financial Economics*, 141(2), 436–453. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.04.010>
- Fisher I. (1933) The debt-deflation theory of great depressions. *Econometrica*, 1(4), 337–357. <https://doi.org/10.2307/1907327>
- Frank M.Z., Goyal V.K. (2009) Capital structure decisions: Which factors are reliably important? *Financial Management*, 38(1), 1–37. <https://doi.org/10.1111/j.1755-053X.2009.01026.x>
- Gamba A., Triantis A. (2008) The value of financial flexibility. *The Journal of Finance*, 63(5), 2263–2296. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2008.01397.x>
- Ghoul S.E., Guedhami O., Kim H., Park K. (2014) Corporate Environmental Responsibility and the Cost of Capital: International Evidence. *SSRN Electronic Journal*, 149(2). <https://doi.org/10.2139/ssrn.2467223>
- Graham J. (2003) Taxes and corporate finance: A review. *Review of Financial Studies*, 16, 1074–1128. <https://www.jstor.org/stable/1262738>
- Hadlock C.J., Pierce J.R. (2010) New evidence on measuring financial constraints: Moving beyond the KZ index. *Review of Financial Studies*, 23(5), 1909–1940. <https://www.jstor.org/stable/40604834>
- Hall B.H., Moncada-Paternò-Castello P., Montresor S., Vezzani A. (2016) Financing constraints, R&D investments and innovative performances: New empirical evidence at the firm level for Europe. *Economics of Innovation and New Technology*, 25(3), 183–196. <http://dx.doi.org/10.1080/10438599.2015.1076194>
- Hang M., Geyer-Klingenberg J., Rathgeber A.W., Stöckl S. (2018) Measurement matters — A meta-study of the determinants of corporate capital structure. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 68, 211–225. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2017.11.011>
- Hart O., Moore J. (1994) A Theory of Debt Based on the Inalienability of Human Capital. *The Quarterly Journal of Economics*, 109(4), 841–879. <https://doi.org/10.2307/2118350>
- Iliasov D., Kokoreva M.S. (2018) Financial constraints versus financial flexibility: What drives zero-debt puzzle in emerging markets? *Russian Management Journal*, 16 (3), 407–434. <https://doi.org/10.21638/spbu18.2018.305>
- Ji S., Mauer D.C., Zhang Y. (2019) Managerial entrenchment and capital structure: The effect of diversification. *Journal of Corporate Finance*, 65(C), 101505. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2019.101505>

- Kaplan N., Zingales L. (1997) Do Investment-Cash Flow Sensitivities Provide Useful Measures of Financing Constraints? *Quarterly Journal of Economics*, 112(1), 169–215. <https://www.jstor.org/stable/2951280>
- Korajczyk R.A., Levy A. (2003) Capital structure choice: Macroeconomic conditions and financial constraints. *Journal of Financial Economics*, 68(1), 75–109. [https://doi.org/10.1016/S0304-405X\(02\)00249-0](https://doi.org/10.1016/S0304-405X(02)00249-0)
- Lee C.F., Gupta M.C., Chen H.Y., Lee A.C. (2011) Optimal payout ratio under uncertainty and the flexibility hypothesis: Theory and empirical evidence. *Journal of Corporate Finance*, 17(3), 483–501. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1582473>
- Lotfaliei B., Lundberg C. (2019) *Re-evaluating the Trade-off Theory of Capital Structure: Evidence from Zero-Leverage Firms* (SSRN Paper 3478159). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3478159>
- Lundberg C., Lotfaliei B. (2019) Finite-horizon zero-leverage firms. *Applied Economics Letters*, 27(14), 1160–1169. <https://doi.org/10.1080/13504851.2019.1675860>
- Machokoto M., Chipeta C., Aftab N., Areneke G. (2021) The financial conservatism of firms in emerging economies. *Research in International Business and Finance*, 58, 101483. <http://dx.doi.org/10.1002/ijfe.2032>
- Miglo A. (2020) Zero-Debt Policy under Asymmetric Information, Flexibility and Free Cash Flow Considerations. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(12), 296. <https://doi.org/10.3390/jrfm13120296>
- Minton B.A., Wruck K.H. (2001) *Financial Conservatism: Evidence on Capital Structure from Low Leverage Firms* (SSRN Paper 269608). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.269608>
- Molina C.A. (2005) Are firms underleveraged? An examination of the effect of leverage on default probabilities. *Journal of Finance*, 60(3), 1427–1459. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2005.00766.x>
- Morais F., Serrasqueiro Z., Ramalho J.J. (2020) The zero-leverage phenomenon: A bivariate probit with partial observability approach. *Research in International Business and Finance*, 53, 101201. <https://doi.org/10.1177/23409444211024653>
- Myers S.C., Majluf N.S. (1984) Corporate financing and investment decisions when firms have information that investors do not have. *Journal of Financial Economics*, 13(2), 187–221. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(84\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0304-405X(84)90023-0)
- Nivorozhkin E. (2015) Black Spots' in Capital Structure Studies: The Case of Non-Existing Debt. *Journal of Corporate Finance Research*, 9(2), 5–23.
- OECD (2021) *How will COVID-19 reshape science, technology and innovation?* Paris: OECD.
- Rajan R.G., Zingales L. (1995) What do we know about capital structure? Some evidence from international data. *Journal of Finance*, 50(5), 1421–1461. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1995.tb05184.x>
- Rampini A.A., Viswanathan S. (2010) Collateral, risk management, and the distribution of debt capacity. *The Journal of Finance*, 65(6), 2293–2322. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2010.01616.x>
- Saona P., Vallelado E., San Martín P. (2020) Debt, or not debt, that is the question: A Shakespearean question to a corporate decision. *Journal of Business Research*, 115, 378–392. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.061>
- Sprenger C., Lazareva O. (2021) Corporate governance and investment-cash flow sensitivity: Evidence from Russian unlisted firms. *Journal of Comparative Economics*, 50(1), 71–100 <https://doi.org/10.1016/j.jce.2021.05.004>
- Strebulaev I.A., Yang B. (2013) The mystery of zero-leverage firms. *Journal of Financial Economics*, 109(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2013.02.001>
- Stulz R. (1990) Managerial discretion and optimal financing policies. *Journal of Financial Economics*, 26(1), 3–27. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(90\)90011-N](https://doi.org/10.1016/0304-405X(90)90011-N)
- Talberg M., Winge C., Frydenberg S., Westgaard S. (2008) Capital Structure Across Industries. *International Journal of the Economics of Business*, 15(2), 181–200. <https://doi.org/10.1080/13571510802134304>
- Weisbach M.S. (1988) Outside directors and CEO turnover. *Journal of Financial Economics*, 20(2–3), 431–460. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(88\)90053-0](https://doi.org/10.1016/0304-405X(88)90053-0)
- Yasmin A., Rashid A. (2019) On the Mystery of Financial Conservatism: Insights from Pakistan. *Emerging Markets Finance and Trade*, 55(12), 2904–2927. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2018.1553158>
- Yermack D.L. (1996) Higher market valuation of companies with a small board of directors. *Journal of Financial Economics*, 40(2), 185–211. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(95\)00844-5](https://doi.org/10.1016/0304-405X(95)00844-5)

Реконфигурация ландшафта технологий хранения энергии

Жозе Силва

Исследователь-постдокторант, jose.silva@fc.ul.pt

Институт Dom Luiz, факультет естественных наук, Лиссабонский университет (Dom Luiz Institut, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa), Португалия, Avenida das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal

Гильерме Тавора

Патентный эксперт, guilherme.p.tavora@inpi.pt

Португальский институт промышленной собственности (Portuguese Institute of Industrial Property – INPI), Португалия, Rua da Alfândega 35, 1100-521 Lisboa, Portugal

Сандро Мендонка

Профессор^a, преподаватель^b, sfm@iscte-iul.pt

^a Бизнес-школа Университетского института Лиссабона ISCTE (ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa), Группа бизнес-исследований (BRU-IUL), Avenida das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal; UECE/REM – ISEG, Лиссабонский университет, Португалия, Rua do Quelhas 6, 1200-781 Lisboa, Portugal;

^b Институт исследований научной политики Университета Сассекса (Science Policy Research Unit – SPRU, University of Sussex), Великобритания, Falmer, Brighton, UK

Аннотация

Развитие аккумуляторных технологий играет важную роль в стратегиях энергетического перехода. В статье представлен комплексный анализ тенденций инновационного развития в данном сегменте. Проанализированы свыше 700 000 патентов за 2005–2019 гг. Выявлены ведущие заявители и страны их происхождения (пятерку лидеров составляют Япония, Южная Корея, США, Германия и Китай). Рассмотрены различные типы и основные компоненты аккумуляторов, взаимосвязь их производства с экологически чистыми технологиями. Предложена типология аккумуляторных инноваций в категориях

«продуктовые – процессные» и «инкрементальные – радикальные». Из рассмотренных типов аккумуляторов наиболее динамично развиваются литий-ионные, а среди компонентов — электроды. Для развития «зеленой» энергетики особое значение имеет применение аккумуляторов в фотоэлектрической генерации и электромобилях. Более половины патентов относятся к инкрементальным инновациям, около 70% — к продуктовым. Представленные результаты могут служить ориентирами для инвестирования в разработки аккумуляторных и вспомогательных низкоуглеродных энергетических технологий.

Ключевые слова: аккумуляторные батареи; инновации; технологическая траектория; патентные данные

Цитирование: Silva J., Távora G., Mendonça S. (2023) Reconfiguring the Battery Innovation Landscape. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 34–50. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.34.50

Reconfiguring the Battery Innovation Landscape

José Silva

Post-Doctoral Researcher, jose.silva@fc.ul.pt

Dom Luiz Institut, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Avenida das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal

Guilherme Távora

Patent Examiner, guilherme.p.tavora@inpi.pt

Portuguese Institute of Industrial Property – INPI, Rua da Alfândega 35, 1100-521 Lisboa, Portugal

Sandro Mendonça

Professor ^a and Faculty ^b, sfm@isc-te-iul.pt

^a ISCTE Business School, Business Research Unit (BRU-IUL), Avenida das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal; UECE/REM – ISEG/ University of Lisbon, Rua do Quelhas 6, 1200-781 Lisboa, Portugal;

^b SPRU, University of Sussex, Falmer, Brighton, UK

Abstract

The development of battery technologies is critical for energy transition strategies. This paper offers a comprehensive assessment of the trends and developments of battery innovation. Over 700,000 patents from the period of 2005-2019 are compiled and analyzed. Leading patent applicants and countries of origin are identified. Major patent applicants are mostly large East Asian companies, while Japan and South Korea are the leading countries followed by the US, Germany, and China. Different battery designs, the main battery components, and interactions with other clean technologies are examined. Based on the operative definitions for incremental/radical and product/process innovations, a battery innovation

typology is set forth. The main findings are that patenting in batteries rises robustly and the lithium-ion battery is the most vibrant technology; lithium-sulfur and flow batteries are the most notable emerging technologies, while electrodes are the most salient battery component. The most significant interactions of batteries with clean energy technologies are between battery charging and photovoltaic energy as well as between battery charging and electric vehicles. Incremental innovation represents more than half of the patents, while product innovation represents approximately 70% of the total patents. This study presents findings that could be useful when making investment decisions on the development of battery and auxiliary low-carbon energy technologies.

Keywords: secondary batteries; innovation; technological trajectory; patent data

Citation: Silva J., Távora G., Mendonça S. (2023) Reconfiguring the Battery Innovation Landscape. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 34–50. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.34.50

Необходимость снижения объема выбросов CO₂ и борьбы с эффектами климатического кризиса признана 195 странами, подписавшими в декабре 2015 г. Парижское соглашение (Paris Agreement)¹. Эта задача стимулировала трансформацию в сфере производства и использования энергии, подразумевающую, в частности, переход от ископаемого топлива к низкоуглеродным источникам (Fagerberg et al., 2016). В последние годы значительно возросло потребление ветровой и солнечной энергии, на долю которых в 2021 г. пришлось 10% мирового производства электроэнергии (IEA, 2021a). В ближайшее десятилетие ожидается дальнейший рост инвестиций в технологии, направленные на смягчение последствий изменения климата (IEA, 2021a; IPCC, 2021). Кроме того, энергетический кризис конца 2021 г., вызванный пандемией COVID-19 и геополитическими конфликтами, стимулировал попытки ускорить отход от традиционных систем энергообеспечения и защитить рынок от шоков и «узких мест».

Однако активное применение нестабильных и неконтролируемых источников энергии сопряжено с серьезными проблемами в управлении электросетями, что существенно ограничивает возможности для устойчивой реконфигурации социально-технологических систем (Sovacool et al., 2020). Выработка ветровой и фотоэлектрической энергии в значительной степени зависит от природных условий, а пики ее генерации не всегда совпадают с периодами максимального потребления. Для своевременного удовлетворения потребностей в энергии необходимы технологии, позволяющие хранить и по мере необходимости подавать в сеть излишки ее запасов, избегая потерь и снижая нагрузку на распределительную инфраструктуру (Castillo, Gayme, 2014). Использование подобных решений дает возможность регулировать мощности и контролировать качество передачи. Например, мелкие энергопроизводители могут накапливать запасы и продавать их, когда цена повышается, что укрепит стабильность и экономическую эффективность системы (Diesendorf, Wiedmann, 2020). Именно потенциальные финансовые преимущества часто мотивируют к установке небольших генеративных систем возобновляемой энергии (Hansen et al., 2022). Разработка эффективных технологий хранения энергии относится к актуальным экосистемным инновациям (Jesus, Mendonça, 2018; Lehmann et al., 2022). Они усиливают конкурентоспособность возобновляемых источников энергии, стимулируют повышение экологической ответственности общества и переход к экономике замкнутого цикла.

К наиболее перспективным альтернативным технологиям хранения энергии относятся аккумуляторные батареи. Благодаря высокой плотности энергии, модульности и малому времени «выхода на режим» (*response time*) они находят широкое применение для решения задач по хранению энергии (Van Noorden, 2014). Перечислим основные эффекты от их использования,

вносящие вклад в повышение энергетической безопасности:

- гибкое удовлетворение спроса на электроэнергию;
- минимизация перебоев энергоснабжения, повышение стабильности, надежности и прогнозируемости поведения электросетей (IEA, 2022);
- появление новых рынков и технологических возможностей (Shapiro, 2020);
- ускорение перехода к декарбонизации благодаря государственным инициативам по электрификации домохозяйств и транспорта (Velázquez-Martínez et al., 2019);
- в краткосрочной перспективе — создание «буферов» на случай сбоев, а в долгосрочной — расширение возможностей для адаптации (Azzuni, Breyer, 2019; Jindal, Shrimali, 2022).

Исследования инновационной активности в области энергетических технологий в последние годы динамично развиваются (Lee, Lee, 2013; Albino et al., 2014; Wong et al., 2014; Silva et al., 2015; Kittner et al., 2017). В частности, рассматриваются разработки, относящиеся к литиевым и другим типам аккумуляторов (Wagner et al., 2013; Stephan et al., 2017; Aaldering, Song, 2019), их применение в электромобилях (Feng, Magee, 2020; Golembiewski et al., 2015; Zhang et al., 2017), экологические аспекты и бизнес-модели производства литий-ионных аккумуляторов на основе замкнутого цикла (Albertsen et al., 2021; Dehghani-Sanij et al., 2019; Levänen et al., 2018). Проанализированы эффективность политических инструментов, стимулирующих внедрение экологически нейтральных решений (Bergek, Berggren, 2014), и основные тенденции патентования технологий хранения электроэнергии в контексте декарбонизации экономики (IEA, EPO, 2021). Патентные данные позволяют оценить глобальные, региональные, национальные и локальные аспекты, однако пока недостаточно используются для картирования и выявления перспективных технологий, ведущих производителей, институтов поддержки и центров технологического развития (IEA, EPO, 2021).

Представленная статья вносит вклад в изучение эффектов системной взаимозависимости, связанных с развитием аккумуляторных технологий. Следуя неопределенности логике, они определяются как новые комбинации стационарных и мобильных систем хранения энергии, адаптирующиеся к изменчивому ландшафту потребления и производства энергии (Castellacci et al., 2005; Caraça et al., 2009). В результате изучения свыше 700 тыс. патентных заявок выявлены и охарактеризованы направления инновационной деятельности в области аккумуляторов, оценены темпы и типы соответствующих технологических изменений (Lhuillery et al., 2017). Аккумуляторные технологии представляют собой готовые практические решения, однако процесс их совершенствования отличается высокой наукоемкостью, а вывод на рынок требует времени (Mendonça et al., 2019).

¹ <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>, дата обращения 16.01.2023.

Аккумуляторы в контексте энергетического перехода

Роль технологий хранения энергии в развитии энергосистем

Накопительные системы состоят из множества компонент. Часть из них относятся к масштабным и стабильным, другие постоянно меняются (в плане функционала и др.) либо только формируются. Основным средством хранения электроэнергии в мире, с большим отрывом от других, остается гидроэнергетика (95% подключенных к электросетям резервных мощностей)². Данная технология характеризуется высокой зрелостью и одновременно обладает большим потенциалом ввиду малого времени «выхода на режим» и других преимуществ. Однако она применима лишь в некоторых регионах в определенные периоды и не может в полной мере покрыть потребности земле- и водопользования (Schulz et al., 2017). Среди альтернативных способов хранения энергии выделяются механические (например, на основе сжатого воздуха (*compressed-air energy storage*, CAES)), химические и электрохимические (топливные элементы или аккумуляторы).

Во время зарядки аккумулятора электрическая энергия преобразуется в электрохимическую. При необходимости она может быть трансформирована обратно в электричество, чтобы использоваться в другое время и, в некоторых случаях, в иной локации. Тем самым удовлетворяется спрос и повышается надежность энергосистемы в целом.

Интерес к аккумуляторам обусловлен универсальностью их применения для обеспечения энергоснабжения в самых разных обстоятельствах (от работы в электросетях до питания электрических транспортных средств). Хотя литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторы до сих пор остаются конкурентоспособными, ожидается, что в ближайшие годы существенную долю рынка займут новые типы, со значительно большим потенциалом применения (IEA, 2020a). В то же время добыча сырья для обеспечения роста рынков электрического транспорта и систем сетевого хранения энергии увеличит нагрузку на экологические и социально-экономические системы (IEA, 2021b). Если доминирование литий-ионных технологий сохранится, данный аспект станет особенно актуальным. Расширение многообразия видов сырья и средств для производства аккумуляторов требует выявления новых альтернативных технологий (Metzger et al., 2023). Энергетические и транспортные системы отличаются высокими темпами цифровизации (Туровец и др., 2021), что создает новые вызовы для систем хранения энергии, включая аккумуляторные технологии. В условиях постпандемии, геополитических конфликтов, растущего разрыва между потреблением и благосостоянием населения цепочки поставок энергии испытывают повышенную нагрузку, усиливая спрос на инновации (Aaldering, Song, 2019; Golembiewski et al., 2015; IEA, 2020b; IEA, 2021b). Одним из главных ограничений для масштабирования произ-

водства аккумуляторов и дальнейшего снижения цен на них остается доступность сырья. Литий и кобальт относятся к невозобновляемым ресурсам, при этом их добыча, переработка и использование ведут к значительным экологическим издержкам (Metzger et al., 2023).

Инновации: неошумпетерианская перспектива

Производство аккумуляторов требует междисциплинарных знаний: теоретических, например, относящихся к электрохимии и материаловедению, и эмпирических (машиностроение, дизайн и др.) (Dodgson, 2008). Степень полезности аккумуляторов зависит от контекста применения, но в целом они рассматриваются как ключевой компонент сложных энергетических систем (Prencipe et al., 2005), взаимодействующий с другими технологиями, получая либо отдавая энергию (Berndt, 2003). Упомянутые системы подвергаются масштабным и быстрым структурным изменениям, чтобы соответствовать принципам устойчивого развития (Schot, Steinmueller, 2019).

Аккумуляторы служат посредниками при получении, накоплении и передаче энергии. Включенность в сети взаимосвязанных устройств означает зависимость от исходных источников питания и контекста применения, которые влияют на развитие рассматриваемых технологий в долгосрочной перспективе (Malhotra et al., 2021). Рыночный контекст определяет поведение субъектов инновационной деятельности, стремящихся выработать эффективные стратегии адаптации. Работа с массивами знаний позволяет выявить технологические тренды и понять роль различных социально-экономических проблем в стимулировании либо ограничении разработки новых решений. «Давление предложения» (*supply-pushes*) альтернативных технологий генерации электроэнергии в сочетании с «подтягиванием спроса» (*demand-pulls*) на конкурирующие между собой области энергопотребления определяет динамику развития технологических траекторий (Dosi, 1982; Nelson et al., 2018). Технологические изменения в рассматриваемой области происходят неравномерно. От выбора базового вектора зависит консолидация вторичных технологических решений, разработка которых часто становится следствием компромисса между инженерной сложностью и функционалом, с одной стороны, и социальными потребностями — с другой. Аккумуляторы все активнее используются для оптимизации работы энергосетей (IEA, 2020a), а расширение возможностей их применения облегчает освоение возобновляемых источников энергии (IEA, 2021a).

Традиционно аккумуляторы служили в качестве пусковых устройств в автомобилях с двигателями внутреннего сгорания, а в современных электромобилях они играют роль основного источника питания. Ожидается, что в следующем десятилетии востребованность аккумуляторных электромобилей вырастет в восемь раз (Дхакал, Мин, 2020). Помимо электротранспорта, аккумуляторы все чаще встречаются в

² <https://sandia.gov/ess-ssl/gesdb/public/statistics.html>, дата обращения 08.08.2022.

интеллектуальных энергосистемах с использованием возобновляемых источников и в мобильных электронных устройствах, которые постепенно интегрируются в новые социально-технические системы (умные дома и города, «устойчивая» мобильность и т. д.). Актуальная задача эмпирических исследований состоит в определении ключевых характеристик и функций аккумуляторов, что улучшит понимание ролей различных институтов, динамики промышленного развития и возможностей государственной политики.

Подход и данные

Патенты как индикатор

Патенты предоставляют ценные данные для анализа инновационной активности и факторов, лежащих в основе отраслевых моделей, географического положения, эволюции знаний и т. д. (Bathelt et al., 2017; Nagaoka et al., 2010; Patel, Pavitt, 2005). Подходам к оценке инновационной деятельности посвящена обширная литература, однако методов, позволяющих однозначно охарактеризовать ее, не существует (Dziallas, Blind, 2019; McKelvey, 2014). Измерить качественно различающиеся между собой феномены все еще затруднительно (Smith, 2006), но исследования в данной области продолжаются (Mendonça et al., 2021). Недостатки патентов хорошо известны, ими объясняется различная склонность к патентованию в зависимости от характера технологии, размера компании и др., а также выбор стратегии «непатентования» (*non-patenting*) для сохранения коммерческой тайны и т. п. целей. Тем не менее анализ патентных данных позволяет глубже понять эволюцию средне- и высокотехнологичных промышленных артефактов (Mendonça et al., 2019). Использование патентов в качестве индикатора является вопросом компромисса, личного мнения и методологического выбора. Ограничения этого инструмента можно минимизировать, если применять его к четко определенным технологиям, которые широко патентуются. В случае аккумуляторов уровень патентования превышает общую патентную активность, особенно в 2010-е гг. Их доля в совокупном массиве патентов на устройства хранения электроэнергии составляет почти 90% (IEA, EPO, 2020).

Экономическая ценность патентов существенно варьирует в зависимости от ряда не связанных с технологиями факторов, таких как страновая и отраслевая специфика. Каждое патентное ведомство проводит свою политику патентования и имеет собственные правила в отношении пороговых значений патентоспособности. В свою очередь, отрасли различаются по степени наукоемкости и режимам конкуренции. В настоящей статье патентные заявки служат индикатором инновационной деятельности, поскольку они весьма информативны в отношении развития технологий и являются уникальным инструментом охраны интеллектуальной собственности в средне- и высокотехнологичных инно-

вационных отраслях. Это касается и новых технологий, критически важных для обеспечения устойчивости (Leiponen, 2014; Mendonça et al., 2021).

Эмпирические данные

Источником данных для нашего исследования служил Глобальный патентный индекс (Global Patent Index, GPI) Европейского патентного ведомства (European Patent Office, EPO). Любой поисковый запрос по этой базе позволяет извлекать тысячи записей в пригодном для статистического представления формате. Помимо качества и количества данных, для эмпирического патентного анализа также важны практические аспекты их обработки. В исследовании использована Международная патентная классификация (International Patent Classification, IPC), основанная на древовидной схеме кодирования. Степень ее детализации возрастает по мере снижения уровня иерархии (раздел, класс, подкласс, группа, подгруппа). Патенты могут иметь несколько классификационных кодов, относящих их к разным технологическим категориям и отраслям. Данный аспект может восприниматься как «слабое место» патентов в качестве индикатора инновационной деятельности, тем не менее, благодаря ему извлекается ценная информация о «многомерных» технологиях. Патенты, охватывающие разные категории, можно считать более «комбинаторными» (в классическом шумпетерианском понимании инноваций как «новых комбинаций»), чем другие.

Период между подачей патентной заявки и ее публикацией обычно составляет 1–1.5 года. Данное обстоятельство учитывается нами при указании даты публикаций. Аналогично, будем считать, что на момент извлечения информации база данных уже была консолидирована, поскольку патенты, опубликованные в период с 2005 по 2019 г., извлекались в декабре 2020 г.

В ходе исследования учитывались все патентные заявки вне зависимости от того, в какое патентное ведомство они были поданы.³ Авторы ставили своей задачей выявить важнейшие тенденции и траектории технологического развития на основе анализа «пространства знаний» об аккумуляторах, без учета потенциальной экономической ценности изобретений (Tahmooresnejad, Beaudry, 2019). Если фокус делается на стоимостных аспектах, то целесообразно рассматривать патентные семейства (Martínez, 2011), однако при таком подходе многие изобретения могут быть упущены из виду (Criscuolo, 2006). В нашем случае вне поля зрения остались бы столь малозаметные факторы, как взаимосвязь технологий или изменение типов инноваций.

Обоснованность подхода, выбранного для нашего исследования, подтверждается тем, что в ранее упомянутом докладе МЭА и ЕПВ (IEA, EPO, 2020) выявлены сходные тенденции инновационной деятельности в области разработки аккумуляторов. Аналогичная картина прослеживается в динамике развития определенных видов аккумуляторов, изученной на более длительном

³ Традиционно выборка анализируемых патентов ограничивается базой какого-либо одного (Lee, Lee, 2013) или нескольких (Kim, Lee, 2015) патентных ведомств.

периоде с применением иных индикаторов (Malhotra et al., 2021) и по другим категориям патентов (Metzger et al., 2023).

Выявление технологий

Электрические аккумуляторы входят в подкласс IPC H01M (патенты, связанные с прямым преобразованием химической энергии в электрическую). Три образующие его группы представляют различные компоненты аккумуляторных систем: электроды, вторичные элементы и неактивные компоненты (табл. 1).

Для выявления патентных заявок, в которых упоминается единственный аккумуляторный компонент, выполнялся поиск по ключевым словам: «NAP only», «Electr only» и «SC only» (означают, соответственно, исключительно «Неактивные компоненты», «Электроды» либо «Вторичные элементы»). Многокомпонентные патентные заявки обнаружили с помощью запросов: «Неактивные компоненты + электроды», «Неактивные компоненты + вторичные элементы», «Электроды + вторичные элементы» и «Неактивные компоненты + электроды + вторичные элементы». Объединение результатов перечисленных запросов дало совокупность «Все аккумуляторы». В итоге удалось структурировать патентные заявки в соответствии с топологией ключевых компонентов без дублирования данных.

Чтобы исключить патенты, не связанные с вторичными аккумуляторами, в ходе сбора данных были отсеяны подклассы первичных (H01M 6), топливных

(H01M 8) и гибридных элементов (H01M 12), электрохимических генераторов тока (H01M 14) и их комбинаций (H01M 16). Таким образом, выявленные патенты относятся исключительно к конструкции аккумуляторов или электрохимических систем хранения энергии в целом. Для исключения указанных групп в поисковых запросах использовались булевы операторы. По мере возможности запросы формулировались на основе классификации IPC (классы, подклассы, группы и подгруппы). В остальных случаях (и для обеспечения полноты картины) поиск осуществлялся по ключевым словам в заголовках и аннотациях патентов. Наш выбор обусловлен тем, что коды IPC обозначают техническую область изобретения, на которое подается патентная заявка. Подобный подход обеспечивает более надежные результаты, чем опора на ключевые слова, такие как «аккумулятор» или «элемент», присутствующие в названии либо в аннотации патента.

Для анализа технологий зарядки аккумуляторов был сформулирован дополнительный поисковый запрос с тремя группами, не относящимися к подклассу H01M: H02J 3/32, H02J7 и B60L53 (см. табл. 1). При поиске технологий охлаждения⁴ учитывались коды H01M10/60, H01M10/443, H01M10/486, H01M50375 или H01M50/581, которые охватывают все группы, связанные с охлаждением аккумуляторов либо управлением температурным режимом.

По другим аккумуляторным технологиям выполнялись дополнительные запросы, с помощью которых

Табл. 1. Патентная классификация компонентов аккумуляторов на основе IPC

Группы	Содержание
Неактивные компоненты	
H01M 2 — детали конструкции или процесс производства неактивных компонентов	Технические вопросы в отношении корпуса, обертки или покрытия элемента, контактов, уплотнительных материалов, сепараторов, контейнеров для электролита, амортизаторов и др.
Электроды	
H01M 4 — электроды	Новые технологии изготовления электродов, модели электродов и электродные материалы; это ключевые компоненты аккумуляторов в терминах емкости, мощности и плотности энергии (Mei et al., 2019).
Вторичные элементы	
H01M 10 — вторичные элементы; их изготовление	Общие технологии производства элементов, электролитов, аккумуляторов, электроинструментов, механизмов охлаждения и т. д.
Зарядка	
H02J 3/32	Подкласс H02J включает патенты на микросхемы или системы подачи, распределения и хранения электроэнергии. Группа H02J3 охватывает микросхемы для электросетей, в том числе распределительных и переменного тока. Подгруппа H02J3/32 описывает системы регулирования сетевой нагрузки с помощью аккумуляторов, используемых для хранения энергии.
H02J 7	Группа H02J7 объединяет патенты на микросхемы для зарядки или деполяризации аккумуляторов или для использования энергии аккумуляторов.
B60L 53	Подкласс B60L охватывает патенты, связанные с электрическим приводом транспортных средств. Группа B60L53 синтезирует методы зарядки аккумуляторов, специально адаптированные для электромобилей и зарядных станций.
H01M10/44	Патенты на методы зарядки или разрядки вторичных элементов.
Источник: составлено авторами.	

⁴ В отличие от прочих, технологии охлаждения и изготовления твердотельных аккумуляторов выявлялись в течение 2022 г. с использованием классификации IPC версии 2022.01.

перепроверялись основные группы компонентов аккумуляторов (H01M 2, H01M 4, H01M 10). Поиск осуществлялся по ключевым словам, присутствующим на первой странице патента. Например, патенты на свинцово-кислотные аккумуляторы выявлялись по таким терминам, как «свинцово-кислотные», «VRLA» (*valve regulated lead acid* — клапанно-регулируемые свинцово-кислотные), «SLA» (*sealed lead acid* — герметичные свинцово-кислотные), или «lead acc» (свинцовые аккумуляторы). Поскольку некоторые из обнаруженных новых технологий не имеют кода IPC, другие коды, связанные с аккумуляторными типологиями, для них не использовались, чтобы избежать искажения картины. Для поиска патентов на проточные аккумуляторы выполнялся отдельный запрос. Исходя из того, что они относятся к подгруппе H01M 8/18, которая входит в иерархию топливных элементов, поиск проводился с использованием соответствующих ключевых слов по группе H01M 8 (см. Приложение А). В последние годы заметным вниманием пользуются твердотельные аккумуляторы. В них применяются твердые электроды и электролиты из различных материалов. Эта технологическая ветвь пересекается с некоторыми ранее упомянутыми технологиями. Поиск патентов на твердотельные аккумуляторы осуществлялся по основным группам аккумуляторных компонентов⁵ с опорой на ключевое слово «твердотельные» (*solid-state*).

Для проверки связи патентования аккумуляторных решений с технологиями фотоэлектрической или ветровой генерации выполнялись поисковые запросы, позволившие обнаружить пересечение между любыми «аккумуляторными» группами IPC и категориями, относящимися к солнечной либо ветровой энергетике. Чтобы проанализировать взаимосвязь аккумуляторов с электромобильностью, патенты на аккумуляторы были сопоставлены с группами B60L 11 и B60L 50⁶ (системы питания электромобилей). Наконец, для оценки взаимосвязи технологий зарядки или питания аккумуляторов с другими разработками осуществлялся перекрестный запрос, позволивший обнаружить патенты на технологии зарядки и питания с присутствием кодов, относящихся к генерации ветровой, фотоэлектрической энергии и электромобилям. При выявлении патентов на зарядные устройства на основе фотоэлектрической энергии учитывалась подгруппа H02J 7/35. Методологические протоколы подробно описаны в Приложении А.

Категоризация инноваций

Наиболее популярной классификацией инноваций, пожалуй, являются концепции *продуктовых* (новые или существенно модернизированные продукты) и *процессных инноваций* (новые или более совершенные методы производства либо распределения продукции) (Fagerberg, 2004). Продуктовые инновации являются

прямым результатом экономической деятельности, тогда как процессные связаны с соотношением «затраты – результаты»⁷. В случае аккумуляторов, в качестве примера инновационного продукта можно привести модернизированные модели батарей, тогда как новые методы их сборки относятся к инновационным процессам.

С точки зрения эффекта выделяются *инкрементальные* инновации (постепенное усовершенствование имеющихся инструментов) и *радикальные* (появление которых ведет к отказу от использования существующих знаний и технологий) (Dodgson, 2008). Радикальные инновации создаются на основе синтеза знаний из нескольких не связанных друг с другом направлений, что делает их более универсальными (и рискованными), чем технологии, базирующиеся на одной предметной области. В результате такие нововведения становятся отправной точкой для новых технологических траекторий (Hesse, Fornahl, 2020). В случае аккумуляторов в качестве примера можно привести новую архитектуру элемента. В настоящей статье эти критерии использованы для выявления направлений развития современных аккумуляторных технологий.

Научная литература не дает однозначных рекомендаций в отношении операционализации концепций продуктовых и процессных, а также радикальных либо инкрементальных инноваций. Многое остается на усмотрение аналитиков, в зависимости от поставленных задач и доступных эмпирических материалов (Dziallas, Blind, 2019; Katila, 2000). В настоящем исследовании четыре упомянутые категории инноваций разграничиваются посредством различных методологических подходов на основе содержания и классификации патентов (название, формула изобретения, описание, категория IPC и т. д.). Поскольку существует несколько подгрупп IPC, связанных с производством аккумуляторных компонентов, патентная заявка, принадлежащая хотя бы к одной такой подгруппе, считается процессной инновацией. Заявки, не относящиеся ни к одной из них, причисляются к продуктовым инновациям. Для оценки эффекта авторы исходили из того, что инновации являются инкрементальными, если усовершенствуют только один элемент аккумулятора (электроды, неактивные компоненты или вторичные элементы). В случае радикальной новизны объектами модернизации оказываются как минимум два элемента. Тем самым, открываются возможности для значительного прогресса благодаря синергии с ранее не использовавшимися характеристиками (Castaldi et al., 2015).

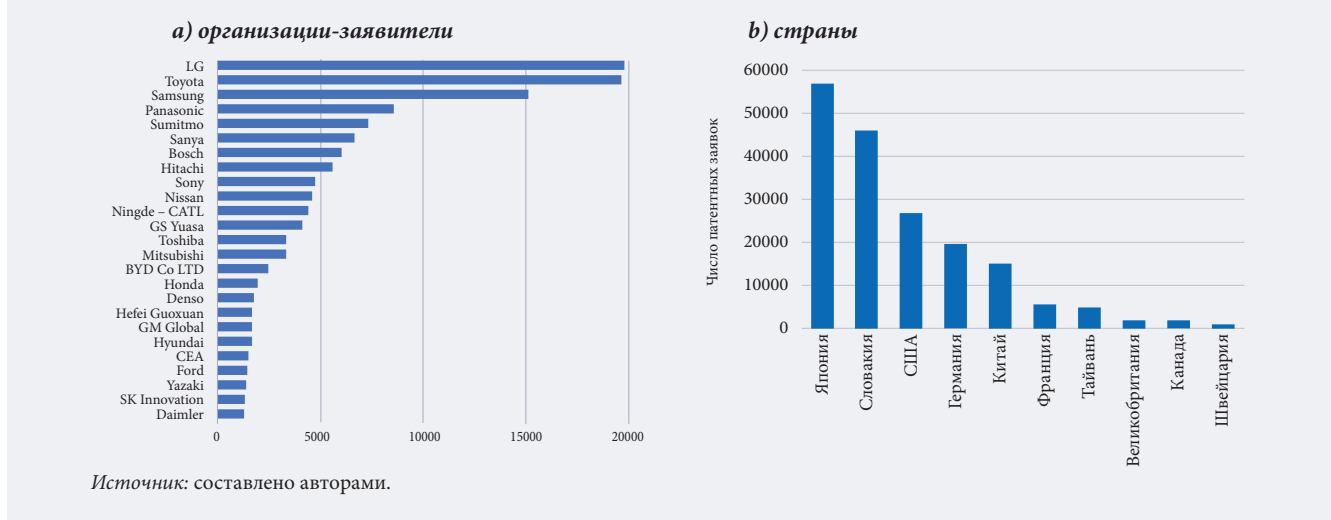
В ходе исследования проанализировано свыше 700 000 патентных заявок, поданных в 2005–2019 гг. Результаты дают представление о важнейших направлениях аккумуляторных технологий и главных игроках инновационной деятельности. Изучена системная взаимосвязь с возобновляемыми источниками энергии и

⁵ В версии IPC 2022.01 группу H01M 50 заменила группа H01M 2.

⁶ В версии IPC 2019.01 группа B60L 11 была перенесена в группу B60L 50.

⁷ Актуальный обзор эмпирических исследований эффекта продуктовых и процессных инноваций в отношении производительности представлен в работе (Домнич, 2022).

Рис. 1. 25 организаций и 10 стран, подавших наибольшее число патентных заявок на аккумуляторные технологии (2005–2019 гг.)



технологиями мобильности. Выявлены наиболее значимые инновации в каждой из категорий (инкрементальные, радикальные, продуктовые и процессные) на основе существующих определений. Некоторые факты вызывают особый интерес.

Результаты

Ведущие заявители

На рис. 1(а) представлены 25 организаций, подавших наибольшее количество заявок в 2005–2019 гг. В основном это крупные компании, из которых 13 представляют Японию, четыре — Южную Корею, три — Китай, по две — Германию и США. Единственная государственная организация в списке — Центр исследований атомной энергии (Centre Energie Atomique, CEA), Франция.

Высокие позиции восточноазиатских игроков согласуются с данными из публикации (IEA, EPO, 2020). Лидерство японских и южнокорейских корпораций в патентовании можно объяснить значимой ролью высокотехнологичных и экспортно ориентированных секторов этих стран в отраслях, активно использующих аккумуляторы (бытовая электроника и автомобили), а также амбициозной политикой исследований и разработок (ИиР). Она нацелена на удовлетворение приоритетных потребностей ведущих отраслей национальной экономики и проводится Японией и Южной Кореей в течение многих лет (с 1990-х гг.) для развития технологий «чистой энергии», включая аккумуляторные (IEA, 2008; Jeong, Mah, 2022). Напротив, в Германии, несмотря на многообещающую стратегию энергетического перехода (ряд последовательно утвержденных программ ИиР по развитию энергетики), промышленность не проявляет заметного интереса к системам хранения энергии, которые вошли в число приоритетных направлений ИиР лишь в 2011 г.⁸

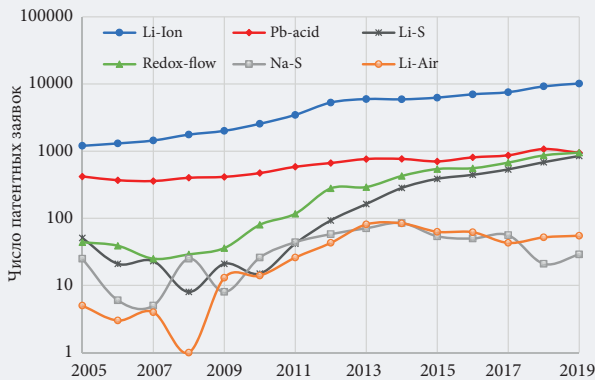
На рис. 1(б) видно, что в 2005–2019 гг. главными игроками в области аккумуляторных инноваций были Япония (JP) и Южная Корея (SK); далее идут США (USA), Германия (GER) и Китай (CN). В последние пять лет наблюдается стремительный рост числа патентных заявок, поданных крупными китайскими компаниями (IEA, EPO, 2020). Если данная тенденция сохранится, то, вероятно, приведет к существенным изменениям в составе лидеров инновационной деятельности в сфере аккумуляторных технологий. В целом яркие результаты «глобального Востока» в значительной степени обусловлены целенаправленными национальными стратегиями развития технологий «чистой энергетики» (Tan, 2010; Malhotra et al., 2021; May et al., 2018). Темпы создания знаний в области производства аккумуляторов показывают, что эффективная политическая поддержка является действенным способом реализации глобальных стратегий (IEA, 2022).

Основные направления развития аккумуляторных технологий

На рис. 2 выделяются как минимум четыре закономерности в тенденциях патентования аккумуляторов. Наиболее популярны литий-ионные технологии (среднегодовой темп роста числа патентных заявок 17%) — более трех четвертей всех заявок, опубликованных в 2005–2019 гг. Высокую изобретательскую активность в отношении данного типа аккумуляторов можно объяснить их широкой применимостью. Производительность последних оценивается с помощью разных критериев, однако в целом такие технологии обеспечивают эффективные решения для мобильных и стационарных устройств при снижении относительных цен (IEA, EPO, 2020). Хорошие результаты демонстрируют свинцово-кислотные (Pb-acid) аккумуляторы. Эта зрелая технология с устойчивым потоком инноваций играет важную

⁸ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/6-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.html>, дата обращения 16.01.2023.

Рис. 2. Патентные заявки на основные типы аккумуляторов (логарифмическая шкала)



Источник: составлено авторами.

роль на растущем рынке стационарных аккумуляторных систем (May et al., 2018). Выявлены признаки структурных перемен: примерно с 2010 г. набирают популярность окислительно-восстановительная (redox-flow) и литий-серная (Li-S) технологии. На протяжении оставшейся части анализируемого периода темпы роста числа соответствующих патентных заявок превысили 30%. Патентование литий-воздушных (Li-air) и натрий-серных (Na-S) технологий остается незначительным, хотя прежде они выглядели многообещающими. В частности, Na-S рассматривалась как возможный вариант для сетевого хранения энергии (Hirsh et al., 2020). В большинстве патентов (свыше 75%) не упоминаются разработки конкретных компонентов, которые можно использовать в аккумуляторах на базе других технологий.

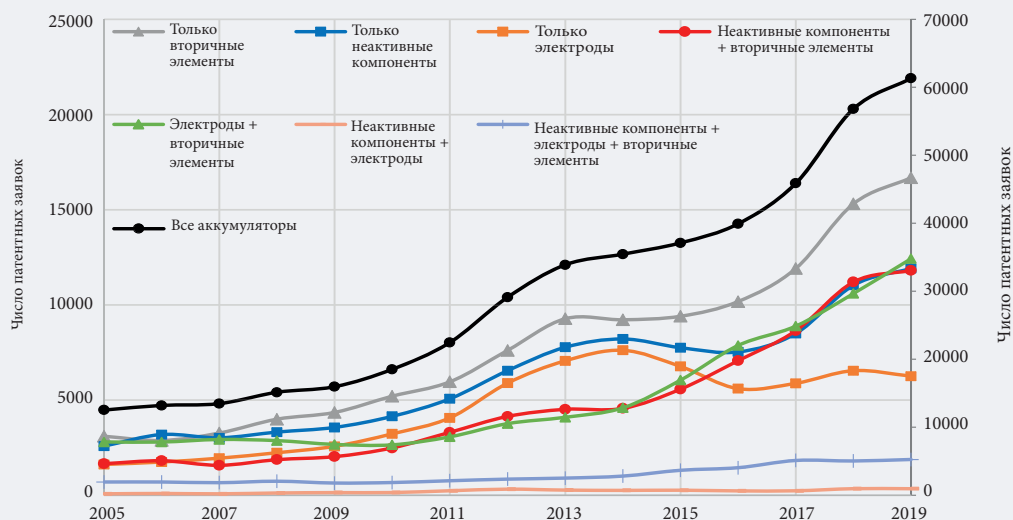
Интерес к технологиям на основе твердых электролитов вызван стремлением повысить плотность энергии и безопасность аккумуляторов (Kim et al., 2015). Твердотельные аккумуляторы представляют собой комплексную конструкцию, интегрирующую несколько технологий. В последние годы наблюдается быстрый рост числа связанных с ними патентов (более 30% в год с 2011 г.), которое в 2019 г. оказалось выше, чем для всех не ионно-литиевых технологий. Приведенная динамика свидетельствует о растущей значимости таких решений и о возможном появлении новой траектории технологического развития.

Общая динамика и ключевые технологии компонентов

Динамика патентных заявок на аккумуляторы по годам представлена на рис. 3. Общее их число («Все аккумуляторы», правая ось) росло на протяжении всего анализируемого периода и увеличилось в пять раз. Подтверждаются выводы недавнего доклада (IEA, EPO, 2020), согласно которому развитие аккумуляторных технологий демонстрирует «всплеск инновационной активности», поскольку скорость подъема здесь выше, чем для патентования в целом. Выделяются ранний этап нарастания (до начала 2010-х гг.), период стагнации (до середины 2010-х гг.) и стадия новой активизации (до конца десятилетия).

Анализ по отдельным компонентам аккумуляторов показывает, что наиболее активно растет число патентов на «Только вторичные элементы». За ними следуют «Только неактивные компоненты», «Электроды + вторичные элементы» и «Неактивные компоненты + вторичные элементы». Это — явное свидетельство существенных инвестиций в разработку указанных аккумуляторных технологий. В свою очередь сегмент «Только электроды» не преодолел относительную стаг-

Рис. 3. Патентование пакетов аккумуляторных технологий



Примечание: данные для группы «Все аккумуляторы» приведены на правой оси.

Источник: составлено авторами.

Табл. 2. Количество патентов на основные компоненты аккумуляторов (2005–2019 гг.)

Компонент	Число патентов
Электроды	1.7×10^5
Электролиты	4.8×10^4
Корпуса элементов	5.2×10^4
Сепараторы	3.3×10^4

Источник: составлено авторами.

нацию. Среди многокомпонентных патентных заявок выделяются группы «Электроды + вторичные элементы» и «Неактивные компоненты + вторичные элементы», демонстрирующие стабильный рост на всем протяжении анализируемого периода. В последние годы данные «пакеты» (конкретные конфигурации аккумуляторных компонентов) даже опережают «Только электроды» и выходят на уровень «Только неактивных компонентов», что указывает на рост числа патентных заявок на разработки, основанные на нескольких технологиях. Напротив, количество заявок на пакеты «Неактивные компоненты + электроды» и «Неактивные компоненты + электроды + вторичные элементы» в 2004–2019 гг. было очень незначительным. Иными словами, неактивные компоненты крайне редко патентовались совместно с электродами (как в сочетании с вторичными элементами, так и без них).

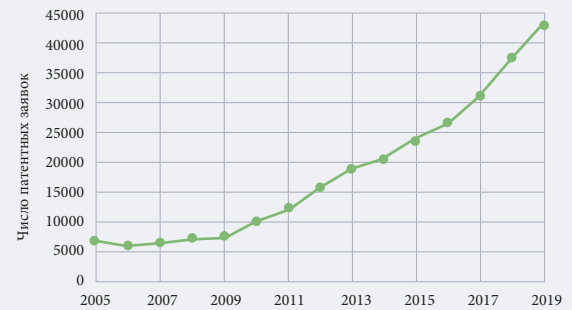
Как видно из табл. 2, большинство патентов (со значительным отрывом) регистрируются для электродов. Отсюда следует, что главным фактором инновационной деятельности в области разработки аккумуляторов является повышение их эффективности. В число других важных компонентов входят электролиты, корпуса элементов и сепараторы. Патентование электродов и электролитов связано со стремлением повысить емкость аккумуляторов (особенно плотность энергии). Увеличение числа патентов на корпуса элементов и сепараторы можно объяснить необходимостью адаптировать аккумуляторы к большему спектру сфер применения. Последние касаются как портативной электроники (сотовых телефонов, планшетов и т. д.), так и средств мобильности (автомобили, велосипеды, скутеры, беспилотные летательные аппараты) (Golembiewski et al., 2015; IEA, EPO, 2020).

Зарядка и охлаждение аккумуляторов

На рис. 4 проиллюстрирован рост числа патентных заявок на технологии зарядки и питания аккумуляторов (H02J3/32 и H02J7). С 2009 г. этот показатель быстро увеличивался (в среднем на 19% в год). Подобную динамику можно объяснить требованием адаптации интерфейсов к новым сферам применения. Растет потребность в технологиях быстрой зарядки аккумуляторов для электромобилей (Tomaszewska et al., 2019), адаптации процессов зарядки и разрядки аккумуляторов для нестабильных источников энергии (Zhao et al., 2018).

Из-за увеличения плотности энергии и активизации использования технологий быстрой зарядки актуаль-

Рис. 4. Патентование технологий зарядки/питания аккумуляторов



Источник: составлено авторами.

ной проблемой стало охлаждение аккумуляторов, особенно в электромобилях (Lu et al., 2020). Соответственно, резко возросло количество патентов на соответствующие технологии (в среднем на 35% в год в 2005–2019 гг.). В 2019 г. их общее число превысило 8000 — больше, чем по всем неэлектродным компонентам.

Взаимосвязь с другими экологичными технологиями

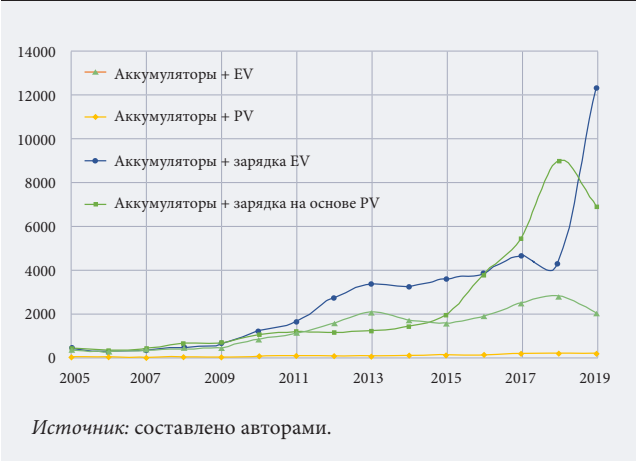
Нами предпринята попытка выявить синергию между использованием аккумуляторов и других «чистых» технологий (возобновляемых источников энергии и электромобилей). Совместное патентование разработок в области зарядки аккумуляторов и ветровой энергетики оказалось незначительным. В ближайшем будущем подобный расклад, скорее всего, сохранится. Причина в том, что гидроэлектростанции и системы CAES более экономичны, чем аккумуляторы (Barnhart et al., 2013; Ding et al., 2012). Обнаружена взаимосвязь между аккумуляторами и другими технологиями генерации (например, фотоэлектрическими солнечными батареями) и использования энергии (электромобилями и др.), особенно в отношении зарядки.

На рис. 5 отмечается быстрый рост в последнее десятилетие числа совместных патентов, связывающих зарядку аккумуляторов с фотоэлектрическими системами (свыше 20% всех патентов на системы зарядки). Можно заключить, что упомянутая комбинация стала одним из центральных направлений инновационной деятельности в рассматриваемой области. Отмечается существенное пересечение патентования систем зарядки аккумуляторов и технологий электромобилей: к 2019 г. совместные патенты составили более четверти общего их числа в отношении зарядных устройств.

Общие тенденции инноваций в области аккумуляторных технологий

Траектории инновационной деятельности рассматривались сквозь призму концепций инкрементальных, радикальных, продуктовых и процессных инноваций. На рис. 6 наблюдается устойчивый рост патентования

Рис. 5. Эволюция совместного патентования аккумуляторных технологий, электромобилей (EV) и фотоэлектрической генерации (PV)



всех типов инноваций (за исключением инкрементальных в 2014–2016 гг.). Как и ожидалось, инкрементальные разработки патентуются чаще, хотя в последние годы доля радикальных также растет. Резкий рост числа патентов на инкрементальные инновации и его последующее снижение в 2014–2016 гг. хорошо коррелируют с динамикой патентования «Только электродов» (рис. 3). Отсюда следует вывод, что временное увеличение числа патентов на инкрементальные инновации обусловлено преимущественно увеличением электродных разработок. Оно достигло пика в 2014 г., после чего всплеск пакетного патентования аккумуляторных технологий способствовал приросту радикальных инноваций. Большинство патентов на аккумуляторы, очевидно, относятся к продуктам (артефактам или системам), а не к процессам (методам сборки и производства). Притом что в 2005–2019 гг. наблюдался значительный рост совокупного числа патентных заявок на все типы инноваций, доли по каждому отдельному типу в целом оставались стабильными. Из расклада по удельным весам различных типов инноваций, представленного в табл. 3, видно, что патентуемые продуктовые инновации обычно являются инкрементальными, а процессные — более радикальными.

Табл. 3. Доли патентов на аккумуляторы в 2005–2019 гг. по типам инноваций (%)

Тип инноваций	Степень новизны		Всего продук- товые/процес- сные
	Инкрементальные	Радикальные	
Продуктовые	51	23	74
Процессные	11	15	26
Всего инкрементальные / радикальные	62	38	100

Источники: составлено авторами.

Распределение по типам инноваций

Объектом дальнейшего анализа стали патенты на литий-ионные, свинцово-кислотные, литий-сернистые и проточные аккумуляторы, в отношении которых наблюдается максимальная инновационная активность. Они распределялись по типам инноваций. Из рис. 7 следует, что для литий-ионных аккумуляторов число патентов на инкрементальные инновации в сравнении с радикальными практически одинаково.

До 2014 г. число патентов на инкрементальные инновации быстро увеличивалось, что хорошо коррелирует с ростом патентования в группах «Только электроды» и «Только неактивные компоненты» (рис. 3). Но когда оно достигло двух третей совокупного числа патентов, началось снижение, и на первое место вышли радикальные инновации. Участвовавшее появление прорывных разработок в области зрелых литий-ионных технологий, скорее всего, связано с необходимостью адаптации последних к новым сферам применения. Две трети патентов, связанных со свинцово-кислотными аккумуляторами, приходится на инкрементальные инновации, остальные — на радикальные. Подобное соотношение сохраняется в течение длительного времени, что естественно для зрелой технологии. Напротив, в случае литий-серных аккумуляторов две трети патентов связаны с радикальными инновациями. Их взрывной прирост наблюдается с момента выхода в 2014 г. на первое место в литий-серной группе. Наконец, в отношении проточных аккумуляторов (новая технология) оба типа инноваций устойчиво набирают обороты, тем не менее, 75% всех патентов приходится на инкрементальные. Сфокусированность инновационной деятельности в

Рис. 6. Эволюция типов инноваций во времени

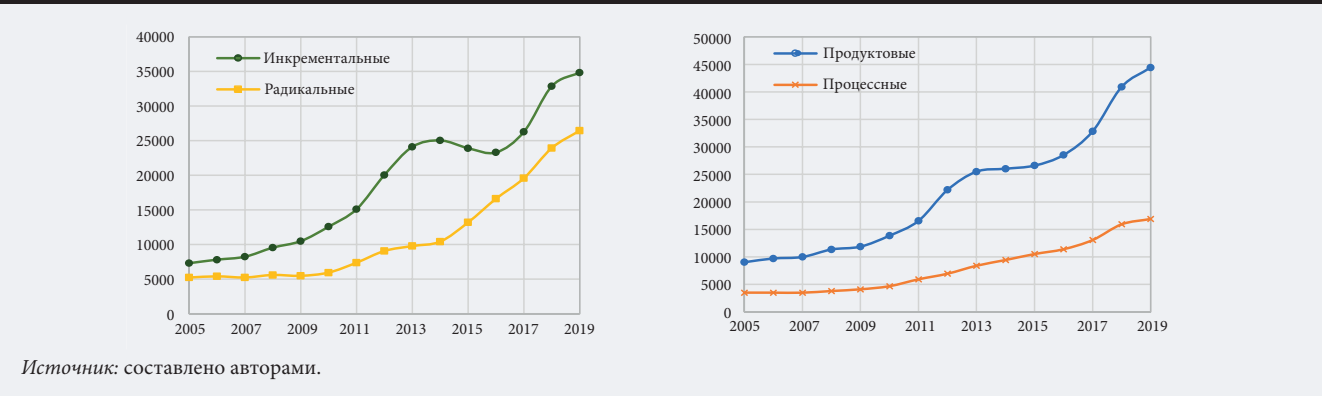
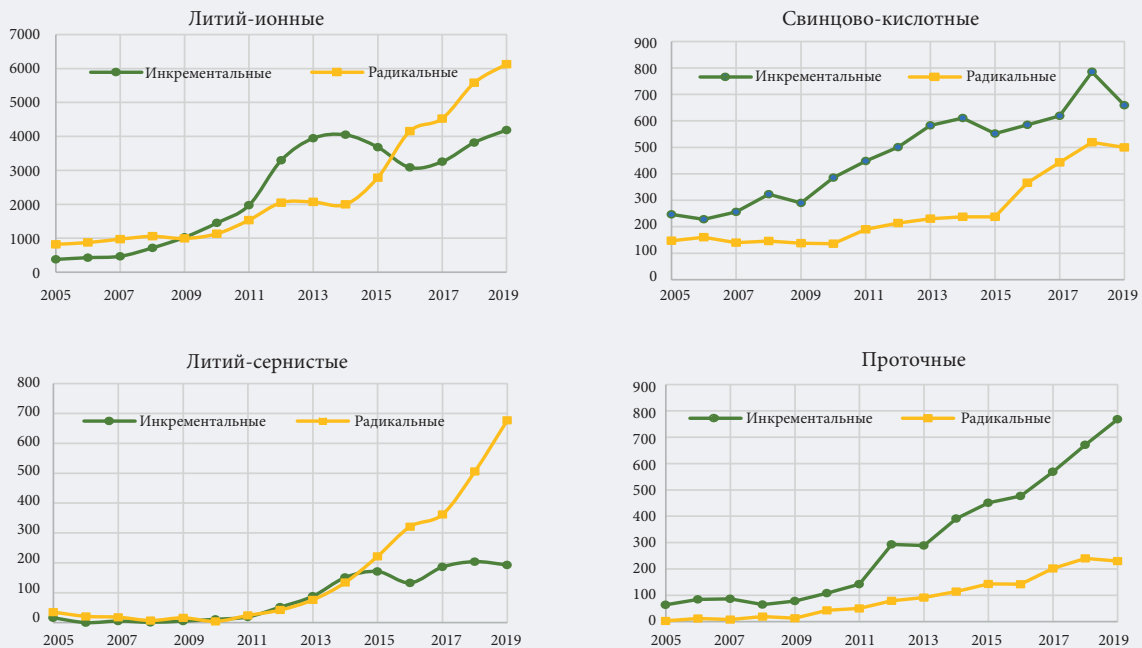


Рис. 7. Динамика инкрементальных и радикальных инноваций в области четырех основных аккумуляторных технологий



Источник: составлено авторами.

данной области на повышении производительности (тенденции к патентованию преимущественно инкрементальных инноваций) объясняется особой природой проточных аккумуляторов и их применимостью преимущественно в электросетях.

Напомним, что в большинстве рассматриваемых патентов (75%) конкретные аккумуляторные технологии не упоминаются. В основном они регистрируют инновационные решения для отдельных компонентов аккумуляторов. Как следствие, в этой области преобладают инкрементальные инновации (62% всех патентов).

На рис. 8 представлена динамика патентования продуктовых и процессных инноваций для четырех основных аккумуляторных технологий. Большинство патентов относятся к продуктовым инновациям, что соответствует выводам работы (Malhotra et al., 2021).

Для литий-ионной технологии треть патентов относятся к категории процессных инноваций. Число патентов на продуктовые и процессные инновации растет, хотя их доли остаются более или менее стабильными. Треть патентов на свинцово-кислотные аккумуляторы — процессные инновации. Хотя активно патентуются и продуктовые, и процессные инновации, в период с 2005 по 2019 г. доля последних увеличилась с 28% до 42%. Треть патентов на литий-серные технологии представляют процессные инновации, но удельный вес продуктовых в последние годы значительно возрос (до 75% в 2019 г.). Наконец, свыше 90% патентов на технологии проточных аккумуляторов относятся к продуктовым инновациям. В целом, если в течение анализируемого периода их создание существенно активизировалось, то патентование процессных остается скромным. В отношении литий-ионных и свинцово-кислотных техно-

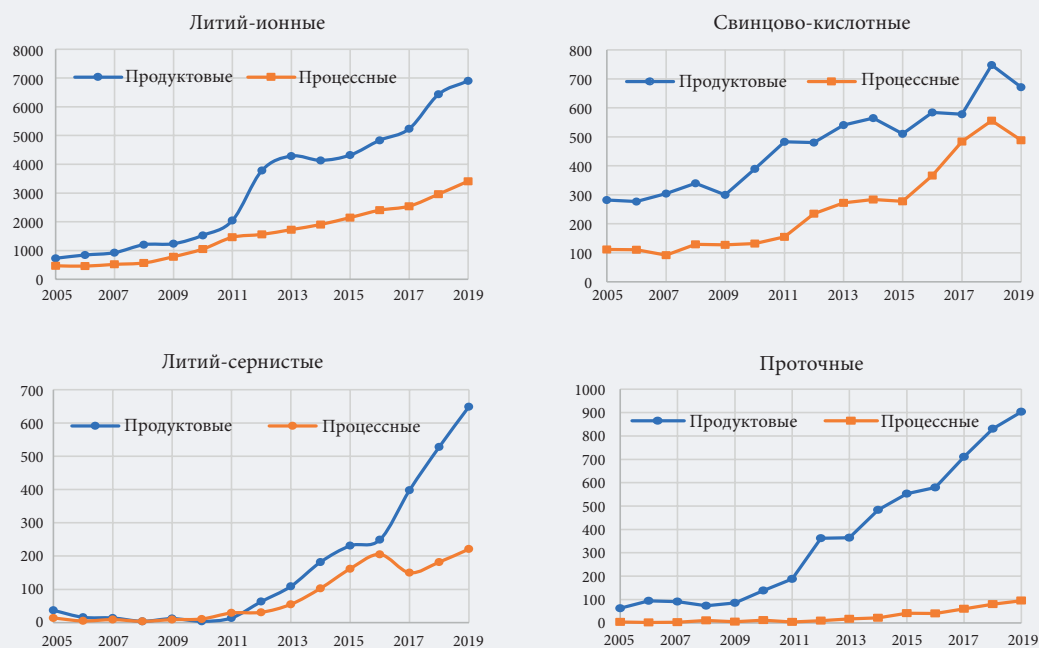
логий доля процессных инноваций увеличивается. Для литий-серийных и проточных аккумуляторов наблюдается обратная тенденция (что соответствует уровням зрелости указанных технологий).

В целом сфера аккумуляторных технологий характеризуется высокой инновационной активностью. В рейтинге патентных заявителей лидируют крупные восточноазиатские производители бытовой электроники и автомобилей. Из аккумуляторных компонентов наиболее динамично развиваются электроды. Помимо зрелых технологий, таких как литий-ионные и свинцово-кислотные, наиболее перспективными представляются литий-серные и проточные аккумуляторы. Синергия аккумуляторных разработок с технологиями генерации и использования энергии возникает преимущественно в области зарядки и разрядки. Если ранее доминировали инкрементальные продуктовые инновации, то в 2005–2019 гг. на долю радикальных продуктов приходилось около четверти патентных заявок. Представленный в настоящем исследовании анализ большого массива патентных данных о темпах и направлениях технологических изменений в инновационной экосистеме аккумуляторов может быть полезен как для частного, так и для государственного сектора, включая ориентированных на рынок инвесторов и независимых регуляторов.

Заключение

В последние десятилетия возможности использования новых технологий для предотвращения и смягчения последствий изменения климата стали приоритетом в политической повестке многих государств и международных организаций, в основном благодаря синергии

Рис. 8. Динамика патентования продуктовых и процессных инноваций



Источник: составлено авторами.

между задачами цифровизации и устойчивого развития. Генерация, хранение и распределение электроэнергии играют ключевую роль в социально-технологическом переходе к более чистым и комплексным режимам инновационной и производственной деятельности, распределения и потребления. Мы основываемся на представлении о создании инноваций как неоднородном эволюционном процессе с высокой степенью неопределенности. Выявлена динамика взаимодействия функциональных возможностей аккумуляторов со сферами их применения, определяющая технологические траектории. Результаты анализа нашей выборки патентных данных соответствуют общей картине: прорывы в аккумуляторных технологиях возникают неравномерно, но постоянно и по разным направлениям. Представленные выводы могут служить ориентирами для инвестирования в разработки аккумуляторных и вспомогательных низкоуглеродных энергетических технологий.

Патентные данные за 2005–2019 гг. показывают, что инновационная деятельность в области аккумуляторных технологий значительно активизировалась по разным технологическим векторам. Наибольший вклад в этот процесс вносят Япония, Южная Корея, США, Германия и Китай. Ключевым направлением инновационной деятельности в настоящее время являются литий-ионные аккумуляторы. Литий-серные и проточные выходят на передний план как наиболее перспективные технологии, и в ближайшие годы следует внимательно следить за их развитием. В последнее время серьезное внимание уделяется твердотельным аккумуляторам. О перспективности этого сегмента свидетельствует динамика патентных данных за 2005–2019 гг. Важное наблюдение для разработчиков стратегий

декарбонизации заключается в том, что применение аккумуляторов существенно варьирует по отраслям, определяя траектории инновационной деятельности. Ввиду стремления увеличить емкость аккумуляторов наиболее динамично развивающимся компонентом становятся электроды. Необходимость повысить плотность энергии и сократить время зарядки аккумуляторов стимулируют новые технологические решения для их охлаждения. Специфика взаимодействия технологий генерации и использования энергии предъявляет особые требования к системам зарядки и питания аккумуляторов. Как следствие, они оказались самым инновационным направлением, что подтверждено эмпирически. Инновации развиваются по всем четырем измерениям (продуктовые, процессные, инкрементальные и радикальные), при этом долевое соотношение между ними остается стабильным. На протяжении двух проанализированных десятилетий доминирование сохраняли инкрементальные и продуктовые инновации.

Дальнейший вектор развития аккумуляторных технологий будет зависеть от общей направленности ИиР в поиске ответов на глобальные социальные вызовы. Действующим в сфере энергетики институтам (ведомствам, ответственным за разработку политики, регулирование, стандартизацию и т. д.) рекомендуется формировать отраслевые программы развития с учетом динамической перспективы. Для энергетической трансформации необходима постоянная, стратегически ориентированная инновационная деятельность. Чтобы обеспечить прогресс в области технологий хранения энергии, следует использовать разнообразные источники знаний, экспериментировать и активно инвестировать. Это позволит лицам, принимающим

решения в государственном и частном секторах, ориентироваться в быстро меняющемся мире технологий. Систематический мониторинг трендов ИиР и фокус на долгосрочной перспективе играют особую роль в условиях климатических шоков и ресурсного дефицита.

Одно из ограничений исследований на основе патентных данных (включая представленное) заключается в том, что чаще патентуются инновации, созданные в основном крупными компаниями. Кроме того, в ходе изучения отдельных патентов невозможно однозначно определить, являются ли они частью некоей группы, в совокупности охраняющей тот или иной пакет инноваций. Более целостные результаты можно получить, если привлекать экспертов для выполнения качественной оценки, в дополнение к анализу научно-технологических индикаторов.

Наконец, заслуживает внимания географическое распределение патентных заявок. Его анализ показывает, что страны, реализовавшие комплексные долгосрочные программы развития «зеленых» энергетических технологий в партнерстве с крупными компаниями, об-

рели выгодные позиции при энергетическом переходе. К ним относятся, прежде всего, Япония и Южная Корея, к которым недавно присоединился Китай. Приведенные примеры демонстрируют, что целенаправленные изменения можно осуществлять по всему миру.

Авторы выражают признательность за финансовую поддержку португальскому Фонду развития науки и технологий (*Fundação para Ciência e Tecnologia, FCT*). Жозе Силва участвовал в проекте *FCT UIDB / 50019 / 2020 – IDL*, а Сандро Мендонка сотрудничал с Группой бизнес-исследований (*Business Research Unit, BRU-IUL*) и Отделом исследований сложности и экономики (*Research Unit on Complexity and Economics, UECE-REM*). *BRU-IUL* получил гранты *UID/GES/00315/2013, UIDB/00315/2020; UIDB/05069/2020; PTDC/EGE-ECO/30690/2017* и участвует в проекте *PTDC/EGE-ECO/30690/2017*. Сандро Мендонка работал над настоящей статьей во время пребывания в должности приглашенного профессора экономического факультета Университета Инсубрии (*University of Insubria, Италия*). Он благодарит университет за создание благоприятной для исследований атмосферы, предоставленные возможности общения со студентами и персоналом, в частности с профессорами Андреа Веззулли (*Andrea Vezzulli*) и Паоло Кастельнуово (*Paolo Castelnuovo*).

Библиография

- Домнич Е. (2022) Влияние продуктовых и процессных инноваций на производительность: обзор эмпирических исследований. *Форсайт*, 16(3), 68–82. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2022.3.68.82>
- Дхакал Т., Мин К.С. (2021) Макроанализ и прогноз перспектив распространения электромобилей. *Форсайт*, 15(1), 67–73. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.1.67.73>
- Туровец Ю., Проскурякова Л., Стародубцева А., Бьянко В. (2021) «Зеленая» цифровая трансформация в электроэнергетике. *Форсайт*, 15(3), 35–51. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.3.35.51>
- Aaldering L.J., Song C.H. (2019) Tracing the technological development trajectory in post-lithium-ion battery technologies: A patent-based approach. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118343. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118343>
- Albertsen L., Richter J.L., Peck P., Dalhammar C., Plepys A. (2021) Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU. *Resources, Conservation and Recycling*, 172, 105658. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105658>
- Albino V., Ardito L., Dangelico R.M., Messeni-Petruzzelli A. (2014) Understanding the development trends of low-carbon energy technologies: A patent analysis. *Applied Energy*, 135, 836–854. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.012>
- Azzuni A., Breyer C. (2018) Energy security and energy storage technologies. *Energy Procedia*, 155, 237–258. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.053>
- Barnhart C.J., Dale M., Brandt A.R., Benson S.M. (2013) The energetic implications of curtailing versus storing solar- and wind-generated electricity. *Energy & Environmental Science*, 6(10), 2804. <http://doi.org/10.1039/c3ee41973h>
- Bathelt H., Cohendet P., Henn S., Simon L. (2017) *The Elgar Companion to Innovation and Knowledge Creation*, Cheltenham: Edward Elgar. <http://doi.org/10.4337/9781782548522>
- Bergek A., Berggren C. (2014) The impact of environmental policy instruments on innovation: A review of energy and automotive industry studies. *Ecological Economics*, 106, 112–123. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.016>
- Berndt D. (2003) Electrochemical Energy Storage. In: *Battery Technology Handbook* (ed. H.A. Kiehne) (2nd ed.), New York: CRS Publisher, pp. 1–99.
- Caraça J., Lundvall B.-A., Mendonça S. (2009) The changing role of science in the innovation process: From Queen to Cinderella?. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(6), 861–867. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.08.003>
- Castaldi C., Frenken K., Los B. (2015) Related Variety, Unrelated Variety and Technological Breakthroughs: An analysis of US State-Level Patenting. *Regional Studies*, 49(5), 767–781. <http://doi.org/10.1080/00343404.2014.940305>
- Castellacci F., Grodal S., Mendonca S., Wibe M. (2005) Advances and challenges in innovation studies. *Journal of Economic Issues*, 39(1), 91–121. <http://doi.org/10.1080/00213624.2005.11506782>
- Castillo A., Gayme D.F. (2014) Grid-scale energy storage applications in renewable energy integration: A survey. *Energy Conversion and Management*, 87, 885–894. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.063>
- Chen K., Hou J., Song M., Wang S., Wu W., Zhang Y. (2021) Design of battery thermal management system based on phase change material and heat pipe. *Applied Thermal Engineering*, 188, 116665. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116665>
- Criscuolo P. (2006) The “home advantage” effect and patent families. A comparison of OECD triadic patents, the USPTO and the EPO. *Scientometrics*, 66, 23–41. <http://doi.org/10.1007/s11192-006-0003-6>
- Dehghani-Sanj A.R., Tharumalingam E., Dusseault M.B., Fraser R. (2019) Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 192–208. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.023>
- Diesendorf M., Wiedmann T. (2020) Implications of Trends in Energy Return on Energy Invested (EROI) for Transitioning to Renewable Electricity. *Ecological Economics*, 176, 106726. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106726>
- Ding H., Hu Z., Song Y. (2012) Stochastic optimization of the daily operation of wind farm and pumped-hydro-storage plant. *Renewable Energy*, 48, 571–578. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.008>
- Dodgson M., Gann D.M., Salter A. (2008) *The management of technological innovation: Strategy and practice* (2nd ed.), Oxford: Oxford University Press.
- Dosi G. (1982) Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147–162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)

- Dziallas M., Blind K. (2019) Innovation indicators throughout the innovation process: An extensive literature analysis. *Technovation*, 80–81, 3–29. <http://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.05.005>
- Fagerberg J. (2004) Innovation: A guide to the literature. In: *The Oxford Handbook of Innovation* (eds. J. Fagerberg, D.C. Mowery), Oxford: Oxford University Press, pp. 1–16.
- Fagerberg J., Laestadius S., Martin B.R. (2016) The Triple Challenge for Europe: The Economy, Climate Change, and Governance. *Challenge*, 59(3), 178–204. <http://doi.org/10.1080/05775132.2016.1171668>
- Feng S., Magee C.L. (2020) Technological development of key domains in electric vehicles: Improvement rates, technology trajectories and key assignees. *Applied Energy*, 260, 114264. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114264>
- Golembiewski B., Vom Stein N., Sick N., Wiemhöfer H.D. (2015) Identifying trends in battery technologies with regard to electric mobility: Evidence from patenting activities along and across the battery value chain. *Journal of Cleaner Production*, 87, 800–810. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.034>
- Hansen A.R., Jacobsen M.H., Gram-Hanssen K. (2022) Characterizing the Danish energy prosumer: Who buys solar PV systems and why do they buy them?. *Ecological Economics*, 193, 107333. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107333>
- Hesse K., Fornahl D. (2020) Essential ingredients for radical innovations? The role of (un-) related variety and external linkages in Germany. *Papers in Regional Science*, 99(5), 1165–1183. <http://doi.org/10.1111/pirs.12527>
- Hirsh H.S., Li Y., Tan D.H.S., Zhang M., Zhao E., Meng Y.S. (2020) Sodium-Ion Batteries Paving the Way for Grid Energy Storage. *Advanced Energy Materials*, 10(32), 2001274. <http://doi.org/10.1002/aenm.202001274>
- Hung S.C., Lai J.Y., Liu J. S. (2022) Mapping technological trajectories as the main paths of knowledge flow: Evidence from printers. *Industrial and Corporate Change*, 31(3), 863–889. <https://doi.org/10.1093/icc/dtab072>
- IEA, EPO (2020) *Innovation in Batteries and Electricity Storage*, Paris: IEA, EPO. <https://www.iea.org/reports/innovation-in-batteries-and-electricity-storage>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA, EPO (2021) *Patents and the Energy Transition*, Paris: IEA, EPO. <https://www.iea.org/reports/patents-and-the-energy-transition>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2008) *Energy Policies of IEA Countries: Japan 2008 Review. Review Literature and Arts of the Americas*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-japan-2008>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2020a) *Energy Storage*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-storage>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2020b) *Energy Technology Perspectives 2020*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2021a) *Global Energy Review 2021*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2021b) *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2022) *World Energy Review 2022*, Paris: IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9d0a2db4-965a-4e80-83da-562f038ff514/WorldEnergyOutlook2022.pdf>, дата обращения 15.01.2023.
- IPCC (2021) *Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva: IPCC, <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>, дата обращения 15.01.2023.
- Jeong E., Mah J.S. (2022) The Role of the Government in the Development of the Rechargeable Battery Industry in Korea. *Perspectives on Global Development and Technology*, 21(2), 1569–1500. <https://doi.org/10.1163/15691497-12341625>
- Jesus A., Mendonça S. (2018) Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*, 145, 75–89. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- Jindal A., Shrimali G. (2022) At scale adoption of battery storage technology in Indian power industry: Enablers, frameworks and policies. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121467. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121467>
- Katila R. (2000) Using patent data to measure innovation performance. *International Journal of Business Performance Management*, 2, 180–193. <https://doi.org/10.1504/IJBPM.2000.000072>
- Kim J.G., Son B., Mukherjee S., Schuppert N., Bates A., Kwon O., Choi M.J., Chung H.Y., Park S. (2015) A review of lithium and non-lithium based solid state batteries. *Journal of Power Sources*, 282, 299–322. <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.02.054>
- Kim J., Lee S. (2015) Patent databases for innovation studies: A comparative analysis of USPTO, EPO, JPO and KIPO. *Technological Forecasting and Social Change*, 92, 332–345. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.01.009>
- Kittner N., Lill F., Kammen D.M. (2017) Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition. *Nature Energy*, 2(9), 17125. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.125>
- Lee K., Lee S. (2013) Patterns of technological innovation and evolution in the energy sector: A patent-based approach. *Energy Policy*, 59, 415–432. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.054>
- Lehmann C., Cruz-Jesus F., Oliveira T., Damásio B. (2022) Leveraging the circular economy: Investment and innovation as drivers. *Journal of Cleaner Production*, 360, 132146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132146>
- Leiponen A. (2014) Intellectual Property Rights, Standards, and the Management of Innovation. In: *The Oxford Handbook of Innovation Management* (eds. M. Dodgson, D.M. Gann, N. Phillips), Oxford: Oxford University Press, pp. 559–578. <http://doi.org/10.1093/oxfordhdb/9780199694945.013.020>
- Levänen J., Lyytinen T., Gatica S. (2018) Modelling the Interplay Between Institutions and Circular Economy Business Models: A Case Study of Battery Recycling in Finland and Chile. *Ecological Economics*, 154, 373–382. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.08.018>
- Lhuillery S., Raffo J., Hamdan-Livramento I. (2017) Measurement of innovation. In: *The Elgar Companion to Innovation and Knowledge Creation* (eds. H. Bathelt, P. Cohendet, S. Henn, L. Simon), Cheltenham: Edward Elgar. <http://doi.org/10.4337/9781782548522.00013>
- Lu M., Zhang X., Ji J., Xu X., Zhang Y. (2020) Research progress on power battery cooling technology for electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 27, 101155. <http://doi.org/10.1016/j.est.2019.101155>
- Malhotra A., Zhang H., Beuse M., Schmidt T. (2021) How do new use environments influence a technology's knowledge trajectory? A patent citation network analysis of lithium-ion battery technology. *Research Policy*, 50(9), 104318. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104318>
- Martínez C. (2011) Patent families: When do different definitions really matter? *Scientometrics*, 86(1), 39–63. <http://doi.org/10.1007/s11192-010-0251-3>
- May G.J., Davidson A., Monahov B. (2018) Lead batteries for utility energy storage: A review. *Journal of Energy Storage*, 15, 145–157. <http://doi.org/10.1016/j.est.2017.11.008>
- McKelvey M. (2014) Science, Technology, and Business Innovation. In: *The Oxford Handbook of Innovation Management* (eds. M. Dodgson, D.M. Gann, N. Phillips), Oxford: Oxford University Press, pp. 69–82. <http://doi.org/10.1093/oxfordhdb/9780199694945.013.029>
- Mei W., Chen H., Sun J., Wang Q. (2019) The effect of electrode design parameters on battery performance and optimization of electrode thickness based on the electrochemical-thermal coupling model. *Sustainable Energy and Fuels*, 3(1), 148–165. <http://doi.org/10.1039/c8se00503f>
- Mendonça S., Schmoch U., Neuhäusler P. (2019) Interplay of patents and trademarks as tools in economic competition. In: *Springer Handbook of Science and Technology Indicators* (eds. W. Glänzel, H.F. Moed, U. Schmoch, M. Thelwall), Berlin: Springer, pp. 1023–1035.
- Mendonça S., Confraria H., Godinho M.M. (2021) *Appropriating the returns of patent statistics: Take-up and development in the wake of Zvi Griliches* (SWPS Paper 2021-07). <http://doi.org/10.2139/ssrn.3971764>
- Metzger P., Mendonça S.J., Damásio B. (2023) Battery Innovation and the Circular Economy: What are Patents Revealing? *Renewable Energy* (forthcoming).

- Nagaoka S., Motohashi K., Goto A. (2010) Patent statistics as an innovation indicator. In: *Handbook of the Economics of Innovation* (vol. 2) (eds. B.H. Hall, N. Rosenberg), Amsterdam: Elsevier, pp. 1083–1127. [http://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02009-5](http://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02009-5)
- Nelson R.R., Dosi G., Helfat C.E., Pyka A., Saviotti P.P., Lee K., Dopfer K., Malerba F., Winter S.G. (2018) *Modern Evolutionary Economics: An Overview*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Patel P., Pavitt K. (2005) Patterns of Technological Activity: Their Measurement and Interpretation. In: *Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change* (ed. P. Stoneman), Oxford: Blackwell, pp. 14–51.
- Prencipe A., Davies A., Hobday M. (2005) *The Business of Systems Integration* (1st ed.), Oxford: Oxford University Press. <http://doi.org/10.1093/0199263221.001.0001>
- Schot J., Steinmueller W.E. (2019) Transformative change: What role for science, technology and innovation policy?: An introduction to the 50th Anniversary of the Science Policy Research Unit (SPRU) Special Issue. *Research Policy*, 48(4), 843–848. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2018.12.005>
- Schulz C., Martin-Ortega J., Ioris A.A.R., Glenk K. (2017) Applying a “Value Landscapes Approach” to Conflicts in Water Governance: The Case of the Paraguay-Paraná Waterway. *Ecological Economics*, 138, 47–55. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.033>
- Shapiro M.A. (2020) Next-generation battery research and development: Non-politicized science at the Joint Center for Energy Storage Research. *Energy Policy*, 145, 111771. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111771>
- Silva J.A., Oliveira S., Távora G., Mendonça S. (2015) The role of innovation in the future PV and storage markets. In: *Proceedings 31st European PVSEC*, pp. 3183–3186. <https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20152015-7DV.4.41>
- Smith K. (2006) Measuring Innovation. In: *The Oxford Handbook of Innovation*. (eds. J. Fagerberg, D.C. Mowery), Oxford: Oxford University Press, pp. 148–179. <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0006>
- Sovacool B.K., Hess D.J., Amir S., Geels F.W., Hirsh R., Rodriguez-Medina L., Miller C., Palavicino C.A., Phadke R., Ryghaug M., Schot J., Silvast A., Stephens J., Stirling A., Turnheim B., Der Vleuten E., Lente H., Yearley S. (2020) Sociotechnical agendas: Reviewing future directions for energy and climate research. *Energy Research and Social Science*, 70, 101617. <http://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101617>
- Stephan A., Schmidt T.S., Bening C.R., Hoffmann, V.H. (2017) The sectoral configuration of technological innovation systems: Patterns of knowledge development and diffusion in the lithium-ion battery technology in Japan. *Research Policy*, 46(4), 709–723. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.01.009>
- Tahmoorenejad L., Beaudry C. (2019) Capturing the economic value of triadic patents. *Scientometrics*, 118(1), 127–157. <http://doi.org/10.1007/s11192-018-2959-4>
- Tomaszewska A., Chu Z., Feng X., O’Kane S., Liu X., Chen J., Ji C., Endler E., Li R., Liu L., Li Y., Zheng S., Vetterlein S., Gao M., Du J., Parkes M., Ouyang M., Marinescu M., Offer G., Wu B. (2019) Lithium-ion battery fast charging: A review. *eTransportation*, 1, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2019.100011>
- Van Noorden R. (2014) The rechargeable revolution: A better battery. *Nature*, 507(7490), 26–28. <http://doi.org/10.1038/507026a>
- Velázquez-Martínez O., Valio J., Santasalo-Aarnio A., Reuter M., Serna-Guerrero R. (2019) A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective. *Batteries*, 5(4), 68. <https://doi.org/10.3390/batteries5040068>
- Wagner R., Preschitschek N., Passerini S., Leker J., Winter M. (2013) Current research trends and prospects among the various materials and designs used in lithium-based batteries. *Journal of Applied Electrochemistry*, 43(5), 481–496. <https://doi.org/10.1007/s10800-013-0533-6>
- Wong C.Y., Fatimah-Mohamad Z., Keng Z.X., Ariff-Azizan S. (2014) Examining the patterns of innovation in low carbon energy science and technology: Publications and patents of Asian emerging economies. *Energy Policy*, 73, 789–802. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.010>
- Zhang Q., Li C., Wu Y. (2017) Analysis of Research and Development Trend of the Battery Technology in Electric Vehicle with the Perspective of Patent. *Energy Procedia*, 105, 4274–4280. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.918>
- Zhao Y., Stein P., Bai Y., Al-Siraj M. (2018) A review on modeling of electro-chemo-mechanics in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 413, 259–283. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.12.011>

Приложение А. Методологические протоколы исследования

Группы компонентов аккумуляторов

Компонент аккумуляторной системы	Поисковый запрос
Неактивные компоненты	((IPC = H01M2+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M4+ OR H01M10+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+))
Электроды	((IPC = H01M4+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M2+ OR H01M10+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+))
Вторичные элементы	((IPC = H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M2+ OR H01M4+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+))
Неактивные компоненты и электроды	((IPC = H01M2+ and H01M4+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M10+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+))
Неактивные компоненты и вторичные элементы	((IPC = H01M2+ and H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M4+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+))
Электроды и вторичные элементы	((IPC = H01M4+ and H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M2+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+))
Неактивные компоненты, электроды и вторичные элементы	((IPC = H01M2+ and H01M4+ and H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+))
Зарядка	(IPC = H02J7 or H02J3/32 or B60L53 or H01M10/44) AND (PUD [20050101, 20191231])
Охлаждение	((IPC = (H01M00106* or H01M0010443* or H01M0010486 or H01M0050375 or H01M0050581)) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16))

Типы аккумуляторных технологий

Тип аккумулятора	Поисковый запрос
Свинцово-кислотные	((((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (VRLA OR SLA OR lead +2w acid OR lead +2w acc+)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18)))
Литий-воздушные	((((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (Lithium +2w air OR Li +2w air OR lithium +2w oxygen OR LiO2 OR Li +2w O2)) AND NOT (IPC = H01M6 or H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01m16 OR H01M18)))
Литий-ионные	((((IPC = H01M2+ OR H01M4+ OR H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (Li +2w ion OR LiFePO4 OR LiPo OR Li +2w Poly OR lithium +2w ion OR Lithium +2w cobalt OR Lithium +2w manganese OR Lithium +2w phosphate OR Lithium +2w iron +2w phosphate OR Lithium +2w titanate OR Lithium +2w Polymer)) AND NOT (IPC = H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+)))
Литий-серные	((((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (li +2w S OR lithium +2w sulphur OR lithium +2w sulfur)) AND NOT (IPC = H01M6 or H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01m16 OR H01M18)))
Магний-ионные	((((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (magnesium +1w ion OR Mg +1w ion)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18)))
Никель-кадмиевые	((((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = nickel +2w cadmium OR Ni +2W cd OR Nicd) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18)))
Проточные	((((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M8 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (Flow +2w batter* OR Redox +2w flow +2w batter* OR RFB OR Vanadium +2w redox +2w batter* OR Vanadium +2w redox +2w flow OR VRB OR Zinc +2w bromine +2w flow OR Zinc +2w bromine +2w batter* OR ZNBR OR Iron +2w chromium +2w flow OR iron +2w chromium +2w batter*)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18)))
Натрий-серные	((((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (sodium +2w sulfur OR sodium +2w sulphur OR Na +0w S)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18)))
Твердотельные	((((IPC = H01M2 or h01m4 or h01m10 or H01M50) and ((ABEN = solid +2w state)) AND (PUD [20050101, 20191231]))

Взаимосвязь с другими технологиями

Взаимосвязь	Поисковый запрос
Аккумуляторы и фотоэлектрическая генерация	(IPC = (h01m10+) and (H02S+ or H01L 27/142 or H01L31/00 or H01L31/02 or H01L31/024 or H01L31/04 or H01G9/20 or H02S10/ or H01L31/042 or G05F1/67 or F21S9/03 or H01G9/20 or H01M14 or H01L31/0525 or B60K16/00 or B60L8)) and (PUD [20050101, 20191231]) AND not (IPC = H01M6 or H01M8)
Аккумуляторы и ветровая генерация	(IPC = (h01m10+) and (F03D+)) and (PUD [20050101, 20191231]) AND not (IPC = H01M6 or H01M8)
Аккумуляторы и электромобили	((IPC = H01M2 or h01m4 or h01m10) and ((IPC = B60L50 or B60L11) or (ABEN = electric +2w vehicle or ev or electric +2w mobility)) AND (PUD [20050101, 20191231]))
Зарядка аккумуляторов электромобилей	((((IPC = H02J7 or H02J3/32 or H01M10/44) and ((IPC = B60L11 or B60L50) or (ABEN = electric +2w vehicle or ev or electric +2w mobility)))) or IPC = B60L53) AND (PUD [20050101, 20191231])
Зарядка аккумуляторов путем фотоэлектрической генерации	(IPC = ((H02J7 or H02J3/32 or H01M10/44) and (H02S+ or H01L 27/142 or H01L31/00 or H01L31/02 or H01L31/024 or H01L31/04 or H01G9/20 or H02S10/ or H01L31/042 or G05F1/67 or F21S9/03 or H01G9/20 or H01M14 or H01L31/0525 or B60K16/00 or B60L8)) or H02J7/35) AND (PUD [20050101, 20191231])

Подгруппы IPC для инноваций в области аккумуляторных технологий

Код IPC	Классификация процессов
H01M 4 – Электроды	H01M 4/04, H01M 4/08, H01M 4/10, H01M 4/12, H01M 4/139, H01M 4/1391, H01M 4/13915, H01M 4/1393, H01M 4/1395, H01M 4/1397, H01M 4/1399, H01M 4/16, H01M 4/18, H01M 4/20, H01M4 /21, H01M 4/22, H01M 4/23, H01M 4/26, H01M 4/28, H01M 4/29, H01M 4/30, H01M 4/82; H01M84; H01M 4/88
H01M 10 – Вторичные элементы	H01M 10/04, H01M 10/058, H01M 10/0583, H01M 10/0585, H01M 10/0587, H01M 10/12, H01M 10/14, H01M 10/16, H01M 10/28, H01M 10/38

Трансформация управления инновационным развитием для решения проблем декарбонизации и роста энергоэффективности

Александр Мельник ^a

Профессор, amelnik21@gmail.com

Ирина Наумова ^b

Профессор, naoumova@hartford.edu

Кирилл Ермолаев ^a

Доцент, ermolaev.kirill.a@gmail.com

^a ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

^b Университет Хартфорда (University of Hartford), 200 Bloomfield Ave., West Hartford, CT, 06110 USA

Аннотация

Исследование направлено на формирование возможных подходов к решению проблем декарбонизации с позиции их рассмотрения в системе приоритетов инновационной модернизации российской экономики в условиях появления новых вызовов и угроз развития мирового сообщества. При проведении исследования была выдвинута гипотеза о наличии двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации – энергоэффективность – декарбонизация». Для ее подтверждения были построены эконометрические модели, позволившие учесть неизмеримые индивидуальные различия объектов и доказать наличие исследуемых эффектов. В качестве исходной информации были использованы панельные данные по 83 российским регионам за 2016–2020 гг. Обоснована необходимость учета выявленных эффектов при разработке концептуальных основ адаптации процессов управления инновационным развитием для повышения энергоэффективности

и достижения целей декарбонизации российской экономики в рамках единого контура управления. Особое внимание уделено анализу отражения проблем повышения энергоэффективности и достижения целей декарбонизации в программах инновационного развития российских регионов. Разработаны концептуальные требования для проведения адаптации в триаде рассмотренных процессов. Полученные результаты расширяют научные представления о возможных подходах к достижению целей устойчивого развития национальных экономик и могут быть использованы странами с разным уровнем научно-технологического потенциала и с разной степенью обеспеченности энергетическими ресурсами при решении прикладных задач энергетического перехода для создания механизмов их реализации, включая различные аспекты проведения декарбонизации экономики и достижения углеродной нейтральности.

Ключевые слова: инновационное развитие; повышение энергоэффективности; декарбонизация; двойные эффекты взаимного влияния; адаптация процессов управления

Цитирование: Melnik A., Naoumova I., Ermolaev K. (2023) Adapting Innovation Development Management Processes to Improve Energy Efficiency and Achieve Decarbonization Goals. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 51–66. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.51.66

Adapting Innovation Development Management Processes to Improve Energy Efficiency and Achieve Decarbonization Goals

Alexander Melnik^a

Professor, amelnik21@gmail.com

Irina Naoumova^b

Professor, naoumova@hartford.edu

Kirill Ermolaev^a

Associate Professor, ermolaev.kirill.a@gmail.com

^a Kazan Federal University, Kremlyovskaya str., 18, Kazan 420008, Respublika Tatarstan, Russian Federation

^b University of Hartford, 200 Bloomfield Ave., West Hartford, CT, 06110 USA

Abstract

The study focuses on problems of decarbonization as a systemic priority for innovative changes in the national economy in times of new global challenges. The research hypothesis confirms dual effects within the triad of innovation – energy efficiency – decarbonization, when every item is affected by two others. We used econometric models to test them on the data from 83 Russian regions from 2016 to 2020. The revealed effects are critical for developing a conceptual framework for adjusting managerial goals to focus on energy efficiency and decarbonization

in Russian economy. The paper contains suggestions for Russian regions for incorporating the triad approach in their plans for energy efficiency and decarbonization. This paper adds value to understanding of relationships within the triad. It also has practical value for practitioners aiming at improving the sustainability of national economies. Importantly, our findings could be used by countries of different levels of economic development and with different combinations of energy sources in achieving goals in decarbonization or carbon neutrality for their economies.

Keywords: innovative development; improving energy efficiency; decarbonization; dual influence effects; managing energy system transition

Citation: Melnik A., Naoumova I., Ermolaev K. (2023) Adapting Innovation Development Management Processes to Improve Energy Efficiency and Achieve Decarbonization Goals. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 51–66. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.51.66

Ощутимый рост внимания мирового сообщества к решению проблем «зеленой» климатической повестки определяет новый мировой тренд в направлении декарбонизации национальных экономик. Разрушительные последствия изменения климата становятся настолько очевидными, в том числе и в Российской Федерации, что отрицать их не представляется возможным (Порфирьев и др., 2021). Более того, вопрос изменения климата стоит для нашей страны острее, чем в среднем для планеты (Жигалов и др., 2018). Наметившийся тренд на декарбонизацию лежит в русле парадигмы устойчивого развития, объединяющей глобальные цели по решению экологических, социально-экономических и научно-технологических задач, очерчивая контур перспектив глобального экономического развития (Bohra et al., 2022; Hernan et al., 2022; Ye et al., 2022).

Несмотря на интернациональный характер исследуемой проблемы, при определении собственного отношения к климатической повестке и прогнозировании масштаба потенциальных изменений в экономике необходимо исходить, прежде всего, из собственных национальных интересов (Gatto et al., 2021; Levenda et al., 2021; Порфирьев, 2021). При этом следует учитывать всю степень неопределенности процессов, обострившихся на фоне изменения геополитических условий. Многие ранее провозглашенные и, казалось бы, незыблемые приоритеты развития мировой экономики, например, полный отказ в краткосрочной перспективе от использования каменного угля или же замены традиционных топлив альтернативными источниками энергии, постепенно дезавуируются¹.

Отрицание серьезных вызовов при принятии стратегических решений о будущем России в складывающихся условиях чревато непредсказуемыми и необратимыми последствиями для национальной безопасности (Пахомова и др., 2021). Уровень потенциальных угроз резко возрос в связи с предпринимаемыми попытками использования зеленой повестки в качестве нового инструмента экономического и политического давления, способного привести к серьезным проблемам в различных отраслях и сферах деятельности (Крюков и др., 2021; Макаров и др., 2021). Все это обуславливает необходимость оперативного решения широкого круга новых задач, связанных с декарбонизацией мировой экономики как ключевого условия достижения углеродной нейтральности (Башмаков, 2020).

На фоне имеющихся разногласий о методах решения сложившихся проблем большинство исследователей признают особую роль инновационных подходов к повышению энергоэффективности в интересах декарбонизации. Однако механизмы их реализации до настоящего времени остаются практически не разработанными, а возможные эффекты взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация» — недоизученными.

Обзор литературы

Проблемы внедрения энергоэффективных инноваций обсуждаются применительно к различным уровням национальных экономик с особым акцентом на оценке влияния разных факторов, включая динамику цен на топливно-энергетические ресурсы (Brutschin et al., 2016), экспортно-импортную ориентацию экономики (Urpelainen, 2011), возможности трансфера передовых технологий (Wan et al., 2015), объемы иностранных инвестиций и т. д. Значительное внимание уделяется поддержке инноваций в сфере повышения энергоэффективности, в том числе через механизмы государственного стимулирования инновационной деятельности в области энергетических технологий (Winkler et al., 2011; Fri et al., 2014). При всем многообразии существующих подходов, направленных на решение проблемы повышения энергоэффективности на основе инноваций, исследователи из различных стран сходятся в важности ее решения для развития экономики (Patterson, 1996; Bobylev et al., 2015; Costantini et al., 2017).

Серьезный импульс получили исследования, ориентированные на обеспечение устойчивости энергетических систем с опорой на такие, в частности, инновационные решения, как интеллектуальные сети, умные устройства (Hyutinen et al., 2015) и т. д. Соответствующие усилия стимулировали развитие современных технологий сбора, обработки и анализа информации, необходимой для принятия управленческих решений (Luong, 2015), улучшения работы энергетической инфраструктуры (Thoyre, 2015), выработки стратегий повышения энергоэффективности на основе новых возможностей (Liu et al., 2016; Ruiz-Fuensanta, 2016). К настоящему времени продолжает преобладать подход, оценивающий повышение энергоэффективности национальных экономик с точки зрения снижения потребления энергетических ресурсов при производстве продукции и оказании услуг и рассматривающий это в качестве важнейшего направления для решения текущих задач развития (Bolson et al., 2021; Panait et al., 2022; Wu et al., 2021). Влияние энергосбережения и повышения энергоэффективности на достижение стратегических целей развития зачастую не принимается в расчет (Zakari et al., 2022).

Для исследований в сфере повышения энергоэффективности национальных экономик характерен взгляд на инновации как на важнейший фактор и необходимое условие таких изменений (Newell et al., 1999; Popp, 2002; Urpelainen, 2011). Предприятия, которые проводят активную политику в сфере инноваций, демонстрируют более высокий уровень энергоэффективности и внедрения наилучших доступных технологий (Song et al., 2015; Sohag et al., 2015). Примерами масштабных технологических проектов в рассматриваемой сфере служат международная программа «Energy Star» (Boyd et al., 2008; Qiu et al., 2019) и китайская программа «Тор

¹ <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/04/26/919731-globalnaya-energetika-vozvraschaetsya-k-ugolnoi-generatsii>, дата обращения 25.08.2022.

Табл. 1. Основные направления исследований по решению проблем декарбонизации

Направление	Литература
Возможности достижения конкурентных преимуществ за счет внедрения экологически чистых технологий	(Kuhn et al., 2022; Lenox, 2021; Wang et al., 2022)
Исследования связи между производством и потреблением энергии, с одной стороны, и эмиссией углеродных соединений — с другой	(Dalla Longa et al., 2022; Natali et al., 2021; Pandey et al., 2022)
Повышение энергетической эффективности как ключевое направление декарбонизации национальных экономик	(Mier et al., 2020; Obrist et al., 2022; Пахомова и др., 2021)
Оценка корреляции между инвестициями в возобновляемые источники энергии и эмиссией CO2	(Acheampong et al., 2019; Ikram et al., 2020; Mehmood et al., 2022)
Влияние государственного стимулирования процессов декарбонизации на показатели экономического развития	(Al Mamun et al., 2022; Rissman et al., 2020; Stephenson et al., 2021)
Управление деятельностью компаний в условиях введения «углеродного налога»	(Dixit et al., 2022; Domon et al., 2022; Reaños et al., 2022)
Рикошетный эффект (<i>rebound effect</i>) энергоэффективности	(Chen et al., 2021; Baležentis et al., 2021; Berner et al., 2022)

Источник: составлено авторами.

100–1000–10 000 Enterprises Program» (Lewis, 2011; Zhao et al., 2016; Qi et al., 2020). Все это позволяет заключить, что повышение энергоэффективности на базе широкого внедрения инноваций остается ключевым приоритетом развития национальных экономик.

В связи с обострением климатической повестки в последние годы особую актуальность приобрели вопросы декарбонизации (табл. 1). Снижение экологической нагрузки от производственной деятельности отнюдь не противоречит цели повышения ее эффективности, а, напротив, выступает важным стимулом развития (Dell’Anna, 2021; Koval et al., 2021; Sarkar et al., 2021).

Несмотря на различия сложившихся к настоящему времени подходов ко многим основополагающим проблемам энергетического перехода (Gatto, 2022; Shahbaz et al., 2022; Bompard et al., 2022), большинство специалистов сходятся во мнении о решающем вкладе повышения энергоэффективности в достижение углеродной нейтральности (Zeka et al., 2020; Nam et al., 2021; Khan et al., 2022). При этом их позиция нередко сводится к констатации существенного вклада роста энергоэффективности в решение климатических проблем без раскрытия механизмов управления при решении задач декарбонизации с позиции выявления взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация».

Обзор текущего состояния исследуемой проблемы показывает, что, несмотря на то внимание, которое в научном сообществе уделяют различным аспектам зеленой повестки, до сих пор не сложился консенсус по поводу возможных путей адаптации сложившихся механизмов государственного управления для преодоления современных глобальных вызовов и угроз.

Методология

В методологическом отношении работа базируется на результатах ранее выполненного нами исследования (Melnik et al., 2021). В нем на примере различных регионов России было, во-первых, доказано наличие эффекта взаимного влияния процессов повышения энергоэффективности и инновационного развития; во-вторых, показан его базовый характер, во многом опре-

деляющий дополнительные положительные эффекты в различных отраслях и сферах деятельности; в-третьих, на основе экспериментальной апробации выдвинутого предположения проведена оценка одного из таких эффектов, подтвердившая потенциал наращивания объемов экспорта в российских регионах по мере роста энергоэффективности.

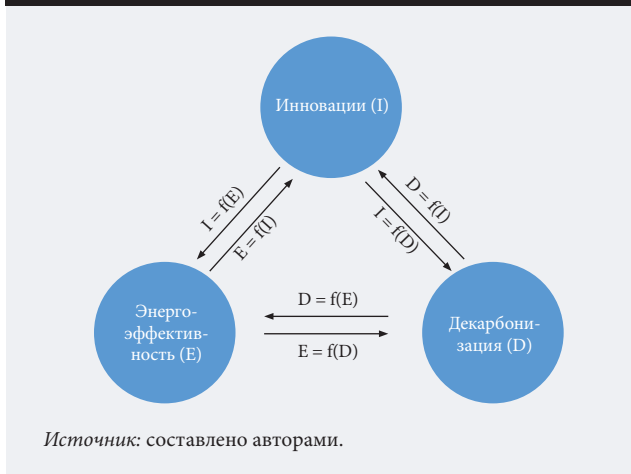
Дальнейшее развитие ранее разработанной методологии нацелено на ее адаптацию к решению проблем декарбонизации. При проведении исследования была выдвинута гипотеза о наличии двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация». Для ее подтверждения предложено разделение исследования на два этапа. На первом постулировано существование самой триады для последующего рассмотрения возникающих в ней эффектов. Значение данного этапа обусловлено тем, чтобы не допустить произвольного включения в состав триады любых других интуитивно очевидных параметров без достаточных оснований ожидать наличия парных взаимосвязей между ее элементами. Для достижения поставленных целей и доказательства указанных эффектов применены парные прямые и парные обратные модели.

В сравнении с предыдущими предлагаемый подход исходит из более широкого представления о характере парных взаимосвязей между рассматриваемыми процессами. Это позволяет оценивать эффекты не только прямого парного влияния, например, инноваций в цепочках зависимостей «инновации → энергоэффективность» и «инновации → декарбонизация», но и обратного парного влияния «энергоэффективность → инновации» и «декарбонизация → инновации» (рис. 1). Данное утверждение справедливо и применительно к описанию эффектов прямого и обратного парного влияния в цепочках зависимости «энергоэффективность → декарбонизация». Моделируя влияние факторного признака на результирующий, можно оценивать эффекты парного прямого и обратного влияния в исследуемых зависимостях, представленные в следующем виде:

а) парное прямое и обратное влияние в соотношении «декарбонизация — инновации»:

$$D = f(I); \quad I = f(D), \tag{1}$$

Рис. 1. Проявление эффектов парного влияния в триаде «инновации – энергоэффективность – декарбонизация»



б) парное прямое и обратное влияние в соотношении «декарбонизация — энергоэффективность»:

$$D = f(E); \quad E = f(D), \quad (2)$$

в) парное прямое и обратное влияние в соотношении «инновации — энергоэффективность»:

$$I = f(E); \quad E = f(I), \quad (3)$$

где I — показатели, принятые для оценки уровня инновационного развития; E — показатели, принятые для оценки энергетической эффективности; D — показатели, принятые для оценки уровня вредных выбросов.

На втором этапе после обоснования состава триады применен эконометрический подход к доказательству выдвинутой гипотезы о наличии двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация». Для этого использована система взаимосвязанных уравнений, описывающая взаимовлияние в рассматриваемой триаде.

Обоснованность применяемого подхода подтверждается тем, что каждый из представленных компонентов триады «инновации — энергоэффективность — декарбонизация», как следует из зависимостей (1) — (3), оказывается под влиянием двух параметров, что предполагает наличие сложных взаимосвязей между рассматриваемыми процессами: например, одновременное влияние на декарбонизацию инноваций и энергоэффективности, на энергоэффективность — инноваций и декарбонизации, а на инновации — энергоэффективности и декарбонизации. Тогда наряду с прямым влиянием (например, инноваций на решение проблем декарбонизации) сказывается еще и косвенное влияние повышения энергоэффективности в результате реализации энергоэффективных инноваций. В этом случае для проверки выдвинутой гипотезы предполагаемые зависимости в триаде могут быть представлены в виде системы взаимосвязанных (одновременных) уравнений:

$$\begin{cases} D = f_D(I, E) + \varepsilon \\ E = f_E(I, D) + \varepsilon \\ I = f_I(E, D) + \varepsilon \end{cases}, \quad (4)$$

где f — функции, связывающие показатели триады с набором экзогенных факторов; ε — случайная ошибка.

При этом все три показателя — D , E , I — являются эндогенными, а уравнения системы (4) в процессе решения будут дополнены экзогенными переменными для обеспечения разрешимости системы. Для решения сформированной системы одновременных уравнений применен двухшаговый метод наименьших квадратов (2МНК).

Для целей моделирования эффекты одновременного влияния двух факторов на третий, выступающий в рассматриваемой триаде в качестве результативного, будут называться двойными эффектами взаимного влияния. Отправной точкой в дальнейших рассуждениях выступает гипотеза о том, что каждый из двух факторов оказывает как прямое, так и косвенное влияние на результативный через изменение другого фактора (рис. 2). При проведении конкретного исследования целевая модель будет выбрана в зависимости от того, какой компонент триады рассматривается в качестве результативного, а какие в качестве факторных. Так, в контексте декарбонизации оценка прямого влияния инноваций на достижение этой цели сопряжена с необходимостью учета еще и косвенного их воздействия через повышение энергоэффективности.

Предложенная методология может быть включена в комплекс принимаемых решений, направленных на декарбонизацию российской экономики для целей глобального устойчивого развития (рис. 3).

Рис. 2. Проявление двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации – энергоэффективность – декарбонизация»

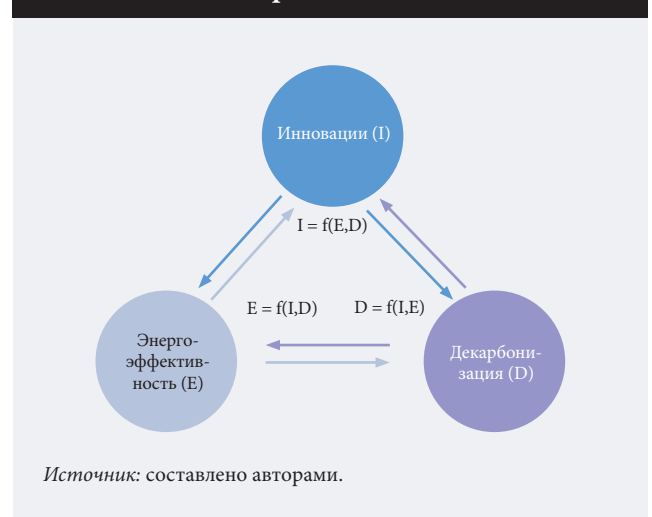
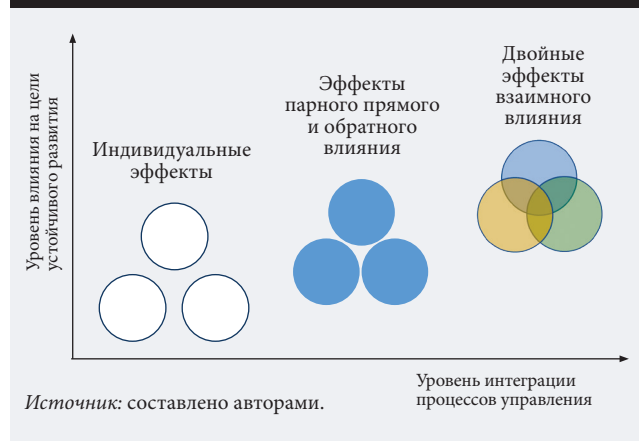


Рис. 3. Проявление эффектов взаимного влияния в триаде «инновации – энергоэффективность – декарбонизация»



Эффекты взаимодействия в триаде «инновации – энергоэффективность – декарбонизация»

Эффекты парного прямого и обратного влияния

В рамках избранной методологии на первом этапе были проведены экспериментальные расчеты, направленные на выявление эффектов парных взаимосвязей в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация». В их основу легли панельные данные по 83 регионам России за 2016–2020 гг. Для оценки эффективности инновационной деятельности по стадиям жизненного цикла, включая исследования и разработки (ИиР), внедрение инноваций, коммерциализацию и масштабирование полученных результатов, применялись открытые статистические данные Федеральной службы государственной статистики России (Росстата)². На первой стадии жизненного цикла инновационная активность определялась на базе таких индикаторов, как численность вовлеченного в ИиР персонала, внутренние затраты на эти цели и специальные расходы на экологические инновации. Усилия предприятий региона на стадии внедрения оценивались с точки зрения доли организаций, осуществлявших технологические, организационные и маркетинговые инновации в отчетном году, в общем числе обследованных организаций, а также числа передовых производственных технологий по субъектам РФ. Наконец, на стадии коммерциализации и масштабирования результативность рассчитывалась через объем отгруженных инновационных товаров, работ, услуг и их доли в общем объеме отгруженных товаров, работ и услуг.

Источником информации для оценки энергоэффективности региона также служили данные Росста-

та. Энергоэффективность по региону рассчитывалась через отношение валового регионального продукта³ (ВРП) (в постоянных ценах 2016 г.) к потреблению электроэнергии в регионе⁴.

Показатели для оценки выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду на региональном уровне определялись исходя из данных Росстата и Федеральной службы по надзору в сфере природопользования⁵. Ключевым выступает показатель выбросов в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников загрязняющих веществ, включая диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, летучие органические соединения, аммиак и др., во многом определяющие целевые ориентиры по декарбонизации. Под стационарным источником понимается неподвижной технологический агрегат (установка, устройство, аппарат и т. п.), выделяющий в ходе эксплуатации загрязняющие атмосферу вещества, а под передвижными — прежде всего, автомобильный и железнодорожный транспорт. В отсутствие альтернативных и равнозначных статистических данных выбросы загрязняющих веществ наилучшим образом отвечают контексту нашего исследования. Так, некоторые авторы отмечают, что снижение выбросов парниковых газов напрямую коррелирует со снижением концентрации других загрязняющих веществ в атмосфере (Rauner et al., 2020; Бобылев и др., 2022).

Ряд использованных в экспериментальных расчетах показателей могут быть введены в модели в качестве контрольных или инструментальных переменных в процессе выполнения второго этапа работ. К ним, в частности, относятся ВРП (Баев и др., 2013; Френкель и др., 2013; Сафиуллин, 2021), потребление электроэнергии (Соловьева, Дзюба, 2016), объем отгруженных товаров собственного производства (Стрижакова, 2019), электровооруженность труда (Якунин, 2017) и др. Описание всех включенных в расчеты переменных представлено в табл. 2.

Для достижения целей первого этапа исследования были применены модели со случайными (*random effect model*, RE) и фиксированными эффектами (*fixed effect model*, FE), которые позволяют учитывать неизмеримые индивидуальные различия объектов (Hsiao et al., 2010). Эти отличия интерпретируются как подлежащий исключению лишний параметр. Применение таких моделей позволяет подтвердить непосредственную связь между рассматриваемыми параметрами. Для повышения достоверности моделей приняты в расчет лаги ключевых переменных и ненаблюдаемые временные эффекты. В самой модели для нивелирования автокорреляции объясняющих переменных использованы робастные стандартные ошибки. Для тестирования спецификации модели служит тест Хаусмана при сравнении моделей с фиксированными и со случайными эффектами, а также тест Бройша-Пагана при сравнении модели со слу-

² <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>, дата обращения 25.08.2022.

³ <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>, дата обращения 25.08.2022.

⁴ https://rosstat.gov.ru/regional_statistics, дата обращения 25.08.2022.

⁵ <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>, дата обращения 25.08.2022.

Табл. 2. Показатели для проведения расчетов

Показатель	Обозначение	Единица измерения
Энергоэффективность	E_L_eef	руб./кВт*ч
Выбросы загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных и передвижных источников	D_L_vibros	тыс.т.
Численность персонала, занятого в ИиР	I_L_pers	чел.
Внутренние затраты на ИиР по субъектам РФ	I_L_cost	руб.
Специальные затраты, связанные с экологическими инновациями	I_L_ecocost	руб.
Разработанные передовые производственные технологии по субъектам РФ	I_L_mantech	единиц
Уровень инновационной активности организаций по субъектам РФ среди всех организаций	I_L_innactiv	%
Объем отгруженных инновационных товаров, работ и услуг	I_L_inproduct	руб.
Удельный вес инновационных товаров, работ и услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ и услуг	I_L_vesproduct	%
Отгружено товаров собственного производства	L_product	млн руб.
Электровооруженность труда	L_electro	кВт*ч
ВРП	L_vrp	тыс. руб.
Потребление электроэнергии	L_electropotr	млн кВт*ч
Доля инвестиций, направленных на реконструкцию и модернизацию, в общем объеме инвестиций в основной капитал	L_invest	%
Доля инвестиций в машины, оборудование, транспортные средства в общем объеме инвестиций в основной капитал, направленных на реконструкцию и модернизацию	L_investm	%
Индекс производительности труда по субъектам РФ	L_trud	% к пред. году
Реальные денежные доходы населения	L_dohod	% к пред. году
Источник: составлено авторами.		

чайными эффектами и линейной модели (Greene, 2003). Результаты моделирования представлены в табл. 3, а интерпретация проведенных экспериментальных расчетов — в табл. 4.

Результаты, полученные на первом этапе исследования, на примере развития российских регионов позволили обосновать существование самой триады «инновации — энергоэффективность — декарбонизация» для последующего изучения возникающих в ней двойных эффектов взаимного влияния.

Двойные эффекты взаимного влияния

В соответствии с избранной методологией на втором этапе исследования были проведены экспериментальные расчеты для анализа двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация» с применением панельных данных по 83 регионам России за 2016–2020 гг. По итогам анализа матрицы корреляции показателей, представленных в табл. 2, построенная система взаимосвязанных уравнений (4) примет следующий вид:

$$\begin{cases} D_L_vibros = E_L_eef + I_L_inproduct + L_vrp + I_L_pers + I_L_cost + I_L_mantech + \varepsilon_1 \\ E_L_eef = D_L_vibros + I_L_inproduct + L_vrp + I_L_pers + I_L_cost + I_L_mantech + \varepsilon_2 \\ I_L_inproduct = D_L_vibros + E_L_eef + L_vrp + I_L_pers + I_L_cost + I_L_mantech + \varepsilon_3 \end{cases}, \quad (16)$$

Эндогенные переменные, принятые для оценки уровня инновационного развития, энергетической эффективности и уровня вредных выбросов, опреде-

лены, соответственно, как D_L_vibros, E_L_eef и I_L_inproduct, а выбранные контрольные переменные — как ВРП L_vrp, численность персонала, занятого в ИиР I_L_pers, внутренние затраты на ИиР I_L_cost, разработанные передовые производственные технологии I_L_mantech. Инструментальными переменными выступают следующие показатели: отгружено товаров собственного производства L_product, отгружено товаров собственного производства за предыдущий период L_product(t-1), потребление электроэнергии L_electropotr, потребление электроэнергии за предыдущий период L_electropotr(t-1), ВРП за предыдущий период L_vrp(t-1), электровооруженность труда L_electro, специальные затраты, связанные с экологическими инновациями за позапрошлый период L_ecocost(t-2), уровень инновационной активности за позапрошлый период L_innactiv(t-2).

Представленная система одновременных уравнений является сверхидентифицируемой, поэтому для оценки ее параметров может быть применен 2МНК. Ниже представлены итоги этой оценки при исключении переменных, которые не оказывают существенного влияния на результирующую:

$$\begin{cases} D_L_vibros = -5.832 - 0.947 * E_L_eef - 0.144 * I_L_inproduct + 1.144 * L_vrp + \varepsilon_1 \\ E_L_eef = -5.442 - 0.995 * D_L_vibros - 0.15 * I_L_inproduct + 1.156 * L_vrp + \varepsilon_2 \\ I_L_inproduct = -31.305 - 4.265 * D_L_vibros - 4.251 * E_L_eef + 5.45 * L_vrp + \varepsilon_3 \end{cases}, \quad (17)$$

Согласно t-критерию Стьюдента, при заданных переменных порог статистической значимости состав-

Табл. 3. Результаты моделирования для расчета эффектов парных взаимосвязей в триаде «инновации – энергоэффективность – декарбонизация»													
№ модели	Зависимая переменная	Метод	Независимые переменные	Коэффициент	Стандартная ошибка	P-значение	R-квaд-рат	Тест Хаус-мана	Тест Бройша-Пагана				
(5)	D_L_vibros	FE	Const	–5.175	2.914	0.079*	0.989	0.159	0.057				
			E_L_eef	0.387	0.231	0.098*							
			L_trud	0.503	0.242	0.041**							
			L_vibros_1	0.8	0.19	6.28e–05***							
			Dt_2	0.349	0.054	7.43e–09***							
			Dt_3	0.352	0.054	7.05e–09***							
			Dt_4	0.139	0.044	0.002***							
		RE	E_L_eef	–0.053	0.022	0.016**							
			L_trud	0.381	0.231	0.099*							
			L_vibros_1	1.011	0.03	3.03e–243***							
			Dt_2	0.319	0.037	2.55e–017***							
			Dt_3	0.307	0.032	1.11e–020***							
			Dt_4	0.085	0.013	2.62e–010***							
(6)	E_L_eef	FE	Const	15.612	1.553	4.56e–016***	0.995	6.49e–028	0.978				
			D_L_vibros	–0.057	0.010	7.162e–07***							
			L_electropotr	–0.71	0.072	1.65e–015***							
			E_L_eef_1	0.191	0.107	0.077*							
		RE	D_L_vibros	–0.014	0.008	0.099*							
			L_electropotr	0.014	0.007	0.065*							
			E_L_eef_1	0.986	0.008	0***							
		МНК	D_L_vibros	–0.011	0.006	0.092*	0.986						
			L_electropotr	0.013	0.006	0.028**							
			E_L_eef_1	0.992	0.006	1.99e–102***							
		(7)	I_L_ecocost	FE	Const	63.154	29.2676			0.0338**	0.43	0.05	6.75e–011
					E_L_eef	–5.381	2.653			0.0457**			
		(8)	I_L_mantech	RE	Const	–2.452	3.018			0.4165	0.85	0.712	5.62e–057
			E_L_eef	0.469	0.275	0.0879*							
(9)	E_L_eef	FE	Const	10.518	0.106	8.81e–089***	0.99	0.003	1.77e–109				
			I_L_inproduct	0.06	0.012	6.42e–06***							
			I_L_vesproduct	–0.06	0.013	3.73e–05***							
			I_L_ecocost	–0.002	0.0009	0.02**							
(10)	D_L_vibros	FE	Const	9.227	0.984	1.063e–014***	0.965	1.19e–021	3.94e–019				
			I_L_inproduct	–0.442	0.112	0.0001***							
			I_L_vesproduct	0.441	0.106	7.580e–005***							
			I_L_ecocost_2	0.022	0.009	0.02**							
(11)	I_L_pers	FE	Const	7.02	0.143	2.11e–062***	0.995	1.13e–007	2.17e–171				
			D_L_vibros	0.109	0.026	0.0001***							
(12)	I_L_cost	FE	Const	8.426	0.236	1.17e–051***	0.99	1.06e–013	5.8e–159				
			D_L_vibros	–0.129	0.043	0.0042***							
(13)	I_L_mantech	FE	Const	4.617	0.959	9.49e–06***	0.857	0.001	1.85e–044				
			D_L_vibros	–0.292	0.167	0.0859*							
(14)	I_L_innactiv	RE	Const	1.342	0.233	8.64e–09***	0.69	0.877	4.39e–068				
			D_L_vibros	0.152	0.04	0.0002***							
(15)	I_L_inproduct	FE	Const	12.133	0.947	1.93e–021***	0.93	3.21e–016	2.62e–095				
			D_L_vibros	–0.537	0.176	0.0031***							
Примечание: ***p < 0.01, **p < 0.5, *p < 0.1. Подробно расписаны модели (5) и (6), а в моделях (7) – (12) представлены оценки коэффициентов в соответствии с результатами тестов Хаусмана и Бройша-Пагана.													
Источник: составлено авторами.													

ляет 1%. Кроме того, модель является адекватной при уровне значимости 1% по F-критерию Фишера. Требования к инструментам, применяемым при построении множественной регрессии, состоят, во-первых, в экзогенности, т. е. они не должны коррелировать со случайными ошибками модели, и, во-вторых, в релевантности, т. е. они должны коррелировать с эндогенными регрессорами. Удовлетворяющие обоим требованиям инструменты признаются валидными, и применение двухшагового МНК обеспечит состоятельность полученных оценок коэффициентов.

При проведении расчетов были проверены требования к выбранным инструментальным переменным и обоснована их валидность (табл. 5). Для оценки релевантности были определены расчетные значения соответствующей F-статистики, полученные при проверке гипотезы о существенном вкладе применяемых инструментов в объяснение изменений эндогенной переменной. На практике чаще всего пользуются следующим правилом: инструменты признаются релевантными, если расчетное значение тестовой F-статистики для проверки данной гипотезы превышает 10 (Stock

Табл. 4. Интерпретация проведенных экспериментальных расчетов по оценке эффектов парных взаимосвязей в триаде «инновации – энергоэффективность – декарбонизация»

Номер модели	Уравнение регрессии	Интерпретация
«Энергоэффективность – декарбонизация» $D = f(E), E = f(D)$		
(5)	Прямая зависимость: $D_L_vibros = -1.51 - 0.0528 * E_L_eef - 0.00216 * L_L_product + 0.381 * L_trud + 0.319 * dt_2 + 0.307 * dt_3 + 0.0845 * dt_4 + 1.01 * D_L_vibros_1$	Повышение энергоэффективности способствует снижению выбросов.
(6)	Обратная зависимость: $E_L_eef = 0.0421 - 0.0116 * D_L_vibros + 0.0134 * L_electropotr + 0.992 * E_L_eef_1$	Увеличение выбросов происходит при снижении энергоэффективности.
«Энергоэффективность – инновации» $I = f(E), E = f(I)$		
(7)	Прямые зависимости: $I_L_ecocost = 63.2 - 5.38 * E_L_eef$	При повышении энергоэффективности требуется меньше инвестиций в экологические инновации. Повышение энергоэффективности служит стимулом для развития инновационных технологий.
(8)	$I_L_mantech = -2.45 + 0.470 * E_L_eef$	
(9)	Обратная зависимость: $E_L_eef = 10.5 + 0.06 * I_L_inproduct - 0.06 * I_L_vesproduct - 0.002 * I_L_ecocost$	Активизация инновационной деятельности на всех стадиях жизненного цикла способствует повышению энергоэффективности.
«Инновации – декарбонизация» $D = f(I), I = f(D)$		
(10)	Прямая зависимость: $D_L_vibros = 9.23 - 0.442 * I_L_inproduct + 0.441 * I_L_vesproduct + 0.0220 * I_L_ecocost_2$	Активизация инновационной деятельности на различных стадиях жизненного цикла отражается на снижении выбросов загрязняющих веществ. При этом затраты на экологические инновации оказывают отложенный на два года эффект на снижение выбросов.
(11)	Обратные зависимости: $I_L_pers = 7.03 + 0.109 * D_L_vibros$	Увеличение выбросов загрязняющих веществ оказывает статистически значимое влияние на активизацию инновационной деятельности на различных стадиях ее жизненного цикла и влечет за собой увеличение персонала, занятого в ИиР, свидетельствует о снижении затрат на инновации, уменьшении числа инновационных технологий и объема инновационной продукции.
(12)	$I_L_cost = 8.43 - 0.129 * D_L_vibros$	
(13)	$I_L_mantech = 4.62 - 0.293 * D_L_vibros$	
(14)	$I_L_innactiv = 1.28 + 0.164 * D_L_vibros$	
(15)	$I_L_inproduct = 12.1 - 0.538 * D_L_vibros$	

Источник: составлено авторами.

Табл. 5. Тесты на валидность инструментов и применение 2МНК для системы взаимосвязанных уравнений (17)

Уравнение в системе (17), зависимая переменная	F статистика	P значение (F)	Тест Саргана, P-значение	Тест Хаусмана, p-значение
D_L_vibros	123.243	5.55e-46	0.069	4.013e-006
E_L_eef	14.638	1.09e-08	0.058	0
I_L_inproduct	20.252	1.46e-11	0.019	3.701e-017

Источник: составлено авторами.

Табл. 6. Доверительный интервал для ключевых переменных системы взаимосвязанных уравнений (17)

Уравнение в системе (17), зависимая переменная	Переменная	Коэффициент	95%-й доверительный интервал	
D_L_vibros	I_L_inproduct	-0.143	-0.251	-0.036
	E_L_eef	-0.947	-1.279	-0.614
E_L_eef	I_L_inproduct	-0.150	-0.246	-0.054
	D_L_vibros	-0.995	-1.328	-0.661
I_L_inproduct	I_eef	-4.251	-6.298	-2.204
	I_vibros	-4.265	-6.477	-2.052

Источник: составлено авторами.

et al., 2002). Как показали расчеты, проведенные в соответствии с указанным принципом, все применяемые инструменты являются релевантными.

Для проверки экзогенности инструментов был проведен тест Саргана (*Sargan test* или *the overidentifying restrictions test*), что возможно только в случае, когда число применяемых инструментов превышает число эндогенных регрессоров. Нулевая гипотеза теста состоит в том, что все эти инструменты являются экзогенными, а альтернативная — что хотя бы один из них эндогенен. При уровне значимости в 1% все применяемые в расчетах инструменты являются экзогенными. Дополнительно проведенный тест Хаусмана позволяет принять решение о целесообразности использования 2МНК или о возможности ограничиться обычным МНК. Подтвержденная валидность применяемых инструментов выступает необходимым условием для проведения данного теста. Его нулевая гипотеза состоит в том, что МНК-оценки коэффициентов модели состоятельны. Если она не отвергается, для оценки коэффициентов пригоден обычный МНК, результаты которого будут валидными. Опровержение нулевой гипотезы покажет несостоятельность МНК-оценки и предпочтительность 2МНК. По результатам проведенных тестов гипотеза была отвергнута, подтвердив правомерность использования 2МНК. Для оценки эластичности показателей в системе взаимосвязанных уравнений был построен 95%-й доверительный интервал (17).

Доверительные интервалы всех переменных не содержат нулевого значения, что подтверждает влияние

Табл. 7. Интерпретация проведенных экспериментальных расчетов по исследованию двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации – энергоэффективность – декарбонизация»		
Анализируемый аспект	Уравнение в системе (17)	Интерпретация
Декарбонизация $D = f(I, E)$	$D_L_vibros = -5.832 - 0.947 * E_L_eef - 0.144 * I_L_inproduct + 1.144 * L_vvp + \epsilon_1$	Повышение энергоэффективности и наращивание объема инновационных товаров, работ и услуг одновременно оказывают влияние на снижение выбросов.
Энерго-эффективность $E = f(I, D)$	$E_L_eef = -5.442 - 0.995 * D_L_vibros - 0.15 * I_L_inproduct + 1.156 * L_vvp + \epsilon_2$	Рост выбросов и увеличение объема инновационной продукции одновременно оказывают влияние на изменение энергоэффективности. Увеличение выбросов свидетельствует о снижении энергоэффективности. Аналогичный эффект оказывает и увеличение объема инновационной продукции.
Инновации $I = f(E, D)$	$I_L_inproduct = -31.305 - 4.265 * D_L_vibros - 4.251 * E_L_eef + 5.45 * L_vvp + \epsilon_3$	Повышение энергоэффективности и увеличение выбросов одновременно оказывают влияние на изменение инновационной активности. Снижение энергоэффективности свидетельствует о повышении инновационной активности. Аналогичный эффект оказывает и снижение выбросов.
Источник: составлено авторами.		

соответствующих показателей на объясняющую переменную, которое по ряду переменных является эластичным. Интерпретация результатов экспериментальных расчетов представлена в табл. 7.

Оценка качества расчетов была проведена на примере первого уравнения в системе (17), которое отражает двойные эффекты влияния инновационного развития и повышения энергоэффективности на достижение целей декарбонизации. На графике наблюдаемых и расчетных значений переменной D_L_vibros (рис. 4) можно визуально увидеть, что статистика (обозначена символом «+» красного цвета) и данные, полученные по построенным моделям (обозначены символом «х» синего цвета), находятся достаточно близко, что отражает высокий прогнозный потенциал полученного уравнения регрессии. Отклонения расчетных значений от фактических по некоторым уравнениям могут быть вызваны как ошибками в исходных данных, так и не учтенными в модели факторами. Не отрицая статистической надежности полученных эмпирических уравнений регрессии, все это обуславливает необходимость продолжения исследований.

Рассчитанные далее частные коэффициенты эластичности ϵ показывают, на сколько процентов изменится зависимая переменная при изменении соответствующего фактора на 1% (Florens, 2007). В частности, как свидетельствует сопоставление, первое уравнение в системе (17), описывающей двойные эффекты взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация», имеет на 1.85% более высокий коэффициент эластичности по показателю энергоэффективности, чем модель взаимного влияния (5) (табл. 8). То есть при изменении энергоэффективности на 1% в модели (17), описывающей двойные эффекты, выбросы снизятся на 1.96%, а в модели взаимного влияния (5) — только на 0.109%. Аналогичное соотношение эффектов во втором уравнении системы (17) и в модели (9) по показателю инновационной деятельности, а в третьем уравнении системы (17) и в модели (15) — по показателю выбросов. Полученные данные указывают на тот факт, что по силе своего влияния двойные эффекты в рассмотренной триаде превышают парные эф-

фекты взаимного влияния, что имеет особое значение при выборе инвестиционных стратегий в рамках реализации системы мер по декарбонизации.

Полученные на материале российских регионов результаты подтверждают выдвинутую гипотезу о наличии двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация».

Дальнейшее применение предложенной методологии имеет большой потенциал по решению прикладных задач, обеспечивающих достижение целевых ориентиров декарбонизации, а также широкого круга исследовательских вопросов. Речь идет о прогнозировании различных факторов, в частности, суммарных выбросов парниковых газов (или, отдельно, диоксида серы, оксидов азота, углерода и т. д.) и отдачи от инноваций, направленных на декарбонизацию, построении динамических моделей для индикаторов инновационной деятельности по реализации целей устойчивого развития экономики на различных уровнях управле-

Рис. 4. График наблюдаемых и расчетных значений переменной D_L_vibros по исследуемым панельным данным

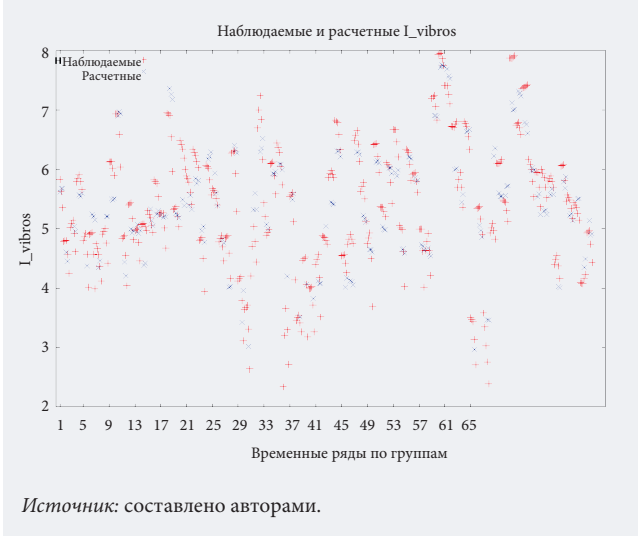


Табл. 8. Оценка силы влияния факторов на зависимую переменную по разработанным моделям

Номер модели	Зависимая переменная	Фактор	Частный коэффициент эластичности Э
(5)	D_L_vibros	E_L_eef	-0.109
(6)	E_L_eef	D_L_vibros	-0.011
(7)	I_L_ecocost	E_L_eef	-15.686
(8)	I_L_mantech	E_L_eef	1.764
(9)	E_L_eef	I_L_ecocost	-0.0006
		I_L_inproduct	0.05
		I_L_vesproduct	-0.005
(10)	D_L_vibros	I_L_ecocost	0.015
		I_L_inproduct	-0.765
		I_L_vesproduct	0.082
(11)	I_L_pers	D_L_vibros	0.076
(12)	I_L_cost	D_L_vibros	-0.089
(13)	I_L_mantech	D_L_vibros	-0.531
(14)	I_L_innactiv	D_L_vibros	0.405
(15)	I_L_inproduct	D_L_vibros	-0.31
(17)	D_L_vibros	E_L_eef	-1.96
		I_L_inproduct	-0.249
	E_L_eef	I_L_inproduct	-0.272
		D_L_vibros	-0.48
	I_L_inproduct	D_L_vibros	-1.234
		E_L_eef	-2.348

Источник: составлено авторами.

ния. Перспективным представляется решение аналитических задач стратегического развития, совмещающих исследовательское прогнозирование достижимости целевых ориентиров декарбонизации экономики при разных сценариях научно-технологического развития с нормативным прогнозированием и проектированием необходимых условий такого развития.

Перечень рассматриваемых задач может быть расширен или адаптирован под конкретные уровни управления, их приоритеты и различные временные периоды.

Отражение задач повышения энергоэффективности и декарбонизации в программах инновационного развития российских регионов

Выявленные двойные эффекты взаимного влияния рассматриваемых процессов легли в основу дальнейших исследований. При изучении проблем повышения энергоэффективности, достижения целей декарбонизации и их отражения в опубликованных программах инновационного развития 83 российских регионов были определены следующие направления анализа:

1. Наличие в таких программах мер, направленных на повышение энергоэффективности и декарбонизацию.
2. Наличие в перечне ключевых показателей программ результатов реализации мер по повышению энергоэффективности и декарбонизации.

3. Оценка вклада реализованных мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности и декарбонизацию, в целевые показатели инновационного развития регионов.

4. Оценка принципов распределения ответственности за результаты инновационной деятельности и мер по повышению энергоэффективности и декарбонизации на региональном уровне управления.

Проведенный анализ позволил прийти к следующим выводам. Во-первых, реализуемые в разных регионах России модели управления инновационным развитием в значительной мере воспроизводят структуру и особенности модели управления, принятой на федеральном уровне.

Во-вторых, повышению энергоэффективности во всех российских регионах в настоящее время уделяется значительное внимание. Практически все они относят это направление к приоритетным в своих программах инновационного развития, а соответствующие индикаторы выступают в них в числе ключевых. Вместе с тем, решение проблемы декарбонизации на региональном уровне управления находится в зачаточном состоянии, и с показателями в этой сфере оценки инновационного развития пока напрямую не увязываются. Активизацию по данному направлению следует, по всей видимости, ожидать лишь после преодоления ряда методологических ограничений на федеральном уровне.

В-третьих, сформулированная в программных документах регионов деятельность по повышению энергоэффективности хотя и объявляется приоритетной, в действительности, как правило, не связана с решением важнейших задач инновационного развития, т.е., по-видимому, не считается критичной со стратегической точки зрения. Декарбонизация до последнего времени также не входила в круг приоритетов.

В-четвертых, в инновационных программах и отчетных документах об их реализации не отражено, с одной стороны, влияние результатов соответствующих усилий на индикаторы энергоэффективности и декарбонизации, а с другой — обратное влияние последних на результаты инновационного развития регионов. Существующая правовая основа не позволяет вести оценку и мониторинг выявленных двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация».

В-пятых, во всех российских регионах, равно как и на федеральном уровне, организационные системы управления инновационной деятельностью, энергоэффективностью и декарбонизацией функционируют независимо друг от друга. За реализацию этих направлений отвечают различные подразделения региональных органов власти, которые формируют самостоятельные программные документы и целевые индикаторы развития, регламентируют процедуры планирования, имплементации и мониторинга их исполнения, определяют методы и формы административной, финансово-экономической и правовой поддержки принимаемых решений и, в конечном счете, автономно отчитываются за результаты. Одновременное управление указанными

процессами на различных уровнях порождает несогласованность, которая может негативно сказаться на достижении поставленных целей.

В-шестых, до настоящего времени в российском правовом поле не урегулирован широкий круг вопросов, связанных с инновационной деятельностью, направленной на повышение энергоэффективности и декарбонизацию экономики. По-прежнему не сформированы гибкие механизмы регулирования инновационной деятельности в условиях стремительного перехода энергетики к новому технологическому укладу и декарбонизации.

Отражение процессов повышения энергоэффективности и особенно декарбонизации в программах инновационного развития российских регионов и на федеральном уровне, как правило, носит довольно формальный характер. При этом достижение данных целей остается за пределами круга стратегических приоритетов и не определяет вектор инновационной деятельности в России. На всех уровнях управления по-прежнему преобладает упрощенный взгляд на задачи повышения энергоэффективности и декарбонизации в системе социально-экономического развития. Как правило, они рассматриваются с тактических позиций, упуская из виду не только стратегические вопросы модернизации экономики, но и глобальную повестку устойчивого развития за счет реализации политики углеродной нейтральности.

Таким образом, при разработке программных документов развития российской экономики на различных уровнях управления эффекты взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация» не рассматриваются. Активизация усилий в рамках зеленой повестки требует учета этих эффектов при формировании инновационной политики для повышения энергоэффективности и решения проблем декарбонизации.

Концептуальные основания управления инновационным развитием для повышения энергоэффективности и декарбонизации российской экономики

Адаптация сложившейся системы управления исследуемыми процессами с учетом выявленных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация» предполагает соблюдение следующих концептуальных требований.

Во-первых, при формировании политики в рассматриваемой сфере следует исходить из провозглашенной на уровне ООН общемировой климатической повестки в русле парадигмы устойчивого развития. Россия не может оставаться в стороне от этих процессов, будучи крупнейшим государством в мире по размерам своей территории, объему поставляемых на мировой рынок топливно-энергетических ресурсов, масштабу производства продукции черной металлургии, химической, нефтехимической и других отраслей, эмиссии в атмосферу парниковых газов промышленного и природного происхождения и по ряду других показателей.

Во-вторых, при проработке концептуальных основ реализуемой политики и прогнозировании возможной глубины ожидаемых изменений необходимо ориентироваться на национальные интересы и стратегические цели. Их источниками служат официально закрепленные приоритеты государственной политики, исторически сложившаяся структура производства, конкурентные преимущества на мировом рынке товаров и услуг, достигнутый уровень технологического развития, а также наличие материальных, финансовых, трудовых и иных ресурсов для реализации энергетического перехода.

В-третьих, требуется единый подход к адаптации механизма управления инновационным развитием для повышения энергоэффективности и декарбонизации экономики на федеральном и региональном уровнях. Речь идет о формировании согласованной системы целевых показателей на единой методологической платформе.

В-четвертых, адаптация административного механизма должна предусматривать, прежде всего, интеграцию процессов управления энергоэффективностью и декарбонизацией в систему инновационной и научно-технологической политики для получения синергетического эффекта. Такая адаптация должна способствовать, с одной стороны, стратегическому росту энергетического сектора, с другой — достижению целей декарбонизации в рамках перехода российской экономики на инновационный путь.

Выполнение указанных концептуальных требований предполагает комплекс мер по гармонизации федерального и регионального законодательства в сферах инновационного развития, повышения энергоэффективности и декарбонизации; согласование соответствующих целевых показателей и их декомпозицию по уровням управления; реализацию системного подхода на принципах проектного и кластерного развития; формирование системы мониторинга проблем инновационного развития, повышения энергоэффективности и декарбонизации в рамках единого контура управления с распределением зон ответственности, прав и полномочий на каждом уровне. Ключевую роль играет цифровая трансформация государственного управления, консолидирующая потоки информации в рамках системы документооборота с применением технологий больших данных, реинжиниринга и оптимизации контроля, регулирования, принятия решений и т. д. (рис. 5).

Предлагаемая интеграция процессов повышения энергоэффективности и достижения целей декарбонизации с управлением инновационной деятельностью обеспечит координацию указанных трех автономных направлений в рамках единого контура, охватывающего различные уровни регулирования. Гармонизация законодательства в этих трех сферах позволит оптимизировать инструменты их государственной поддержки. Реализация описанного подхода к адаптации организационного механизма придаст приоритетный статус рассматриваемым процессам в условиях формирования новых вызовов и угроз.

Рис. 5. Основные направления адаптации механизма управления инновационным развитием, повышения энергоэффективности и декарбонизации



Заключение

В последние годы практически все страны уделяют особое внимание различным аспектам декарбонизации, ставшей мейнстримом глобальной зеленой повестки. Множество исследований посвящены выбору подходов к преодолению новых экологических вызовов в рамках различных сценариев. При всех расхождениях практически все они придают особое значение инновациям как инструменту повышения энергоэффективности в интересах декарбонизации. Однако конкретные механизмы их реализации остаются недостаточно разработанными. Чтобы заполнить эту лауну, в предпринятом нами исследовании был впервые реализован комплексный подход к решению проблем декарбонизации с позиции выявления двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация».

Фокус на повышении энергоэффективности на базе инноваций как способе достичь цели декарбонизации обусловлен тем, что первая выступает одним из ключевых параметров большинства современных технологических процессов и характеристик различных видов выпускаемой продукции. Концентрация усилий на дальнейшем повышении энергоэффективности создаст технологическую основу для развития базовых производств, способных придать импульс экономике в целом. С точки зрения декарбонизации энергоэффективность может стать катализатором создания технологических решений, охватывающих производственные цепочки от добычи сырья до конечного потребления в различных отраслях. В свою очередь это позволит интенсифицировать инновационные процессы в масштабах всей национальной экономики.

Результаты проведенного исследования подтверждают выдвинутую гипотезу о наличии двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация». Для этого на материале 83 российских регионов были проведены экспериментальные расчеты и получены статистически значимые результаты.

Теоретическая значимость полученных результатов состоит в подтверждении наличия двойных эффектов взаимного влияния в триаде «инновации — энергоэффективность — декарбонизация» и обосновании необходимости учитывать их при разработке концептуальных основ адаптации управления инновационным развитием к задачам повышения энергоэффективности и достижения декарбонизации в рамках единого контура управления. Предложенная методология может быть применена при комплексном принятии решений по декарбонизации экономики в интересах глобального устойчивого развития при безусловном приоритете целей национального развития в условиях санкционного давления. Результаты исследования расширяют научные представления о возможных подходах к достижению указанных целей.

Важнейшими направлениями дальнейшего изучения могут стать оценка потенциала разработки и промышленного использования критически важных отечественных технологий для достижения целей декарбонизации в условиях ограниченного доступа к передовым зарубежным технологиям. Продуктивным направлением анализа выступает научно-методологическое обоснование стратегических инвестиций в обеспечение устойчивого развития экономики в контексте проблемы декарбонизации. Целесообразна также разработка

механизма адаптационной настройки индикаторов научно-технологического развития под указанные цели с сохранением высоких темпов роста российской экономики.

Предложенная методология, которая была апробирована на материале отечественной экономики, может быть востребована странами с разным уровнем научно-

технологического развития и степенью обеспеченности ресурсами при решении прикладных задач энергетического перехода и создания механизмов их реализации, включая различные аспекты декарбонизации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-18-00171 (<https://rscf.ru/project/22-18-00171/>).

Библиография

- Баев И.А., Соловьева И.А., Дзюба А.П. (2013) Региональные резервы энергоэффективности. *Экономика региона*, (3), 180–189. <http://dx.doi.org/10.17059/2013-3-16>
- Башмаков И.А. (2020) Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики. *Вопросы экономики*, (7), 51–74. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>
- Бобылев С.Н., Соловьева С.В., Астапович М. (2022) Качество воздуха как приоритет для новой экономики. *Мир новой экономики*, 16(2), 76–88. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2022-16-2-76-88>
- Жигалов В.М., Подкорытова О.А., Пахомова Н.В., Малова А.С. (2018) Взаимосвязь энергетической и климатической политики: экономико-математическое обоснование рекомендаций для регулятора. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, (3), 345–368. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2018.301>
- Крюков В.А., Миляев Д.В., Савельева А.Д., Душенин Д.И. (2021) Вызовы и ответы экономики Республики Татарстан на процессы декарбонизации. *Георесурсы*, 23(3), 17–23. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.3>
- Макаров И.А., Музыченко Е.Э. (2021) О возможностях запуска регионального пилотного проекта по развитию низкоуглеродной экономики в Республике Татарстан. *Георесурсы*, 23(3), 24–31. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.4%С2%A0>
- Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Автончук Г.А., Малышков Г.Б. (2021) Трансформация глобальных экологических рисков в экономические риски российских предприятий и управление их минимизацией. *Проблемы современной экономики*, (1), 159–166.
- Положенцева Ю.С., Клевцова М.Г., Вертакова Ю.В. (2014) Макроэкономические условия формирования инновационной среды региона. *Управленческое консультирование*, (10), 60–67.
- Порфирьев Б.Н. (2021) О «зеленом» векторе стратегии социально экономического развития России. *Научные труды Вольного экономического общества России*, 227(1), 128–136. <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2021-227-1-128-136>
- Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю. (2021) Комплексный подход к стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития России. *Георесурсы*, 23(3), 3–7. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.1>
- Сафиуллин Р.Г. (2021) Типология регионов России по степени зависимости от процесса глобальной декарбонизации экономики. *Успехи современного естествознания*, (11), 126–131. <https://doi.org/10.17513/use.37723>
- Соловьева И.А., Дзюба А.П. (2016) Управление затратами на энергопотребление промышленных предприятий в условиях инновационного развития. *Производственный менеджмент: теория, методология, практика*, (5), 144–150.
- Стрижакова Е.Н., Стрижаков Д.В. (2019) Развитие инновационной экономики: проблемы и возможности. *Вестник Евразийской науки*, 11(1), 41.
- Френкель А.А., Волкова Н.Н., Романюк Е.И. (2013) Взаимосвязь инновационного индекса и динамики ВРП. *Экономические науки*, (103), 55–61.
- Якунин А.В. (2017). Факторы роста производительности труда на основе применения инноваций в машиностроении. *Проблемы совершенствования организации производства и управления промышленными предприятиями: Межвузовский сборник научных трудов*, (2), 245–248.
- Acheampong A.O., Adams S., Boateng E. (2019) Do globalization and renewable energy contribute to carbon emissions mitigation in Sub-Saharan Africa? *Science of the Total Environment*, 677, 436–446. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.353>
- Al-Mamun M., Boubaker S., Nguyen D.K. (2022) Green finance and decarbonization: Evidence from around the world. *Finance Research Letters*, 46, 102807. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.102807>
- Baležentis T., Butkus M., Štreimikienė D., Shen Z. (2021) Exploring the limits for increasing energy efficiency in the residential sector of the European Union: Insights from the rebound effect. *Energy Policy*, 149, 112063. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112063>
- Berner A., Bruns S., Moneta A., Stern D.I. (2022) Do energy efficiency improvements reduce energy use? Empirical evidence on the economy-wide rebound effect in Europe and the United States. *Energy Economics*, 110, 105939. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105939>
- Bobylev S.N., Kudryavtseva O.V., Yakovleva Ye.Yu. (2015) Regional Priorities of Green Economy. *Economy of Region*, (2), 148–159. <https://doi.org/10.17059/2015-2-12>
- Bohra S.S., Anvari-Moghaddam A. (2022) A comprehensive review on applications of multicriteria decision-making methods in power and energy systems. *International Journal of Energy Research*, 46(4), 4088–4118. <https://doi.org/10.1002/er.7517>
- Bolson N., Yutkin M., Patzek T. (2021) Energy efficiency and sustainability assessment for methane harvesting from Lake Kivu. *Energy*, 225, 120215. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120215>
- Bompard E., Ciocia A., Grosso D., Huang T., Spertino F., Jafari M., Botterud A. (2022) Assessing the role of fluctuating renewables in energy transition: Methodologies and tools. *Applied Energy*, 314, 118968. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118968>
- Boyd G., Dutrow E., Tunnessen W. (2008) The evolution of the ENERGY STAR® energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use. *Journal of Cleaner Production*, 16(6), 709–715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.024>

- Brutschin E., Fleig A. (2016) Innovation in the energy sector – The role of fossil fuels and developing economies. *Energy Policy*, 97, 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.06.041>
- Chen Z., Song P., Wang B. (2021) Carbon emissions trading scheme, energy efficiency and rebound effect–Evidence from China's provincial data. *Energy Policy*, 157, 112507. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112507>
- Costantini V., Crespi F., Palma A. (2017) Characterizing the policy mix and its impact on eco-innovation: A patent analysis of energy-efficient technologies. *Research Policy*, 46(4), 799–819. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.02.004>
- Dalla Longa F., Fragkos P., Nogueira L.P., Van der Zwaan B. (2022) System-level effects of increased energy efficiency in global low-carbon scenarios: A model comparison. *Computers & Industrial Engineering*, 167, 108029. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108029>
- Dell'Anna F. (2021) Green jobs and energy efficiency as strategies for economic growth and the reduction of environmental impacts. *Energy Policy*, 149, 112031. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112031>
- Dixit A., Kumar P., Jakhar S.K. (2022) Effectiveness of carbon tax and congestion cost in improving the airline industry greening level and welfare: A case of two competing airlines. *Journal of Air Transport Management*, 100, 102182. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102182>
- Domon S., Hirota M., Kono T., Managi S., Matsuki Y. (2022) The long-run effects of congestion tolls, carbon tax, and land use regulations on urban CO2 emissions. *Regional Science and Urban Economics*, 92, 103750. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2021.103750>
- Florens J.P., Marimoutou V., Péguin-Feissolle A. (2007) *Econometric modeling and inference*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Fri R.W., Savitz M.L. (2014) Rethinking energy innovation and social science. *Energy Research & Social Science*, 1, 183–187. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.erss.2014.03.010>
- Gatto A., Drago C. (2021) When renewable energy, empowerment, and entrepreneurship connect: Measuring energy policy effectiveness in 230 countries. *Energy Research & Social Science*, 78, 101977. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101977>
- Gatto A. (2022) The energy futures we want: A research and policy agenda for energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 89, 102639. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102639>
- Greene W. H. (2003) *Econometric analysis*, New Delhi: Pearson Education India.
- Hernan G., Dubel A., Caselle J., Kushner D.J., Miller R.J., Reed D.C., Sprague J.L., Rassweiler A. (2022) Measuring the efficiency of alternative biodiversity monitoring sampling strategies. *Frontiers in Marine Science*, 126. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.820790>
- Hsiao C., Pesaran M., Lahiri K., Lee L.F. (2010) *Analysis of panels and limited dependent variable models*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hyttinen K., Toivonen M. (2015) Future energy services: Empowering local communities and citizens. *Foresight*, 17(4), 349–364. <https://doi.org/10.1108/FS-08-2013-0035>
- Ikram M., Zhang Q., Sroufe R., Shah S.Z.A. (2020) Towards a sustainable environment: The nexus between ISO 14001, renewable energy consumption, access to electricity, agriculture and CO2 emissions in SAARC countries. *Sustainable Production and Consumption*, 22, 218–230. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.03.011>
- Khan I., Zakari A., Zhang J., Dagar V., Singh S. (2022) A study of trilemma energy balance, clean energy transitions, and economic expansion in the midst of environmental sustainability: New insights from three trilemma leadership. *Energy*, 248, 123619. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123619>
- Koval V., Mikhno I., Udovychenko I., Gordiichuk Y., Kalina I. (2021) Sustainable natural resource management to ensure strategic environmental development. *TEM J*, 10(3), 1022–1030. <https://doi.org/10.18421/TEM103-03>
- Kuhn T., Möhring N., Töpel A., Jakob F., Britz W., Bröring S., Pichad A., Schwaneberg U., Rennings M. (2022) Using a bio-economic farm model to evaluate the economic potential and pesticide load reduction of the greenRelease technology. *Agricultural Systems*, 201, 103454. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103454>
- Lenox M., Duff R. (2021) *The Decarbonization Imperative: Transforming the Global Economy by 2050*, Stanford, CA: Stanford University Press.
- Levenda A.M., Behrsin I., Disano F. (2021) Renewable energy for whom? A global systematic review of the environmental justice implications of renewable energy technologies. *Energy Research & Social Science*, 71, 101837. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101837>
- Lewis J. (2011) *Energy and climate goals of China's 12th five-year plan*, Arlington, VA: Center for Climate and Energy Solutions.
- Liu J., Wang L., Qiu M., Zhu J. (2016) Promotion potentiality and optimal strategies analysis of provincial energy efficiency in China. *Sustainability*, 8(8), 741. <https://doi.org/10.3390/su8080741>
- Luong N.D. (2015) A critical review on energy efficiency and conservation policies and programs in Vietnam. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 623–634. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.161>
- Mehmood U. (2022) Renewable energy and foreign direct investment: Does the governance matter for CO2 emissions? Application of CS-ARDL. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(13), 19816–19822. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17222-x>
- Melnik A., Naoumova I., Ermolaev K., Katrichis J. (2021) Driving Innovation through Energy Efficiency: A Russian Regional Analysis. *Sustainability*, 13(9), 4810. <https://doi.org/10.3390/su13094810>
- Mier M., Weissbart C. (2020) Power markets in transition: Decarbonization, energy efficiency, and short-term demand response. *Energy Economics*, 86, 104644. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104644>
- Nam E., Jin T. (2021) Mitigating carbon emissions by energy transition, energy efficiency, and electrification: Difference between regulation indicators and empirical data. *Journal of Cleaner Production*, 300, 126962. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126962>
- Natali S.M., Holdren J.P., Rogers B.M., Treharne R., Duffy P.B., Pomerance R., MacDonald E. (2021) Permafrost carbon feedbacks threaten global climate goals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(21), e2100163118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2100163118>
- Newell R.G., Jaffe A.B., Stavins R.N. (1999) The induced innovation hypothesis and energy-saving technological change. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 941–975. <https://www.jstor.org/stable/2586888>
- Obrist M.D., Kannan R., Schmidt T.J., Kober T. (2022) Long-term energy efficiency and decarbonization trajectories for the Swiss pulp and paper industry. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 101937. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101937>

- Panait M., Apostu S.A., Vasile V., Vasile R. (2022) Is energy efficiency a robust driver for the new normal development model? A Granger causality analysis. *Energy Policy*, 169, 113162. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113162>
- Pandey N., De Coninck H., Sagar A.D. (2022) Beyond technology transfer: Innovation cooperation to advance sustainable development in developing countries. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 11(2), e422. <https://doi.org/10.1002/wene.422>
- Patterson M.G. (1996) What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377–390. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1)
- Popp D. (2002) Induced innovation and energy prices. *American Economic Review*, 92(1), 160–180. <https://www.jstor.org/stable/3083326>
- Qi Y., Zhao X., Stern N. (2020) Climate policy in China: An overview. In: *Standing up for a Sustainable World* (eds. C. Henry, J. Rockström, N. Stern), Cheltenham: Edward Elgar Publishing, pp. 76–102
- Qiu Y., Kahn M.E. (2019) Impact of voluntary green certification on building energy performance. *Energy Economics*, 80, 461–475. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.01.035>
- Rauner S., Hilaire J., Klein D., Streffler J., Luderer G. (2020) Air quality co-benefits of ratcheting up the NDCs. *Climatic Change*, 163(3), 1481–1500. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02699-1>
- Reaños M.A.T., Lynch M.Á. (2022) Measuring carbon tax incidence using a fully flexible demand system. Vertical and horizontal effects using Irish data. *Energy Policy*, 160, 112682. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112682>
- Rissman J., Bataille C., Masanet E., Aden N., Morrow W.R., Zhou N., Elliott N., Dell R., Heeren N., Huckestein B., Cresko J., Miller S.A., Roy S., Fennell P., Cremmins B., Koch Blank T., Hone D., Williams E.D., de la Rue du Can S., Sisson B., Williams M., Katzenberger J., Burtraw D., Sethi G., Ping H., Danielson D., Lu H., Lorber T., Dinkel J., Helseth J. (2020) Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied Energy*, 266, 114848. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114848>
- Ruiz-Fuentsanta M.J. (2016) The region matters: A comparative analysis of regional energy efficiency in Spain. *Energy*, 101, 325–331. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114848>
- Sarkar O., Katakojwala R., Mohan S.V. (2021) Low carbon hydrogen production from a waste-based biorefinery system and environmental sustainability assessment. *Green Chemistry*, 23(1), 561–574. <https://doi.org/10.1039/D0GC03063E>
- Shahbaz M., Wang J., Dong K., Zhao J. (2022) The impact of digital economy on energy transition across the globe: The mediating role of government governance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 166, 112620. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112620>
- Sohag K., Begum R.A., Abdullah S.M.S., Jaafar M. (2015) Dynamics of energy use, technological innovation, economic growth and trade openness in Malaysia. *Energy*, 90, 1497–1507. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.101>
- Song C., Oh W. (2015) Determinants of innovation in energy intensive industry and implications for energy policy. *Energy Policy*, 81, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.022>
- Stephenson J.R., Sovacool B.K., Inderberg T.H.J. (2021) Energy cultures and national decarbonisation pathways. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110592. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110592>
- Stock J.H., Wright J.H., Yogo M. (2002) A survey of weak instruments and weak identification in GMM. *Journal of Business & Economic Statistics* 20, 518–529. <https://doi.org/10.1198/073500102288618658>
- Thoyre A. (2015) Energy efficiency as a resource in state portfolio standards: Lessons for more expansive policies. *Energy Policy*, 86, 625–634. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.015>
- Urpelainen J. (2011) Export orientation and domestic electricity generation: Effects on energy efficiency innovation in select sectors. *Energy Policy*, 39(9), 5638–5646. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.028>
- Wan J., Baylis K., Mulder P. (2015) Trade-facilitated technology spillovers in energy productivity convergence processes across EU countries. *Energy Economics*, 48, 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.12.014>
- Wang N., Zhang S.J., Wang W. (2022) Impact of Environmental Innovation Strategy on Green Competitiveness: Evidence from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 5879. <https://doi.org/10.3390/ijerph19105879>
- Winkler H., Simões A.F., La Rovere E.L., Alam M., Rahman A., Mwakasonda S. (2011) Access and affordability of electricity in developing countries. *World Development*, 39(6), 1037–1050. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.02.021>
- Wu H., Hao Y., Ren S., Yang X., Xie G. (2021) Does internet development improve green total factor energy efficiency? Evidence from China. *Energy Policy*, 153, 112247. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112247>
- Ye T., Xiang X., Ge X., Yang K. (2022) Research on green finance and green development based eco-efficiency and spatial econometric analysis. *Sustainability*, 14(5), 2825. <https://doi.org/10.3390/su14052825>
- Zakari A., Khan I., Tan D., Alvarado R., Dagar V. (2022) Energy efficiency and sustainable development goals (SDGs). *Energy*, 239, 122365. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122365>
- Zeka A., Leonardi G., Lauriola P. (2020) Climate change and ecological public health: An integrated framework. In: *Cost-Benefit Analysis of Environmental Health Interventions* (ed. C. Guerriero), Amsterdam: Elsevier, pp. 185–227.
- Zhao X., Wu L. (2016) Interpreting the evolution of the energy-saving target allocation system in China (2006–13): A view of policy learning. *World Development*, 82, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.01.014>

Инновационные сценарии для агропромышленной сети Эквадора

Кристиан-Герман Эрнандес

Профессор, cristian.hernandez@ug.edu.ec

Университет Гуаякиля, Av. Kennedy and Av. Delta. 090514, Guayaquil, Ecuador

Фернандо Барраган-Очоа

Профессор, fernando.barragan@iaen.edu.ec

Национальный институт высших исследований, Av. Amazonas N37-271 and Av. Villalengua, Quito, Ecuador

Джошуа Уртадо-Уртадо

Постдок, joshua.hurtado@helsinki.fi

Университет Хельсинки, Taloustieteen osasto PL 27, 00014, Helsinki, Finland

Аннотация

Для разработки реалистичных сценариев развития агропродовольственной сети по производству говядины в эквадорской провинции Санто-Доминго на период до 2035 г. и выбора наиболее предпочтительного из них применен методологический подход на базе партисипативных процессов и коллективного осмысления с использованием методов французской школы перспективы и «треугольника будущего 2.0». Предложены четыре потенциальных сценария развития объекта исследования: «Инновации против течения», «Национальные

первопроходцы», «Сохранение прежнего курса» и «Упущенные возможности». Предпочтительным признан сценарий «Национальные первопроходцы», сочетающий активное внедрение инноваций в агропродовольственной сети с формированием благоприятной внешней среды. Исследование вносит вклад в прогнозирование эволюции инновационной деятельности в рассматриваемом сегменте и может оказаться полезным для выбора предпочтительной траектории устойчивого развития локальных производственных сетей.

Ключевые слова: сценарии; исследования будущего; инновации; перспектива; Форсайт; агропродовольственные сети

Цитирование: Hernández C.G., Barragán-Ochoa F., Hurtado-Hurtado J. (2023) Innovation Scenarios for Ecuadorian Agrifood Network. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 67–79. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.67.79

Innovation Scenarios for Ecuadorian Agrifood Network

Cristian-Germán Hernández

Professor, cristian.hernandez@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Av. Kennedy and Av. Delta. 090514, Guayaquil, Ecuador

Fernando Barragán-Ochoa

Professor, fernando.barragan@iaen.edu.ec

Instituto de Altos Estudios Nacionales, Av. Amazonas N37-271 and Av. Villalengua. Quito, Ecuador

Joshua Hurtado-Hurtado

Post-doctoral Researcher, joshua.hurtado@helsinki.fi

University of Helsinki, Taloustieteen osasto PL 27, 00014, Helsinki, Finland

Abstract

The purpose of this study is to explore plausible scenarios and identify the desired scenario for the agrifood beef network in Santo Domingo, Ecuador until 2035. A methodological approach based on the processes of participation and collective reflection is proposed, which integrates methods from the French School of Prospective and The Futures Triangle V. 2.0. Four plausible scenarios were developed for the object of study: Innovate Against

the Tide, National Pioneers, Obsolescent Gait, and Missed Opportunity. Of these, National Pioneers was deemed the desired scenario, because it integrates high innovation in the beef agrifood network with favorable environmental conditions. This study contributes to anticipating the evolution of Santo Domingo's innovation in the agrifood network, which can promote a favorable trajectory for the province's sustainable development.

Keywords: scenarios; futures studies; innovation; prospective; foresight; agrifood networks

Citation: Hernández C.G., Barragán-Ochoa F., Hurtado-Hurtado J. (2023) Innovation Scenarios for Ecuadorian Agrifood Network. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 67–79. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.67.79

Разведение крупного рогатого скота изменило социально-пространственную динамику эквадорской провинции Санто-Доминго-де-лос-Тсачилас (Rivas et al., 2016). Если в 1970-е гг. на ее территории насчитывалось всего несколько поселков, то в начале XXI в. здесь находится третий по численности населения город страны (Gondard, Mazurek, 2001). Наличие земель с высоким сельскохозяйственным потенциалом, аграрный опыт жителей, рост местного потребительского рынка и расположение между двумя крупнейшими городами Эквадора (Кито и Гуаякиль) способствовали развитию животноводства в провинции. Однако сложность агропродовольственной системы и неустойчивая динамика ее переменных делают неопределенными дальнейшие перспективы, в частности способность системы к инновационной деятельности и развитию в средне- и долгосрочном периоде.

Методологии исследования будущего позволяют снизить уровень неопределенности при принятии решений и получить информацию, необходимую для координации действий различных сторон, с тем чтобы направить территориальное развитие по предпочтительным сценариям. В настоящем исследовании представлены возможные траектории развития агропродовольственной сети производства говядины в провинции Санто-Доминго-де-лос-Тсачилас (Agrifood Beef Network in the Province of Santo Domingo de los Tsáchilas, ABNSDT) до 2030 г. и картировано пространство возможностей, включая потенциально эффективные переменные и стратегии модернизации мясопроизводственных сетей в Латинской Америке на примере ABNSDT.

Концептуальные основы исследования будущего и агропродовольственный сектор

Исследования будущего позволяют с учетом тех или иных подходов и точек зрения изучать различные возможности, возникающие при разных вариантах развития событий. Как отмечено в работе (Ortega, 2016), в данной области преобладают четыре школы (табл. 1): перспектива (*prospective*), прогнозирование, Форсайт и социальное благосостояние.

Предлагаемый анализ лежит в русле школы перспективы, которая ставит во главу угла партисипативность, коллективное осмысление и междисциплинарность. Будучи основанной на волонтаристском подходе к исследованиям будущего, эта школа предполагает сфокусированный и глобальный подход, сочетание количественных и качественных переменных (как известных, так и потенциально возможных) для анализа динамических связей. Множественные и неопределенные варианты будущего рассматриваются в ней при помощи смешанных моделей (Godet, Durance, 2011), что позволяет выйти за рамки детерминистской перспективы, предполагающей предиктивный под-

ход и взгляд на будущее как на однозначное и предсказуемое.

В качестве научной дисциплины школа перспективы сформировалась усилиями трех ученых — Гастона Берже (Gaston Berger) (Berger, 1957), который придал ей философское звучание, Бертрана де Жувенеля (Bertrand de Jouvenel) (De Jouvenel, 1967), который интегрировал в нее политологическую концепцию множественных вариантов будущего (*futuribles*), и Мишеля Годе (Michel Godet) (Godet, 1993), чьи экономические знания позволили сконструировать процедурную модель на базе различных специальных методов, в том числе математических. Научный характер школе перспективы придает строгая, хотя и не описанная исчерпывающе, методология (Gándara, Osorio, 2017). Большинство Форсайт-исследований базируются на коллективном осмыслении, включающем три этапа: определение ключевых переменных, анализ ролей действующих лиц и построение сценариев (Van Dorsser, Taneja, 2020).

На протяжении всего процесса формирования перспективы оптимизируется системное мышление, которое позволяет решать сложные проблемы со множеством переменных, в частности прогнозировать развитие агропродовольственного сектора. Было предпринято несколько попыток системного анализа этого вопроса. Агропродовольственные сети представляют собой взаимосвязанные конгломераты субъектов, расположенных в едином географическом пространстве и прямо или косвенно вовлеченных в создание потока товаров и услуг для удовлетворения спроса на продукты питания одной или нескольких групп локальных или внешних потребителей (Rastoin et al., 2010). Исследования в рамках перспективного подхода обеспечивают более точную оценку будущих возможностей агропродовольственных систем.

Системный подход к анализу агропродовольственных систем позволяет учитывать многообразие взаимосвязей между звеньями цепочки производства и дистрибуции соответствующей продукции (Barragan-Ochoa, 2017). Сетевой принцип дает возможность охватить все этапы ее производства, обработки, маркетинга, распределения и потребления (Sims et al., 2015). Динамика развития и эффективность сетей во многом определяются способностью интегрированных в них организаций к инновационной деятельности, уровнем их технологичности и качеством управления персоналом (Drouillard, 2018). Таким образом, развитие агропродовольственных систем зависит как от характеристик конечной продукции, так и от коммуникативных, технологических, коммерческих и логистических факторов. Авторы исследования (Flaig et al., 2021) определяют инновационную деятельность как поиск стратегических решений производственных, операционных, управленческих и маркетинговых проблем для увеличения субъективной ценности для участников того или иного рынка. Далее рассмотрим, достаточно ли инновационен агропродовольственный сектор производства говядины в долгосрочной перспективе.

Табл. 1. Основные футурологические школы

Школа	Страна происхождения	Краткое описание
Перспектива (prospective)	Франция	Сочетание различных гибких подходов, основанных на представлении о том, что главными строителями будущего являются участники [анализируемых процессов]
Прогнозирование	США	Подготовка прогнозов на базе математических конструкций
Форсайт	Великобритания	Качественные методы на основе экспертных оценок
Социальное благосостояние	Италия	Соединение глобального подхода, принципов справедливости и солидарности для управления социальным развитием
Источник: составлено авторами на основе (Ortega, 2016).		

Будущее агропродовольственного сектора производства говядины

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) (Food and Agriculture Organization, FAO) (FAO, 2020), объем мирового производства мяса достигает около 340 млн т в год, 63 млн из которых приходится на говядину. Говядина не только составляет значительную часть мирового потребления белка, но и превосходит другие виды мяса по весу в глобальном индексе цен. Критически важным фактором наращивания ее производства служит технологизация всей продовольственной цепочки. Концепция «Агробизнес 4.0» (Agribusiness 4.0) предполагает не только приобретение техники и автоматизацию процессов с помощью мехатронных систем, но и управление данными и информацией (Schwab, 2016). В исследовании (Paliszkievicz, 2020) отмечена важность применения больших данных в сельскохозяйственном производстве, в частности при принятия решений. Сочетание прецизионного животноводства с анализом больших массивов данных позволит отслеживать состояние здоровья каждого животного на протяжении всей его жизни. Однако дальнейшие перспективы выглядят туманными. По данным Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), за период 2018–2020 гг. мировой спрос на говядину снизился примерно с 63 до 60 млн т (OECD, 2020). По оценкам ФАО, экспорт говядины из развивающихся стран сократится на 15%, и эту долю рынка займут развитые государства (FAO, 2020).

Пандемия COVID-19 привела к сокращению доли Латинской Америки на мировом рынке мяса (FAO, 2020), которая, тем не менее, остается крупнейшим производителем говядины. Кажущееся противоречие можно объяснить изменениями в структуре глобального потребления продуктов питания. В последние годы Европа и Азия торгуют с наиболее развитыми, с точки зрения продовольственной безопасности и устойчивости, производителями, такими как США, Индия и Россия. Согласно исследованию (Brugarolas et al., 2020), европейские и азиатские страны заключают более масштабные торговые соглашения с этими странами, поскольку их продукция в большей степени соответствует Глобальной программе устойчивого

животноводства ФАО (Global Agenda for Sustainable Livestock) (FAO, 2020) благодаря внедрению прецизионных методов и передовых систем отслеживания происхождения продукции.

Мясопроизводственные системы ряда латиноамериканских стран также начинают демонстрировать высокую инновационную динамику. Аргентина и Чили реализуют инновационную политику в секторе производства говядины за счет строительства биотехнологических лабораторий и внедрения экономических моделей замкнутого цикла (Aceituno, 2020). Благодаря этому им удалось воспользоваться ранее утилизовавшимися ресурсами, превратив отходы в сырье для выпуска прибыльных побочных продуктов (например, удобрений и высокопитательных кормов для скота) без ущерба имиджу органического и устойчивого производства (Tena et al., 2018). Пример Аргентины является особенно наглядным, поскольку эта страна импортирует и производит оборудование и системы управления для животноводческого сегмента агропродовольственного сектора (Aceituno, 2020; Arrieta et al., 2020). Основной вклад в решение этой задачи вносят частные компании и государственные научные центры. В последние годы в данном секторе были внедрены такие инновации, как 4G-антенны для подключения различных устройств, собирающих информацию в режиме реального времени на базе специально разработанных для каждой конкретной фермы алгоритмов. Информация одновременно поступает с датчиков, установленных на ошейниках животных, дронов, автоматических кормушек и иных источников и систематизируется с помощью искусственного интеллекта, что позволяет мгновенно получать необходимые данные и ответы на возникающие вопросы (Drouillard, 2018).

В Эквадоре современные технологии играют заметно более скромную роль в сегменте крупного рогатого скота. Годовой объем производства говядины в стране, по данным Министерства сельского хозяйства и животноводства¹, составляет около 220 тыс. т² что полностью удовлетворяет и несколько превышает внутренний спрос на говядину (200 тыс. т в год) и другие продукты животноводства (например, молочные) (Barragán-Ochoa, 2019). С учетом разно-

¹ Здесь и далее для облегчения восприятия содержания статьи приводятся только русскоязычные наименования эквадорских организаций, ассоциаций и т. д., переведенные с испанского. Их испаноязычные коды, имеющие также отношение к части рисунков, приведены в табл. 4. – Прим. перев.
² <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-esautosuficiente-para-cubrir-demanda-nacional-de-carne-bovina/>, дата обращения 17.08.2022.

образной территориальной конфигурации в стране созданы несколько локальных и региональных агропродовольственных сетей производства говядины, конкурирующих за лидерство (Barragán-Ochoa, 2020). Сеть, расположенная в провинции Санто-Доминго-де-лос-Тсачилас, является одной из самых динамичных в стране и занимает пятое место по поголовью крупного рогатого скота (почти 160 тыс.) (ESPAE, 2016).

Форсайт-исследования сельского хозяйства Эквадора проводятся редко. В рамках инициативы «Агропродовольственный сектор Эквадора» (Ecuador Agroalimentario) были поставлены долгосрочные цели развития ряда национальных агропродовольственных сетей³ самой разной специализации: производство первичной продукции, переработка, маркетинг, экспорт и сопутствующие услуги (Hernández, Hurtado, 2020). Пандемия COVID-19 снизила вероятность реализации 10-летнего прогноза. Новое Форсайт-исследование этого важнейшего сектора как для отдельных регионов, так и для экономики в целом позволило бы составить более точное представление о возможных вызовах и стратегических траекториях его развития.

Методологический подход: от настоящего к будущему

Эффективным инструментом формирования сценариев будущего агропродовольственной сети производства говядины в Санто-Доминго выступают взаимодействующие методы Форсайта и школы перспективы. Процесс исследования включал шесть стадий: подбор экспертов, осмысление системы, выявление ключевых переменных, структурный анализ, анализ действующих лиц и построение реалистичных сценариев.

Стадия 1: Подбор экспертов

Прежде всего была отобрана группа экспертов для участия в совместных семинарах. Их опыт оценивался с помощью анкеты для измерения коэффициента экспертной компетентности К (Barroso et al., 2019; Cabero et al., 2020), объединяющего коэффициенты знаний Кс и аргументации Ка: первый оценивает уровень информированности эксперта в отношении изучаемой темы (самооценка по шкале), второй — источники аргументации, которые эксперт будет использовать в ходе исследования (опыт работы и участия в других исследованиях, публикации и, наконец, интуиция). На их основе была сформирована экспертная панель в составе 12 человек — достаточный уровень, согласно параметрам, описанным в работах (Cabero et al., 2020; Gándara, Osorio, 2017), превышение которого усложнит общение и ухудшит качество результатов. Все участники получили высокие оценки экспертной компетентности. Состав панели высоко диверсифицирован: восемь экспертов имеют ученые степени (пятеро — магистры, трое — PhD); опыт работы варьирует от 7 до 30 лет; возраст — от 28 до 68 лет; 66% экспертов — мужчины, и 34% — женщины. В зависимости

от рода деятельности и места в системе эксперты были разделены на три подгруппы: профессора и исследователи (средний К = 0.91), производители говядины (средний К = 0.90) и государственные служащие, занимающиеся регулированием и контролем качества продукции отрасли (средний К = 0.95).

Стадия 2: Осмысление системы

Как показали авторы исследования (Cruz, Medina, 2015), методы экономической науки и Форсайта позволяют выявлять факторы перемен. Для анализа динамики ABNSDT было выполнено сканирование среды с помощью матриц внутренних и внешних факторов. Следуя рекомендациям, сформулированным в (David, 2003), были определены ожидаемые изменения в соответствии с критериями (Godet, 1993). По итогам диагностической стадии был получен предварительный список переменных, впоследствии скорректированный с помощью статистических тестов. Для идентификации факторов перемен были проведены экспертные консультации, а их результаты подвергнуты программно-статистическому анализу. Одним из промежуточных результатов стало выявление большого числа характеризующих систему переменных, оцененных с помощью коэффициента конкордации Кендалла W. Из общего числа были исключены 23 переменные, которые могли быть интегрированы в другие или не соответствовали изучаемой системе. Уровень единодушия экспертов, рассчитываемый согласно рекомендациям работы (Ramírez, Polack, 2020), составил 93.60%. Значение p менее 0.05 свидетельствует о консенсусе экспертов в отношении выбора переменных, конечное число которых было сокращено с 54 до 31.

Стадия 3: Выявление ключевых переменных

По итогам опроса экспертов по пятибалльной шкале (где 1 — полностью согласен и 5 — полностью не согласен) были отброшены дублирующиеся переменные и те, которые существенно не влияют на систему. Согласованность шкалы была проверена с помощью коэффициента альфы Кронбаха, значение которого составило 0.889. Для оценки единодушия экспертов использовался коэффициент Кендалла. В итоговый список вошли только те переменные, среднее значение и мода которых были равны или превышали 2 и 1 соответственно.

Стадия 4: Структурный анализ

На четвертом этапе применен смешанный метод матрицы перекрестных воздействий и умножения для классификации (Matrix of Cross Impacts and Multiplication Applied to a Classification, MICMAC), позволяющий корректно связать репрезентативные переменные системы с переменными внешней среды для оценки влияния и зависимости каждой из них (Godet, Durance, 2011). С помощью MICMAC выявляются критически важные для будущей эволюции системы переменные. В исследовании (Hernández, Cisneros, 2020) эта стадия начинается с упорядочения выбранных пе-

³ <https://ecuadoragroalimentario.com/wp-content/uploads/2019/06/EcuadorAgroalimentario-Junio-2019.pdf>, дата обращения 14.06.2022.

ременных и присвоения им кодов для использования в программных инструментах.

Стадия 5: Анализ заинтересованных сторон

На данном этапе применялся смешанный метод матрицы союзов и конфликтов «тактика, цели и рекомендации» (Matrix of Alliances and Conflicts: Tactics, Objectives and Recommendations, МАСТОР), который служит, в частности, для оценки относительных ролей и веса участников системы, а также точного вычисления их позиций в ходе ее возможной эволюции (Godet, Durance, 2011). Преимущества МАСТОР заключаются в том, что информация упорядочивается в математических матрицах, которые отражают связь каждого участника со стратегическими целями, рассчитанными при помощи ключевых переменных карты косвенных эффектов/зависимостей (Winkowska, Szpilko, 2020). Вместе с тем, матрица важности позиций (Matrix of Valued Positions, 2MAO) иллюстрирует позиции всех заинтересованных сторон относительно потенциально возможных вызовов.

Стадия 6: Построение реалистичных сценариев

Сценарии строились согласно процедуре, предусмотренной второй версией метода треугольника будущего (Futures Triangle 2.0) (Fergnani, 2020), которая, как и первая (Inayatullah, 2008), базируется на гипотезе о трех силах, формирующих долгосрочную перспективу: давление прошлого, импульс настоящего и притяжение будущего. В актуальной версии треугольника большее значение приобретает фактор визуализации. На всех основных этапах учитывались методологические рекомендации авторов различных моделей, в частности картирования будущего (Inayatullah, 2008), матрицы сценариев 2x2 (Schwartz, 1991) и треугольника будущего 2.0 (Fergnani, 2020), с учетом которых был построен предпочтительный сценарий.

Определение возможных вариантов будущего развития агропродовольственного сектора

В силу значительного числа переменных с разнонаправленной динамикой исследуемая система ABNSDT носит весьма изменчивый характер. Чтобы ее осмыслить, прежде всего были выявлены стратегически важные для эволюции системы переменные. Затем были проанализированы поведение участников системы, потенциальные вызовы и исходя из этого построены соответствующие сценарии.

Стратегические переменные

Как показывает матрица косвенных влияний/зависимостей (Matrix of Indirect Influences/Dependencies), не все переменные, влияющие на функционирование сложных систем, таких как ABNSDT, имеют одинаковый вес или роли. Положение каждой из них обусловлено ее зависимостями и влияниями. В нашем случае зона конфликта, т. е. поле, содержащее ключевые переменные, ограничена значением 350 по обоим осям (в матрице пропорций, построенной с помощью ин-

Табл. 2. Список переменных

№	Полное название	Ось X	Ось Y	Код
1	Альтернативы финансированию инновационной деятельности	334	327	AFI
2	Биотехнология животных	377	376	BA
3	Качество конечной продукции	389	376	CPF
4	Изменение климата	342	285	CC
5	Демографические изменения	331	312	CD
6	Изменения в законодательстве	326	286	CL
7	Изменения желаемых целей	360	373	CPT
8	Производственный потенциал	320	344	CP
9	Сертификаты качества	324	330	CCA
10	Агроэкологические условия	299	290	CA
11	Санитарный контроль на зарубежных рынках	316	316	CSE
12	Стоимость логистических услуг	283	295	CSL
13	Инновационные стратегии	393	378	EI
14	Структура рынка	326	268	EM
15	Отличительные характеристики продуктов	282	321	FDP
16	Развитие человеческого капитала	365	368	FCH
17	Административное управление	303	275	GA
18	Государственное стимулирование	381	372	IG
19	Интернационализация агропродовольственного сектора Эквадора	266	311	ISA
20	Инвестиции в исследования, разработки и инновационную деятельность	276	302	IDi
21	Смягчение последствий пандемии	303	316	MEP
22	Экономическая модель	230	306	ME
23	Модернизация инфраструктуры	288	279	MI
24	Предложение местного академического сектора	303	314	OAL
25	Программы развития сельских районов	365	364	PDR
26	Продовольственная безопасность	312	307	SA
27	Системы отслеживания	259	315	ST
28	Макроэкономические условия в стране	359	255	SMP
29	Продовольственный суверенитет	236	332	SAL
30	Устойчивость агропродовольственной сети	336	350	SRA
31	Переход к биоэкономике	375	356	TB

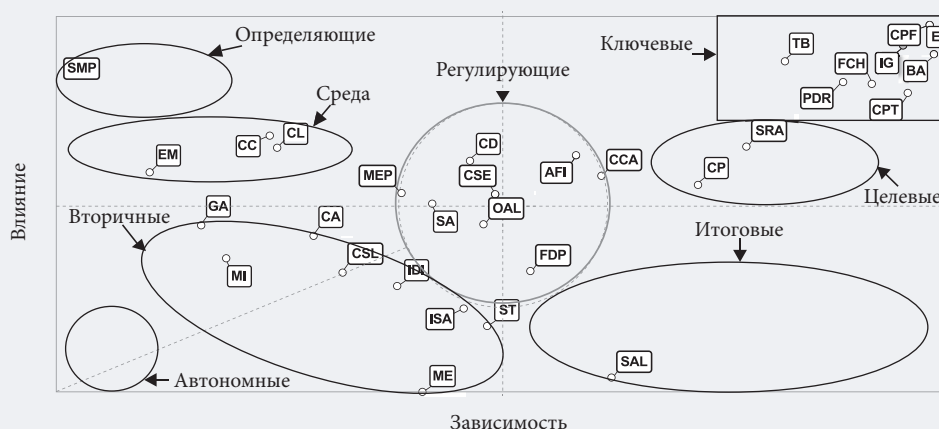
Примечание: переведено с испанского; коды отражают испанские названия.

Источник: авторы, с помощью программных инструментов LIPSOR, MICMAC версия 6.1.2.

струмента MICMAC, диапазон возможных значений по осям X и Y составляет от 0 до 400) (табл. 2).

Для определения важности и ролей переменных в будущем развитии системы они были разделены на восемь категорий в соответствии с рекомендациями работы (Godet, Durance, 2011). Результаты представлены в табл. 2. Эти восемь групп переменных представлены на графике, на который нанесены диагональная стратегическая биссектриса и центральная окружность (рис. 1) (в соответствии с подходом (Hernández, Hurtado, 2020)). Для интерпретации указанных результатов и оценки важности переменных для динамики системы все восемь групп охарактеризованы в табл. 3.

Рис. 1. Карта косвенного влияния /зависимостей



Источник: составлено авторами с помощью программных инструментов LIPSOR, MICMAC версия 6.1.2.

Развитие системы под влиянием разных субъектов

Следуя рекомендациям, изложенным в работе (Poli, 2018), экспертная панель выявила в общей сложности 36 субъектов социальной сферы, способных повлиять на динамику ABNSDT (табл. 4) через влияния и зависимости конкретных участников (рис. 2). Эти субъекты можно разделить на четыре группы (Godet, Durand, 2011) (табл. 5).

Для дальнейшего выявления совпадений и расхождений между позициями участников системы были построены графики соответствия (рис. 3) и не-соответствия субъектов (рис. 4). Наибольшее соот-

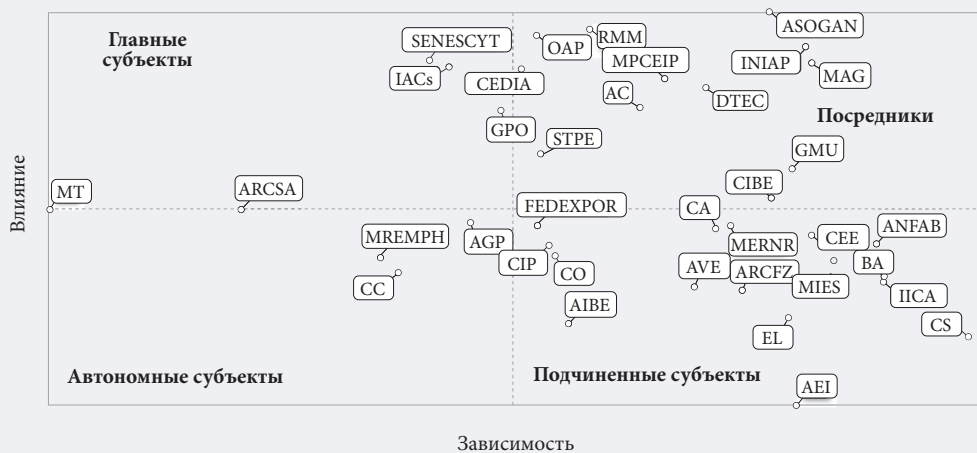
ветствие было выявлено для Ассоциации скотоводов Санто-Доминго, муниципальных рыночных сетей, Министерства сельского хозяйства и животноводства, Национального секретариата высшего образования, науки, технологий и инноваций, академического сектора и Национального автономного института инвестиций в сельское хозяйство. Совпадение позиций оценивалось с точки зрения связей между местными и национальными институтами и академическим сектором, плотность которых свидетельствует о необходимости (и потенциале) выработки государственной региональной политики на основе консультаций с научным сообществом. Напротив, самые значительные

Табл. 3. Группы проанализированных переменных

Группа	Описание
Определяющие переменные	Контекстные системные переменные: не зависят от поведения системы, но влияют на нее, например, макроэкономическая ситуация.
Переменные среды	Влияют на систему, но мало от нее зависят, хотя и в большей степени, чем определяющие. Могут иметь разную природу (например, изменение климата или законодательство).
Вторичные переменные	Уровень зависимости близок к переменным среды, но влияние на систему несколько ниже. Их воздействие на систему носит более специфический и менее универсальный характер, т. е. эффект их динамики более локален и уникален для некоторых стадий развития ABNSDT.
Автономные переменные	Не выявлены, что может иметь два объяснения: методологическое (все выделенные переменные существенно интегрированы в динамику системы через либо свое влияние, либо зависимость) и хронологическое (такие переменные соответствуют прошлым тенденциям или инерции системы (Godet, 1993)). Иными словами, их отсутствие является следствием короткой истории ABNSDT.
Регулирующие переменные	Играют фундаментальную роль в функционировании системы и могут существенно менять динамику ABNSDT с точки зрения как возможностей, так и ограничений.
Переменные эффекта	Хотя их влияние на динамику системы весьма скромно, они существенно зависят от поведения последней и поэтому считаются хорошими индикаторами конечных результатов, таких как продовольственный суверенитет.
Целевые переменные	Переменные, на которые должна быть нацелена динамика системы; иными словами, их поведение должно определять поведение ранее проанализированных переменных. В контексте ABNSDT связаны с производством и его устойчивостью.
Ключевые переменные	Позволяют управлять динамикой системы. Представляют собой элементы стратегии, с помощью которых можно стимулировать развитие по определенным направлениям, например, сельских районов или биотехнологии животных. С потребительской точки зрения в их число входят предпочтения клиентов и качество конечной продукции. В более широком плане можно говорить о развитии человеческого капитала, государственном стимулировании и инновационных стратегиях, активизирующих переход к биоэкономике. Такой подход позволяет выявить вызовы для ABNSDT, которые нельзя рассматривать в одностороннем порядке или применительно лишь к одному сектору, что является одним из ключевых положений школы перспектив.

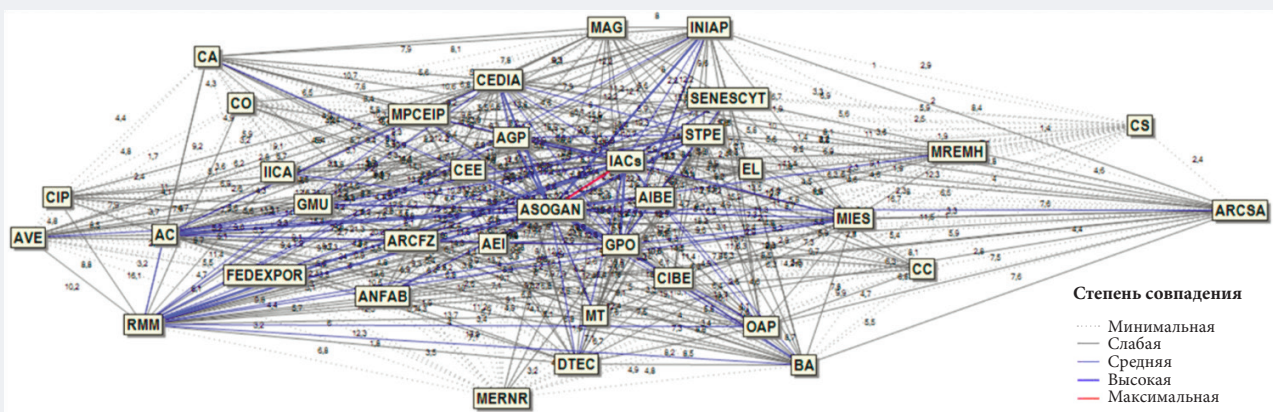
Источник: составлено авторами.

Рис. 2. Карта взаимовлияния и взаимозависимости действующих лиц



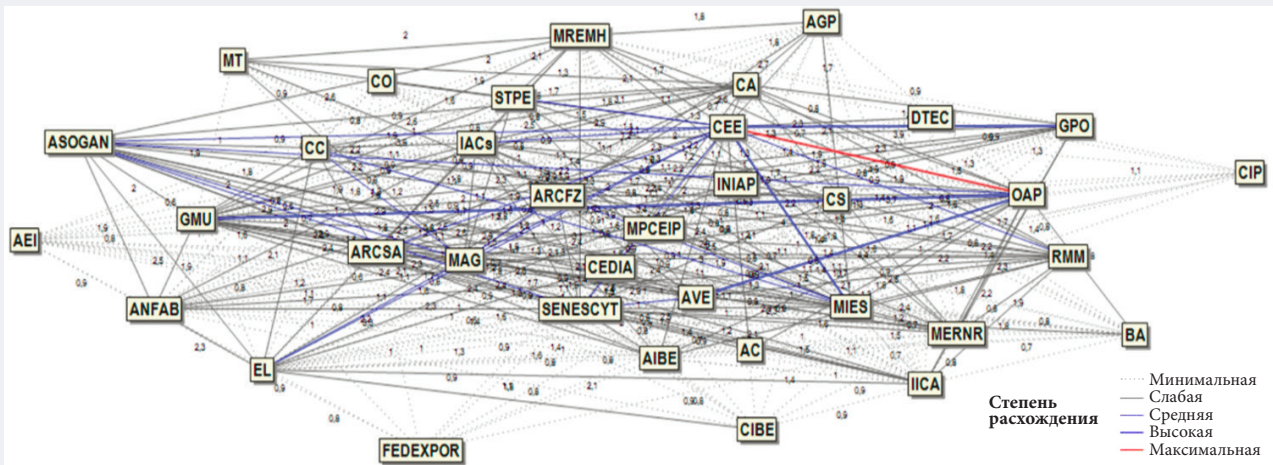
Источник: составлено авторами с помощью программных инструментов LIPSOR, MICMAC версия 6.1.2.

Рис. 3. Совпадение позиций действующих лиц



Источник: составлено авторами с помощью программных инструментов LIPSOR, MACTOR версии 6.1.2.

Рис. 4. Расхождение позиций действующих лиц



Источник: составлено авторами с помощью программных инструментов LIPSOR, MACTOR версии 6.1.2.

Табл. 4. Список действующих лиц

№	Название субъекта	Код
1	Академический сектор	AC
2	Агентство фитосанитарного и зоосанитарного регулирования и контроля	ARCFZ
3	Национальное агентство регулирования, контроля и надзора в области здравоохранения	ARCSA
4	Agropesa	AGP
5	Альянс для развития предпринимательства и инновационной деятельности	AEI
6	Ассоциация скотоводов Санто-Доминго	ASOGAN
7	Ассоциация производителей безалкогольных напитков Эквадора	AIBE
8	Ассоциация экологической стоимости	AVE
9	Национальная ассоциация производителей продуктов питания и напитков	ANFAB
10	Банки	BA
11	Сети супермаркетов	CS
12	Мясокомбинаты и муниципальные бойни	CC
13	Сельскохозяйственная палата	CA
14	Промышленно-производственная палата	CIP
15	Центр биотехнологических исследований Эквадора	CIBE
16	Эквадорский комитет по делам бизнеса	CEE
17	Потребители	CO
18	Эквадорская корпорация развития научно-образовательного сектора	CEDIA
19	Разработчики технологий	DTEC
20	Логистический бизнес	EL
21	Эквадорская федерация экспортеров	FEDEXPOR
22	Муниципальный Департамент общего управления	GMU
23	Провинциальный Департамент общего управления	GPO
24	Институты поддержки устойчивой торговли	IACs
25	Межамериканский институт сотрудничества в области сельского хозяйства	IICA
26	Национальный автономный институт инвестиций в сельское хозяйство	INIAP
27	Министерство сельского хозяйства и животноводства	MAG
28	Министерство энергетики и невозобновляемых природных ресурсов	MERNR
29	Министерство экономической и социальной интеграции	MIES
30	Министерство промышленности, внешней торговли, инвестиций и рыбного хозяйства	MPCEIP
31	Министерство иностранных дел и мобильности населения	MREMH
32	Министерство связи	MT
33	Другие ассоциации производителей	OAP
34	Муниципальные рыночные сети	RMM
35	Национальный секретариат высшего образования, науки, технологий и инноваций	SENESCYT
36	Технический секретариат Planifica Ecuador	STPE

Примечание: переведено с испанского; коды отражают испанские названия.

Источник: составлено авторами с помощью программных инструментов LIPSOR, MACTOR версия 6.1.2.

расхождения наблюдаются в позициях Эквадорского комитета по делам бизнеса (CEE), Ассоциации экологической стоимости (AVE) и другими профессиональными объединениями производителей, провинциальными и муниципальными органами власти. Максимальное расхождение было выявлено между местными и региональными игроками, что подтверждает многообразие представлений о перспективах ABNSDT. В этой связи представляется целесообразным разработать инструменты территориального планирования с временным горизонтом выше краткосрочного и планировать развитие ABNSDT на основе инновационной стратегии, учитывающей положение Санто-Доминго в национальном и международном контексте.

Проблемы в области долгосрочного территориального планирования выявлялись с учетом различных точек зрения. Один из фундаментальных аспектов состоит в выработке консенсуса между субъектами, имеющими разные взгляды на развитие системы и различающиеся по степени влияния на нее. На практике максимальным весом (в терминах коэффициента влияния Q_i)⁴ обладают Ассоциация скотоводов Санто-Доминго ($Q_i = 1.7$), муниципальные рыночные сети ($Q_i = 1.6$), другие ассоциации производителей ($Q_i = 1.5$) и Министерство сельского хозяйства и животноводства ($Q_i = 1.5$). Значения индикаторов рассчитывались с учетом результатов совпадения и расхождения третьего порядка, что отражает прямое и косвенное (через третьих лиц) влияние (Chung, 2009).

В рамках более детального анализа совпадения и расхождения выявляются не между позициями субъектов, а между потенциальными вызовами. Каждый из них характеризуется определенной степенью мо-

Рис. 5. Матрица сценариев в формате 2x2



⁴ Совокупный уровень влияния субъекта с учетом максимального потенциала прямого и косвенного веса, зависимости от других игроков и обратной связи.

Табл. 5. Классификация действующих лиц

Типы	Описание
Главные действующие лица	Субъекты, обладающие значительным потенциалом влияния и при этом мало подверженные влиянию других участников системы: в основном внешние институты, представляющие центральные и местные органы власти.
Посредники	Фундаментально важные участники системы, во многом зависящие от поведения других субъектов, но также самостоятельно определяющие динамику ABNSDT. В эту гетерогенную по составу группу входят национальные и местные органы власти, частные компании и другие организации, вовлеченные в деятельность ABNSDT и академического сектора на всех этапах. Разнородный состав свидетельствует, что ABNSDT приходится искать ответы на многочисленные вызовы, что не под силу отдельным игрокам и требует партисипативности и взаимодействия для углубления сотрудничества и улаживания разногласий. В этом смысле важно выявить близкие и несовпадающие позиции с учетом точек зрения разных действующих лиц.
Автономные действующие лица	Субъекты с низким потенциалом влияния и зависимости от других участников системы, значение позиций и действий которых для ее динамики невелико, хотя и не равно нулю. В области разработки стратегий их пространство для маневра достаточно ограничено.
Подчиненные действующие лица	Игроки с низким потенциалом влияния, но крайне зависимые от других участников системы: прежде всего компании, профсоюзы и общественные организации, положение которых сильно зависит от динамики ABNSDT. Для национальных государственных органов, отнесенных к этой группе, анализируемая система не входит в сферу основных компетенций.

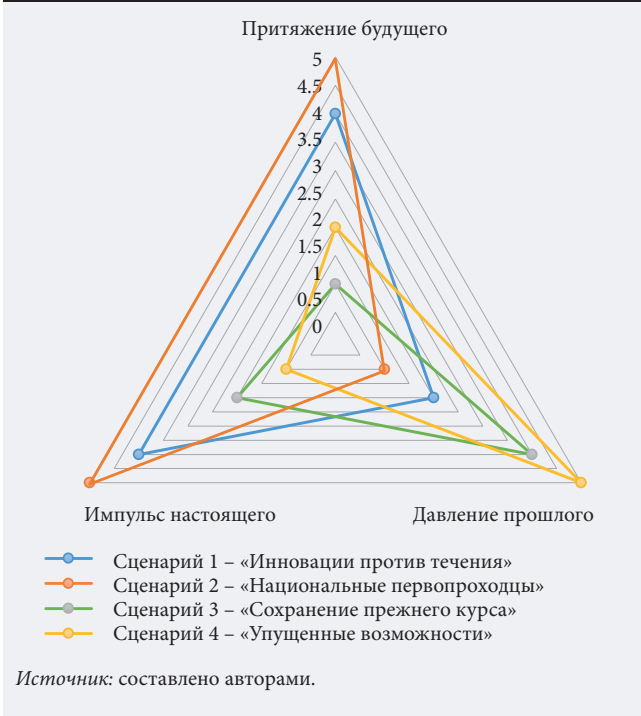
Источник: составлено авторами.

Табл. 6. Потенциальные вызовы системе в период до 2035 г.

Будущие вызовы	Число совпадений	Число разногласий	Степень мобилизации
1. Достижение лидерства национального рынка продуктов из говядины за счет разработки эффективных наступательных инновационных стратегий	48.2	-0.7	48.2
2. Повышение качества конечной продукции в обычном и премиальном сегментах до уровня зарубежных конкурентов	39	-3.4	35.6
3. Выведение животноводческого сектора Санто-Доминго в национальные лидеры по уровню генетической стоимости путем внедрения биотехнологий	39.7	-2.8	36.9
4. Автоматизация производственных процессов при частичной поддержке государства	46.2	-2.6	43.6
5. Консолидация системы производства органической говядины в соответствии с изменением предпочтений целевой аудитории	51.9	-0.6	51.3
6. Обеспечение агропродовольственной сети производства говядины техническими устройствами и ИТ-решениями местных специализированных компаний	42	-3.8	38.2
7. Углубление интеграции национальной агропродовольственной сети производства говядины с программами развития сельских территорий	37.2	-3.1	34.1
8. Создание биоэкономической системы устойчивого производства, бережного использования и сохранения биологических ресурсов	37.5	0	37.5

Источник: составлено авторами.

Рис. 6. Треугольник будущего 2.0 для четырех разработанных реалистичных сценариев



Источник: составлено авторами.

билизации, производной от соотношения совпадений и расхождений в позициях. Иными словами, траектория развития системы важна и для субъектов социальной сферы, которые участвуют в выявлении потенциальных вызовов (см. табл. 6).

Разработка реалистичных сценариев

Работа экспертного семинара завершилась созданием четырех вариантов будущего развития системы на базе знаний, полученных в ходе исследования, и формированием двух наборов переменных:

- 1. «Инновации для агропродовольственной сети» — включает переменные, которые могли иметь высокие и низкие значения: инновационные стратегии, качество продукции, биотехнологии в животноводстве и переход к биоэкономике.
- 2. «Условия внешней среды» — включает переменные, которые могли принимать благоприятные и неблагоприятные значения: изменения предпочтений целевой аудитории, развития местного человеческого капитала, государственные стимулы и программы развития сельских территорий.

Предложенные экспертами переменные отражают эволюционный потенциал системы и внешней среды

Табл. 7. Описание сценариев

Сценарий	Описание
Инновации против течения	Высокая инновационная активность ABNSDT за счет частной инициативы, поскольку возможности государства ограничены размером бюджета и политическими интересами.
Национальные первопроходцы	Исключительный уровень инновационной активности ABNSDT, позволивший стать крупнейшей агропродовольственной сетью Эквадора за счет сотрудничества частных компаний, государственного и академического секторов и других субъектов социальной сферы. Найдены ответы на все потенциальные вызовы ABNSDT.
Сохранение прежнего курса	Низкий уровень инновационной активности ABNSDT, обусловленный слабым качеством управления в государственном и частном секторах. Главные проблемы связаны с недостаточной интеграцией и координацией субъектов социальной сферы и скромными инвестициями в агропродовольственный сектор.
Упущенные возможности	Низкая инновационная активность ABNSDT, обусловленная нерациональным расходованием государственных средств животноводства. Организационные и управленческие проблемы в агропродовольственной сети препятствуют получению и эффективному освоению финансовой поддержки от государства.
Источник: составлено авторами.	

по тем или иным направлениям. После формирования матрицы 2x2 четырем реалистичным сценариям были присвоены названия с учетом характеристик, тенденций, разрывов, слабых сигналов, джокеров, факторов развития и субъектов социальной сферы, наиболее важных для каждого из них. Это позволило оценить динамику системы в рамках каждого сценария. Краткое описание сценариев приведено в табл. 7.

Дизайн Треугольника будущего 2.0

Треугольник будущего 2.0 выступает ценным инструментом артикуляции нарративов о будущем. По итогам первого раунда интерактивной дискуссии некоторые аспекты различных сценариев получили одинаковые оценки. Чтобы долгосрочные сценарии отражали реальные возможности, их следовало переработать согласно методологическим рекомендациям (Fergnani, 2020). Для большей реалистичности вариантов будущего второй раунд состоял в индивидуализации нарративов. Средние значения характеристик для четырех указанных сценариев приведены на рис. 6.

Нарратив предпочтительного сценария «Национальные первопроходцы»

Сложившиеся к 2035 г. условия благоприятствовали маркетинговому продвижению продукции из говядины ABNSDT на национальном и зарубежных рынках за счет активных и эффективных инновационных стратегий, разработанных в 2022 г. Эти стратегии обеспечили упреждающую реакцию на новые потребительские предпочтения, обусловленные новым составом целевой аудитории. Ассоциация скотоводов Санто-Доминго, Технический секретариат Planifica Ecuador и институты поддержки устойчивой торговли инвестировали значительные средства в научные исследования, которые вывели ABNSDT в технологические и рыночные лидеры. По качеству конечная продукция ABNSDT превосходит национальные стандарты как в регулярном, так и в премиальном сегментах и конкурирует с лучшими европейскими образцами. Генетическая стоимость животноводства Санто-Доминго считается одной из самых высоких в силу применения биотехнологий для повышения эффективности разведения и воспроизводства скота.

Кроме того, государственные инициативы поддержки технологического развития позволили автоматизировать производственные процессы.

Система производства органической говядины была консолидирована в соответствии с новыми требованиями в отношении устойчивого животноводства и национальными планами по формированию экономики замкнутого цикла с экологически чистым производством. ABNSDT получила технические устройства и компьютерные решения, разработанные местными фирмами при поддержке SENESCYT. Реализация программ развития сельских территорий, разработанных региональными органами власти и Министерством сельского хозяйства и животноводства, обеспечила более тесную интеграцию национальной агропродовольственной сети производства говядины. Благодаря этому удалось сформировать консолидированную биоэкономическую систему, объединяющую производство, реализацию и охрану биоресурсов в интересах устойчивого развития, в которую вошли не только участники ASOGAN и муниципальных рыночных сетей, но и другие производители. Дальнейшее развитие этой системы осуществляется на основе краудфандинга.

Выводы

В ходе исследования были разработаны четыре реалистичных сценария инновационной деятельности агропродовольственной сети по производству говядины в эквадорской провинции Санто-Доминго на период до 2035 г. Их актуальность и полезность для принятия решений обусловлена применением упреждающего и стратегического подходов. Эти сценарии следует рассматривать как примеры эффективного планирования, осуществляемого правительством провинции, чьим приоритетом является развитие сельских территорий и животноводческого сектора.

Важным аспектом исследования стало выявление восьми ключевых переменных анализируемой системы. Установлено, что с точки зрения инновационной деятельности векторы, определяющие будущее агропродовольственной сети, связаны с потенциалом технологического развития и модернизации каждого ее звена, а также с состоянием внешней среды. Корректный подбор экспертов и применение специ-

ального программного обеспечения позволили избежать ошибок в вычислениях при выполнении задач исследования, хотя для сбора необходимых данных пришлось провести ряд повторных консультаций.

Были определены позиции и возможности 36 субъектов социальной сферы, влияющих на динамику системы. Этот важный для картирования будущего этап позволил уточнить точки соприкосновения и расхождения позиций заинтересованных сторон и получить представление о динамике будущих вызовов, связанных с ключевыми переменными. С помощью математических методов в русле избранного подхода был оценен коэффициент влияния Qi, отражающий относительное значение совпадения и расхождения позиций участников системы. Было установлено, что в альянсы чаще вступают игроки с высоким значением данного коэффициента, а конфликты обычно возникают между действующими лицами со средним уровнем влияния.

Определена траектория реализации предпочтительного сценария «Национальные первопроходцы», которая поможет региональным специалистам по планированию и лицам, принимающим решения, идентифицировать приоритетные инициативы, программы

и проекты. Их цель состоит в создании условий для активизации инновационной деятельности по всем обозначенным направлениям и достижения желаемой картины будущего в пределах намеченного временного горизонта. Как и на предшествующих этапах исследования, применялись экспертные методы выявления потенциальных вызовов. Однако, благодаря таким трем аспектам, как накопленный коллективный опыт, выработанная общая терминология и глубокое понимание системы, задача была выполнена быстрее и оценены возможные сроки возникновения этих вызовов.

Дальнейшее исследование темы позволит разработать соответствующие стратегии, интегрировав в плановые документы государственные политические инициативы и программы, а также проекты частного сектора, имеющие более прочную технологическую и ресурсную базу. Кроме того, важно учитывать техническую помощь и экономическую поддержку международных организаций, заинтересованных в реализации долгосрочных программ в развивающихся странах. Тем самым ценность партисипативных методов Форсайта подтверждается не только на этапах исследования, но и на стадии реализации полученных результатов.

Библиография

- Aceituno P. (2020) *Prospectiva agrícola y alimentaria: la experiencia de Argentina, Chile y Bolivia*, Santiago de Chile: Ediciones Universidad Tecnológica Metropolitana.
- Arrieta E., Cabrol D., Cuchietti A., González A. (2020) Biomass consumption and environmental footprints of beef cattle production in Argentina. *Agricultural Systems*, 185, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102944>
- Barragán-Ochoa F. (2020) Redes de abastecimiento urbano de leche en Ecuador: la importancia de una visión territorial. In: *Lechería, Territorios y Mercados* (ed. C. Craviotti), Buenos Aires: Editorial El Lugar, pp. 195–220.
- Barroso J., Gutiérrez J., Llorente M., Valencia R. (2019) Difficulties in the Incorporation of Augmented Reality. *Journal of New Approaches in Educational Research University Education: Visions from the Experts*, 8(2), 126–141. <https://doi.org/10.7821/naer.2019.7.409>
- Berger G. (1957) Sciences humaines et prévision. In: *De la prospective: Textes fondamentaux de la prospective française 1955–1967*, Paris: L'Harmattan, pp. 55–64.
- Brugarolas M., Martínez L., Rabadán A., Bernabéu R. (2020) Innovation Strategies of the Spanish Agri-Food Sector in Response to the Black Swan COVID-19 Pandemic. *Foods*, 9(12), 66–86. <https://doi.org/10.3390/foods9121821>
- Cabero J., Romero R., Palacios A. (2020) Evaluation of Teacher Digital Competence Frameworks Through Expert Judgement: The Use of the Expert Competence Coefficient. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 9(2), 275–293. <https://doi.org/10.7821/naer.2019.7.409>
- Chung A. (2009) Strategic foresight, beyond the strategic plan. *Journal of the Faculty of Industrial Engineering*, 12(2), 27–31.
- Cruz P., Medina J. (2015) Selection of methods for the construction of future scenarios. *Entramado*, 11(1), 32–46.
- Curtis E., Sweeney B. (2017) Managing different types of innovation: Mutually reinforcing management control systems and the generation of dynamic tension. *Accounting and Business Research*, 47(3), 313–343. <https://doi.org/10.1080/00014788.2016.1255585>
- David F. (2003) *Concepts of Strategic Management*, Mexico: Pearson Educación.
- De Jouvenel B. (1967) *The Art of Conjecture*, London: Weidenfeld and Nicholson.
- Drouillard J. (2018) Current situation and future trends for beef production in the United States of America – A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(7), 1007–1016. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0428>
- ESPAE (2016) *Strategic guidance for decision making: Beef cattle industry*, Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.
- Fernani A. (2020) Futures Triangle 2.0: Integrating the Futures Triangle with Scenario Planning. *Foresight*, 22(2), 178–188. <https://doi.org/10.1108/FS-10-2019-0092>
- Flaig A., Kindström D., Ottosson M. (2021) Market-shaping strategies: A conceptual framework for generating market outcomes. *Industrial Marketing Management*, 96(7), 254–266. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.06.004>
- FAO (2020) *In Action – Special Programme for Food Security*, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/in-action/>, дата обращения 26.07.2022.
- Gándara G., Osorio F. (2017) *Prospective methods: Handbook for the study and construction of the future*, Mexico: Paidós.

- Godet M. (1993) *From anticipation to action*, Barcelona: MARCOMBO.
- Godet M., Durance P. (2011) *Strategic foresight for companies and territories*, Paris: DUNOD.
- Gondard P., Mazurek H. (2001) Thirty years of agrarian reform and colonization in Ecuador (1964–1994): Spatial dynamics. *Estudios de Geografía*, 10, 15–40.
- Hernández-Ordoñez C.G., Cisneros-Corrales E.P. (2020) Prospective study: Scenarios for Santo Domingo as a sustainable territory to the year 2040. *Tsafiqui Revista Científica en Ciencias Sociales*, 11(14), 37–54. <https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v14i1.672>
- Hernández C.G., Hurtado J. (2020) Post-pandemic prospective scenarios for the internationalization of Ecuador's agrifood sector to the year 2035. *Journal of Political and Strategic Studies*, 8(2), 36–66.
- Hernández C. G., Hurtado J. (2020) Prospective structural analysis. Key variables for the organizational development of Fundación de Acción Social Cáritas. *Revista Empresarial*, 14(1), 61–72.
- Inayatullah S. (2008) Six pillars: Futures thinking for transforming. *Foresight*, 10(1), 4–21. <https://doi.org/10.1108/14636680810855991>
- OECD (2020) *OECD-FAO – Agricultural Outlook 2020–2029*, Paris: OECD Publishing.
- Ortega F. (2016) *Prospectiva empresarial: Manual de corporate foresight para América Latina*, Lima: Universidad de Lima.
- Paliszkiewicz J. (2020) *Management in the Era of Big Data: Issues and Challenges*, London: Auerbach Publications.
- Poli R. (2018) A note on the classification of future-related methods. *European Journal of Futures Research*, 6(15), 2–9. <https://doi.org/10.1186/s40309-018-0145-9>
- Ramírez A., Polack A. (2020) Inferential statistics. Choosing a nonparametric statistical test in scientific research. *Horizon of Science*, 10(19), 191–208.
- Rastoin J.L., Ghersi G. (2010) *Le système alimentaire mondial: Concepts et méthodes, analyses et dynamiques*, Versailles: Éditions Quae.
- Rivas A.C., Toabanda P.A., Vergara A.P., Rivas W.C. (2016) *Transferencia Tecnológica Del Sector Ganadero En Santo Domingo-Ecuador*, Mexico: Observatorio Económico Latinoamericano. <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2016/ganaderia.html>, дата обращения 09.11.2022.
- Schwab K. (2016) *The fourth industrial revolution*, Bogotá: World Economic Forum.
- Schwartz P. (1991) *The art of the long view: Paths to strategic insight for yourself and your company*, New York: Bantam.
- Sims R., Flammini A., Bracco S. (2015) *Opportunities for Agri-Food Chains to Become Energy-Smart*, Auckland: FAO Climate, Energy and Tenure Division.
- Tena J., Prieto J., Fagoaga C., Calvo A., Chirivella J., Bueso J. (2018) Potential of science to address the hunger issue: Ecology, biotechnology, cattle breeding and the large pantry of the sea. *Journal of Innovation & Knowledge*, 3(2), 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2017.12.007>
- Van Dorsser C., Taneja P. (2020) An integrated three-layered foresight framework. *Foresight*, 22(2), 250–272. <https://doi.org/10.1108/FS-05-2019-0039>
- Winkowska J., Szpilko D. (2020) Methodology for Integration of Smart City Dimensions in the Socialised Process of Creating City Development. *European Research Studies Journal*, 23(3), 524–547.

Влияние трансфера технологий на развитие предпринимательского потенциала

Франсиско Паредес-Леон ^a

Профессор, francisco.paredes@upn.edu.pe

Марисела Родригес-Сальвадор ^b

Профессор, marisrod@tec.mx

Педро Ф. Кастильо-Вальдес ^b

Младший научный сотрудник, a01318528@tec.mx

^a Частный университет Севера (Universidad Privada del Norte), Перу, Av. El Ejercito 920, Trujillo, C.P. 13001, Perú

^b Технологический университет Монтеррея (Tecnologico de Monterrey), Мексика, Av. Eugenio Garza Sada 2501, Col. Tecnológico, Monterrey, N.L., C.P. 64849, México

Аннотация

В статье анализируются факторы, стимулирующие либо препятствующие трансферу технологий из университетов в промышленность, и их значение для наращивания предпринимательского потенциала. Представленное исследование — одно из первых, в которых изучение поставленного вопроса выходит за рамки высокотехнологичных секторов. Информационной основой послужили результаты опроса представителей малых и средних предприятий одного из секторов легкой промышленности Перу. Установлено, что

способность к освоению новых знаний и технологий положительно связана с осознанием преимуществ от их трансфера и препятствий для этого процесса, тогда как активность в выстраивании сети коммуникаций от указанных факторов не зависит. Основными барьерами для передачи технологий являются опасения возможной утечки информации и отсутствие необходимых компетенций. Выводы исследования могут оказаться полезными для лиц, принимающих решения в области научно-технологической и инновационной политики.

Ключевые слова: предпринимательский потенциал; стратегии; трансфер технологий; МСП; потенциал освоения; сетевое взаимодействие; научно-технологическая и инновационная политика.

Цитирование: Paredes-Leon F., Rodriguez-Salvador M., Castillo-Valdez P.F. (2023) Evaluating the Impact of Technology Transfer from the Perspective of Entrepreneurial Capacity. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 80–87. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.80.87

Evaluating the Impact of Technology Transfer from the Perspective of Entrepreneurial Capacity

Francisco Paredes-Leon ^a

Professor, francisco.paredes@upn.edu.pe

Marisela Rodriguez-Salvador ^b

Professor, marisrod@tec.mx

Pedro F. Castillo-Valdez ^b

Research Assistant, a01318528@tec.mx

^a Universidad Privada del Norte, Av. El Ejercito 920, Trujillo, C.P. 13001, Perú

^b Tecnológico de Monterrey, Av. Eugenio Garza Sada 2501, Col. Tecnológico, Monterrey, N.L., C.P. 64849, México

Abstract

This paper examines the benefits of and barriers to technology transfers from academia to industry perceived by entrepreneurs and particularly associated with the dimensions of Entrepreneurial Capacity. This study is one of the first in which the analysis of the topic goes beyond the high-tech sectors. It is based on a survey of representatives of Small and Medium Enterprises (SMEs) dedicated to the production of Leather and Footwear in Peru. The main findings were that the Absorption Capability dimension had a

positive relationship coefficient with the understanding of the benefits of and barriers to technology transfers, while the Networking Diversity dimension presented a negative relationship coefficient. Likewise, this study shows that the main barriers to technology transfer were the fear of information leaks and the lack of training. The results of this research can add value to decision makers in industry, academia, and government agencies interested in science and technology policies.

Keywords: entrepreneurial capacity; strategies; technology transfer; SMEs; absorption capability; networking diversity; STI policy.

Citation: Paredes-Leon F, Rodriguez-Salvador M., Castillo-Valdez P.F. (2023) Evaluating the Impact of Technology Transfer from the Perspective of Entrepreneurial Capacity. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 80–87. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.80.87

Освоение новых технологий имеет все большее значение для обеспечения конкурентоспособности предприятий, прежде всего малых и средних (МСП). Как следствие, актуализируется проблема передачи технологических компетенций из науки в промышленность (трансфера технологий, ТТ) (Henry et al., 2009). В этот процесс вовлечены компании, университеты, научно-исследовательские институты, бюро трансфера технологий (БТТ) и финансовые организации (Рюкер-Шеффер и др., 2018). При условии их плодотворного взаимодействия могут сформироваться устойчивые, ориентированные на будущее инновационные экосистемы (Комлоши и др., 2019).

В соответствии с моделью «тройной спирали» на макроуровне взаимодействие бизнеса, науки и государства может осуществляться через БТТ, технопарки и инновационные центры (Etzkowitz, Leydesdorff, 2000). Перечисленные структуры помогают МСП наладить сеть контактов (Shmeleva et al., 2021), получить доступ к инфраструктуре и человеческим ресурсам (Arredondo et al., 2016), приобрести актуальные компетенции, включая стратегическое мышление (Rogers, 2003; Jung, 1980). Ключевую роль в этом процессе играют университеты, предлагающие технологические продукты и услуги, а также помощь в разработке новых инструментов, адаптированных к конкретному контексту (Ara et al., 2020; Guerrero, Molero, 2019; Maresova et al., 2019; Baglieri et al., 2018). Следовательно, расширяется потенциал компаний для совершенствования производственных процессов и создания стоимости на национальном и международном рынках. Многие развивающиеся страны, в том числе латиноамериканские (Колумбия, Мексика, Чили и Перу), рассматривают ТТ как ключевой механизм повышения конкурентоспособности экономики (Shmeleva et al., 2021; Garrigós, Nuchera, 2008).

В Перу реализуется ряд государственных программ поддержки ТТ, в рамках которых предприятия получают финансирование и возможности обучать персонал стратегическим навыкам. Однако их услугами пользуются лишь 14,7% компаний, особенно МСП (CONCYTEC, 2016). В статье изучается зависимость предпринимательского потенциала от факторов, определяющих вовлеченность в ТТ (преимуществ и барьеров). Мы выбрали для анализа МСП, поскольку именно они сталкиваются с наиболее серьезными препятствиями в этом отношении, особенно в легкой промышленности (кожевенно-обувной и др.).

Трансфер технологий и предпринимательский потенциал

На протяжении последних двух десятилетий предлагались различные модели взаимодействия университетов и компаний при посреднической роли государства, направленные на повышение результативности ТТ (Maresova et al., 2019; Tunca, Kanat, 2019; Baglieri et al.,

2018). Однако связанные с ними преимущества и барьеры до настоящего времени рассматривались главным образом на основе описательных и качественных подходов (Hafeez et al., 2018; Collier et al., 2011; Shen, 2017).

Осуществление научных и технологических обменов требует разработки коммуникационных механизмов и каналов (Gilsing et al., 2011; Balconi, Laboranti, 2006), финансового и юридического обеспечения (Kenney, Patton, 2009; Mojaveri et al., 2011; Martyniuk et al., 2003). Для решения указанных задач, с целью привлечения внимания бизнеса к преимуществам ТТ и преодоления сдерживающих его барьеров, создаются университетские БТТ и государственные контактные центры (Goel et al., 2017). Среди основных преимуществ ТТ выделяются стимулы для инновационной деятельности, разработки новых и совершенствования существующих продуктов и услуг; расширение доступа к финансовым ресурсам; развитие инфраструктуры и разделение рисков между участниками процесса.

Компании приобретают новые управленческие компетенции, повышается профессионализм сотрудников, что способствует укреплению их конкурентоспособности (O'Reilly, Cunningham, 2017; Hofer, 2009). Недостаточное финансовое обеспечение, отсутствие поддержки со стороны руководства, дефицит квалифицированных кадров, инструкций по внедрению новых технологий, недоверие между партнерами и другие факторы создают барьеры для участия компаний в ТТ. Свою роль играют скептицизм потенциальных участников, некачественное планирование и прогнозирование, сложности с организацией исследований и разработок (ИиР), некорректная или недостаточная информация, низкий уровень коммуникаций, культурные аспекты, сопротивление переменам, организационные риски (O'Reilly, Cunningham, 2017; Khan et al., 2017; Hofer, 2009).

Осведомленность МСП о взаимосвязи участия в ТТ с предпринимательским потенциалом позволила бы выявить новые возможности для развития и разработки стратегий. Обладая «предпринимательским потенциалом», компании способны развивать бизнес-проекты с минимальным риском, принимать решения в неопределенных ситуациях, адаптироваться к быстрому росту в нестабильных условиях и эффективно взаимодействовать с другими предприятиями отрасли (Rodríguez-López, Souto, 2020; Zeithaml, Rice, 1987). Особое значение имеют наличие стратегических ориентиров и понимание бизнес-среды (Bacigalupo et al., 2016; Shane, Venkataraman, 2000; Frese, Gielnik, 2014), требующие умения анализировать информацию в долгосрочной перспективе. Предпринимательский потенциал часто связывают с уровнем зрелости и эффективности компании (Dunham, 2010; Kodithuwakku, Rosa, 2002; Rodríguez-López, Souto, 2020). В настоящем исследовании мы рассмотрим две его ключевые составляющие. *Многообразие сетевых связей (networking diversity)* ха-

¹ <https://citeccal.itp.gob.pe/boletin-vigilancia-tecnologica-en-cuero-y-calzado/>, дата обращения 25.01.2023.

рактируется числом внешних партнеров местного, регионального и национального уровня, с которыми компания обменивается информацией и знаниями. *Потенциал освоения (absorption capacity)* расширяет способность осмысливать, интерпретировать и использовать информацию, трансформировать ее в знания, выявлять релевантные возможности и на этой основе создавать стоимость (Radoslaw, 2014).

Современное состояние кожевенно-обувного сектора в Перу

На долю кожевенно-обувной промышленности Перу приходится 1.1% в сегменте небазовых отраслей, или 0.13% ВВП (BCRP, 2021). В отрасли занято более 45 тыс. чел., из них 42.3% в регионе Ла-Либертад (в городах Трухильо, Эль-Порвенир, Флоренсия-де-Мора и Ла-Эсперанса). В общей сложности в этих городах насчитывается 3148 зарегистрированных предприятий, от микро- до малых и средних (Cosavalente, 2019). Значительная их часть имеет ограниченный доступ к информации и финансированию, что сдерживает предпринимательский потенциал этих компаний (Rosa, 2015). Задача повышения производительности компаний путем обеспечения новыми знаниями и технологическими ресурсами возложена прежде всего на государственные центры продуктивных инноваций и трансфера технологий (CITE). Процессы ТТ в странах Латинской Америки уже получили освещение в ряде исследований, хотя рассматривались преимущественно высокотехнологичные отрасли (например, работа (Arenas, 2018) посвящена стартапам). Важно изучить ситуацию применительно к другим, более традиционным формам бизнеса, в частности МСП.

Ряд перуанских организаций, таких как Национальный совет по науке, технологиям и инновациям (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, CONYTEC) и Центр производственных инноваций и передачи технологий кожевенно-обувной промышленности (Center for Productive Innovation and Technological Transfer of Leather, Footwear and Related Industries, CITEscal), содействуют выявлению технологий, потенциально пригодных для передачи предприятиям отрасли. Это прежде всего новые технологии обработки кожи — материала для широкого спектра товаров легкой промышленности. Особое внимание уделяется развитию «зеленых» технологий и повторному использованию отходов для снижения негативного воздействия на окружающую среду. Ведется постоянный мониторинг возможностей внедрения новых решений, основанных на наноматериалах, 3D-печати и т. п., для производства удобных и эргономичных изделий, в том числе медицинского назначения.¹

В Перу до настоящего момента не проводились исследования ТТ и его взаимосвязи с предпринимательским потенциалом МСП. Наша статья восполняет этот пробел. Сформулированы гипотезы о существовании положительной связи многообразия сетевых контактов и потенциала освоения с воспринимаемыми выгодами и барьерами ТТ, составлена описательная модель.

Методология исследования

Исследование выполнялось в два этапа с помощью неэкспериментального корреляционно-описательного анализа. Вначале формировалась анкета, состоящая из двух частей. Первый раздел, предназначенный для оценки предпринимательского потенциала с позиций многообразия сетевых контактов и потенциала освоения (Radoslaw, 2014), включал 13 вопросов. Первые пять оценивают взаимодействие в рамках местных, региональных и национальных сетей. Оставшиеся восемь вопросов измеряют способность предпринимателей получать, обрабатывать и преобразовывать информацию из внешних источников. В основе второго раздела анкеты лежит схема, представленная в работе (Hofer, 2009). Относящиеся к ней 17 вопросов связаны с восприятием предпринимателями барьеров и преимуществ ТТ (девять вопросов посвящены выгодам, восемь — барьерам). Ответы измерялись по 7-балльной шкале Лайкерта с диапазоном значений от 1 (совершенно не согласен) до 7 (полностью согласен).

Надежность ответов на вопросы проверялась путем статистической верификации на основе альфа-коэффициента Кронбаха. Проведено пилотное обследование 15 предпринимателей, зарегистрированных в отраслевом инновационном центре (CITEscal) региона Ла-Либертад (Перу). По его итогам значение альфы Кронбаха превысило 70% (табл. 1), что подтверждает корректность вопросов анкеты и свидетельствует об их высокой согласованности (Easterby-Smith et al., 2015).

На втором этапе исследования с помощью той же анкеты опрашивались предприниматели, зарегистрированные в CITEscal, с опытом работы в секторе не менее пяти лет, которые участвовали в организованных этим центром учебных курсах, пользовались другими его услугами и были вовлечены в ТТ в период с 2018 по 2021 г. Анкета была направлена 115 бизнесменам, соответствовавшим указанным критериям. В течение двух месяцев (с 20 мая по 10 июля 2021 г.) мы получили ответы от 81 респондента. Результаты обрабатывались с применением программного приложения SPSS (версия 22). Чтобы проверить взаимосвязь переменных, анализировался коэффициент ранговой корреляции Спирмена (Anderson et al., 2015). На рис. 1 представлена сводка по ключевым барьерам и выгодам ТТ, наиболее актуальным для МСП легкой промышленности Перу.

Табл. 1. Значения альфы Кронбаха для использованных переменных

Переменная	Альфа Кронбаха
Зависимые переменные (барьеры, атрибуты и выгоды ТТ)	
Воспринимаемые барьеры	0.909
Воспринимаемые выгоды	0.834
Независимые переменные (показатели предпринимательского потенциала)	
Сетевое взаимодействие	0.840
Потенциал освоения	0.836
Источник: составлено авторами.	

Табл. 2. Демографические характеристики респондентов

Характеристика	Число респондентов	Доля (%)
Пол		
Мужчины	33	40.74
Женщины	48	59.26
Должность		
Административный менеджер	12	14.8
Производственный менеджер	5	6.2
Главный менеджер	25	30.9
Владелец	39	48.1
Опыт работы в кожевенно-обувной промышленности		
5–15 лет	46	56.8
15–25 лет	20	24.7
25–35 лет	10	12.4
Более 35 лет	5	6.2

Источник: составлено авторами.

Результаты и обсуждение

Результаты описательного статистического анализа представлены в табл. 2 и 3. Большинство предпринимателей, участвовавших в ТТ в последние три года и заполнивших анкету, — женщины (59.26%) в возрасте от 19 до 35 лет (39%). Как правило, это владельцы компании, занимающие руководящие должности (48.1%), обладающие опытом работы в отрасли от 5 до 15 лет (56.8%). В табл. 3 представлены воспринимаемые барьеры для ТТ и преимущества от технологического апгрейда.

Напомним, что варианты ответов на вопрос основывались на шкале Лайкерта с диапазоном значений от 1 (совершенно не согласен) до 7 (полностью согласен). Среднее значение для барьеров варьирует от 4.963 до 5.383. Такой показатель считается высоким, поскольку превышает среднее значение на 1–7 пунктов. В отношении преимуществ результаты варьируют от 4.469 до 5.383, что также является значительной величиной. В число трех ключевых барьеров вошли опасения утечки информации, отсутствие системы оценочных индикаторов и инструкций по использованию технологий (табл. 3). Респонденты отметили полезность ТТ по следующим ключевым направлениям: выход на новые рынки, расширение клиентской базы, налаживание связей с университетами и поставщиками, получение доступа к финансированию из государственных и частных источников. Упоминались и другие инструменты, вовлекающие предпринимателей в ТТ.

Для проверки гипотез, упомянутых в предыдущем разделе, на основе индуктивной статистики были рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 4 и 5). В табл. 4 показана корреляция между параметром «Многообразие сетевых связей» и воспринимаемыми барьерами для ТТ, указанными 81 респондентом. Значение r для них превышает 0.05, что свидетельствует об отрицательной связи ($p = 0.414$). Тем самым гипотеза 1 отвергается. С помощью второго теста оценивалась

Рис. 1. Основные барьеры и преимущества, связанные с ТТ



Табл. 3. Описательная статистика экзогенных переменных (воспринимаемые барьеры и выгоды передачи технологий)

Оцениваемые показатели	Среднее значение	Стандартное отклонение
Воспринимаемые барьеры		
Опасения утечки информации	5.321	1.2925
Отсутствие оценочных индикаторов	5.284	1.1207
Недостаток информации о том, как использовать технологии	5.272	1.0608
Скептицизм	5.210	1.1260
Проблемы с кадрами	5.160	1.2496
Негативный эффект	5.160	1.2496
Неопределенность результатов	5.111	1.2748
Высокие затраты	5.099	1.4196
Сложность адаптации	4.963	1.3365
Воспринимаемые преимущества		
Доступ к новым рынкам	5.383	1.3093
Контакты с университетами и поставщиками	5.284	1.1644
Доступ к внешнему финансированию	5.259	1.2528
Решение производственных проблем	5.000	1.2649
Возможность нанять новых сотрудников	4.975	1.3321
Совершенствование продуктов и процессов	4.889	1.2942
Разработка новых продуктов и процессов	4.630	1.0179
Потенциал для расширения сотрудничества	4.469	1.6054

Источник: составлено авторами.

Табл. 4. Коэффициент Ро Спирмена для сетевого взаимодействия и барьеров, преимуществ и атрибутов ($p < 0.01$)

Независимая переменная – сетевое взаимодействие	Статистические индексы			
	Зависимая переменная	N	Коэффициент Ро Спирмена	P-значение
Переменная 1	Барьеры	81	0.092	0.414
Переменная 2	Выгоды	81	0.000	0.997

Источник: составлено авторами.

связь между показателем сетевого взаимодействия и воспринимаемыми выгодами от ТТ. Полученное значение p также выше порогового 0.05 ($p = 0.997$). Поскольку в этом случае связь вновь оказалась отрицательной, гипотеза 2 также не подтвердилась.

В табл. 5 показана связь между параметром «Потенциал освоения» и воспринимаемыми барьерами для передачи технологии. Значение p оказалось менее 0.05, коэффициент $Rho = 0.352$, что означает наличие слабой положительной связи. Таким образом, гипотеза 3 подтверждена. Наконец, оценка связи показателя по-

Табл. 5. Коэффициент Ро Спирмена для потенциала освоения и барьеров, преимуществ и атрибутов ($p < 0.01$)

Независимая переменная – потенциал освоения	Статистические индексы			
	Зависимая переменная	N	Коэффициент Ро Спирмена	P-значение
Переменная 1	Барьеры	81	0.352	0.001
Переменная 2	Выгоды	81	0.558	0.001

Источник: составлено авторами.

тенциала освоения с воспринимаемыми выгодами дала p -значение менее 0.05 и коэффициент $Rho = 0.558$, что говорит о наличии умеренно положительной корреляции и свидетельствует в пользу гипотезы 4.

На основе полученных результатов предлагается описательная модель взаимосвязи параметров «Потенциала освоения» и «Многообразия сетевых связей», отражающая зависимость предпринимательского потенциала от барьеров и возможностей ТТ (рис. 2). Связь способности к освоению с воспринимаемыми препятствиями и преимуществами оказалась положительной, тогда как для сетевого взаимодействия она отрицательная. Иными словами, контакты с деловыми партнерами и поставщиками необязательно стимулируют активизацию ТТ.

Предпринимательский потенциал рассматриваемой группы респондентов определяется прежде всего их способностью обрабатывать информацию из внешних источников, что позволяет лучше понять характеристики и преимущества ТТ.

Рис. 2. Описательная модель связи предпринимательского потенциала, воспринимаемых выгод и барьеров для передачи технологий



Заключение

Цель нашего исследования заключалась в выявлении связи между выгодами от ТТ, барьерами, препятствующими этой деятельности, и уровнем предпринимательского потенциала. Проводилось обследование выборки из 81 предпринимателя, зарегистрированного в Центре производственных инноваций и передачи технологий (СИТЕ) кожевенно-обувной промышленности региона Ла-Либертад (Перу). Исследования в области ТТ в этой стране только начинаются, и до сих пор в фокусе оставался анализ эффектов рассматриваемой деятельности для развития высокотехнологичных стартапов и спин-оффов. Работ, посвященных традиционным МСП (например, в кожевенно-обувной промышленности), пока нет.

Описательный анализ показал, что большинство предпринимателей из нашей выборки входят в возрастную когорту 19–35 лет и обладают опытом работы в отрасли от 5 до 15 лет. К наиболее серьезным барьерам опрошенные отнесли опасения по поводу возможных утечек информации и других негативных эффектов, дефицит кадров и недостаточную готовность к ответу на новые вызовы. Среди основных факторов привлекательности для участия в ТТ назывались возможность

выйти на новые рынки и наладить связи со специализированными исследовательскими центрами университетов. Выявлена отрицательная связь составляющей предпринимательского потенциала «Многообразие сетевых связей» с восприятием респондентами как барьеров, так и преимуществ ТТ. В свою очередь зависимость показателя «Потенциал освоения» от обеих указанных переменных оказалась положительной. Следовательно, способность МСП анализировать информацию из внешних источников позволяет лучше понять характеристики ТТ, а контакты с деловыми партнерами и поставщиками не влияют на активизацию этого процесса.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности повысить качество планирования и стратегического управления ТТ в МСП в ключевых секторах перуанской экономики, в частности, в кожевенно-обувной промышленности, на долю которой приходится 0.13% ВВП страны. Такая информация может быть полезна для государственных учреждений и лиц, принимающих решения в академических организациях и в бизнесе, которые могли бы повысить эффективность коммуникаций и кооперации для активизации ТТ. Кроме того, целесообразно обучить предпринимателей методам преодоления барьеров, подрывающих доверие к ТТ, путем укрепления сотрудничества.

Ограничение исследования состоит в том, что ответы удалось получить не от всех 115 предпринимателей, зарегистрированных в СІТЕ кожевенной и обувной промышленности региона Ла-Либерад и участвовавших в ТТ. Однако охват 81 из них (т. е. 70.43%) обеспечил репрезентативную базу для оценки предпринимательского потенциала, воспринимаемых барьеров и выгод от ТТ. В ходе дальнейших исследований целесообразно обследовать более значительную долю бизнесменов, действующих в том же секторе, сравнить полученные результаты. Будет полезным сопоставить полученную картину с другими секторами, в которые перуанское правительство вкладывает средства для стимулирования ТТ (например, текстильная промышленность и сельское хозяйство). Наконец, рекомендуется проанализировать ситуацию в различных отраслях на международном уровне.

Авторы выражают благодарность за поддержку Частному университету Севера (*Universidad Privada del Norte*) и Центру производственных инноваций и передачи технологий кожевенной и обувной промышленности (CITEscal) (Перу), а также Технологическому университету Монтеррея (*Tecnologico de Monterrey*) и Национальному совету по науке и технологиям Мексики (*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT*).

Библиография

- Комлоши Е., Пагер Б., Маркус Г. (2019) Предпринимательские инновации в странах с разным уровнем развития. *Форсайт*, 13(4), 23–34. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.4.23.34>
- Рюкер-Шеффер П., Фишер Б., Кьероз С. (2018) Не только образование: роль исследовательских университетов в инновационных экосистемах. *Форсайт*, 12(2), 50–61. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2022.4.59.69>
- Anderson D.R., Sweeney D.J., Williams T.A., Camm J.D., Cochran J.J. (2015) *Statistics for Business and Economics* (13th ed.), Boston, MA: Cengage Learning.
- Apa R., De Marchi V., Grandinetti R., Sedita S.R. (2020) University-SME collaboration and innovation performance: The role of informal relationships and absorptive capacity. *Journal of Technology Transfer*, 46(4), 961–988. <https://doi.org/10.1007/s10961-020-09802-9>
- Arenas J.J., González D. (2018) Technology transfer models and elements in the university-industry collaboration. *Administrative Sciences*, 8(2), 19–36. <https://doi.org/10.3390/admsci8020019>
- Arredondo F., Vásquez J.C., De la Garza J. (2016) Factores de innovación para la competitividad en la Alianza del Pacífico. Una aproximación desde el Foro Económico Mundial. *Estudios Gerenciales*, 32 (141), 326–335. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.06.003>
- Bacigalupo M., Kampylis P., Punie Y., Van den Brande G. (eds.) (2016) *EntreComp: The entrepreneurship competence framework*, Luxembourg: Publication Office of the European Union. <https://doi.org/10.2791/593884>
- Baglieri D., Baldi F., Tucci C.L. (2018) University technology transfer office business models: One size does not fit all. *Technovation*, 76, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.05.003>
- Balconi M., Laboranti A. (2006) University-industry interactions in applied research: The case of microelectronics. *Research Policy*, 35(10), 1616–1630. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.018>
- BRCP (2021) *Notas de Estudios Económicos – Resumen de Actividad Económica: Enero 2021* (Contribution of Banco Central de Reserva del Perú, Perú. Gerencia de Información y Análisis Económico), Lima: Banco Central de Reserva del Perú, Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Notas-Estudios/2021/nota-de-estudios-21-2021.pdf>, дата обращения 10.09.2022.
- Collier A., Gray B.J., Ahn M.J. (2011) Enablers and barriers to university and high technology SME partnerships. *Small Enterprise Research*, 18(1), 2–18. <https://doi.org/10.5172/ser.18.1.2>
- CONCYTEC (2016) *Programa Especial de Transferencia Tecnológica 2016–2021* (Contribution of Sub Dirección de Innovación y Transferencia Tecnológica del Concytec), Lima: Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. https://portal.concytec.gob.pe/images/noticias/Programa_Especial_de_TT_-_documento_para_consulta_p%C3%BAblica.pdf, дата обращения 10.06.2022.
- Cosavalente I. (2019) *Perú: Situación actual del sector cuero y calzado* (Contribution of IV Congreso Nacional de Cuero y Calzado, Departamento de Estudios Económicos del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) – Sucursal Trujillo), Lima: CITECCAL. <https://citeccal.itp.gob.pe/wp-content/uploads/2019/12/IV-CONGRESO-NACIONAL-DE-CUERO-Y-CALZADO-SITUACION-ACTUAL-DEL-SECTOR-CUERO-Y-CALZADO-BCRP-Trujillo.pdf>, дата обращения 08.07.2022.
- Dunham L.C. (2010) From rational to wise action: Recasting our theories of entrepreneurship. *Journal of Business Ethics*, 92(4), 513–530. <https://doi.org/10.1007/s10551-009-0170-5>
- Easterby-Smith M., Thorpe R., Jackson P.R. (2015) *Management research* (5th ed.), New Delhi: Sage Publications Ltd.
- Etzkowicz H., Leydesdorff L. (2000) The Dynamics of Innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Frese M., Gielnik M.M. (2014) The Psychology of Entrepreneurship. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 1(1), 413–438. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-031413-091326>

- Garrigós J.A., Nuchera A.H. (2008) Transferencia tecnologica en programas publicos de cooperacion universidad-empresa. Propuesta de un modelo basado en evidencia empirica. *Direccion y Organizacion*, 35, 116–124. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i35.64>
- Gilsing V., Bekkers R., Freitas I.M.B., Van der Steen M. (2011) Differences in technology transfer between science-based and development-based industries: Transfer mechanisms and barriers. *Technovation*, 31(12), 638–647. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.06.009>
- Goel R.K., Göktepe-Hultén D., Grimpe C. (2017) Who instigates university – industry collaborations? University scientists versus firm employees. *Small Business Economics*, 48(3), 503–524. <https://doi.org/10.1007/s11187-016-9795-9>
- Guerrero S., Molero J. (2019) Proyectos tecnológicos y desempeño innovador de las regiones colombianas. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(2), 409–430. <https://doi.org/10.37960/revista.v24i2.31501>
- Hafeez A., Shamsuddin A., Nazeer S., Saeed B. (2018) Barriers and challenges for technology transfer in ecosystem of ICT sector of Pakistan. *Journal for Studies in Management and Planning*, 4, 178–188.
- Henry M., Kneller R., Milner C. (2009) Trade, technology transfer and national efficiency in developing countries. *European Economic Review*, 53(2), 237–254. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2008.05.001>
- Hofer F. (2009) *The improvement of technology transfer: An analysis of practices between Graz University of Technology and Styrian companies*, Berlin: Springer Science and Business Media.
- Jung W. (1980) Barriers in Technology transfer and their limitations. *Journal of Technology Transfer*, 4(2), 15–25. <https://doi.org/10.1007/BF02179592>
- Kenney M., Patton D. (2009) Reconsidering the Bayh-Dole Act and the current university invention ownership model. *Research Policy*, 38(9), 1407–1422. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.07.007>
- Khan J., Haleem A., Husain Z. (2017) Barriers to technology transfer: A total interpretative structural model approach. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 31(6), 511–536. <https://doi.org/10.1504/IJMTM.2017.089075>
- Kodithuwakku S.S., Rosa P. (2002) The entrepreneurial process and economic success in a constrained environment. *Journal of Business Venturing*, 17(5), 431–465. [https://doi.org/10.1016/S0883-9026\(01\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0883-9026(01)00074-X)
- Maresova P., Stemberkova R., Fadeyi O. (2019) Models, Processes, and Roles of Universities in Technology Transfer Management: A Systematic Review. *Administrative Sciences*, 9(3), 67. <https://doi.org/10.3390/admsci9030067>
- Martyniuk A.O., Jain R.K., Stone H.J. (2003) Critical success factors and barriers to technology transfer: Case studies and implications. *International Journal of Technology Transfer and Commercialization*, 2(3), 306–327. <https://doi.org/10.1504/IJTTC.2003.003173>
- Mojaveri H.S., Nosratabadi H.E., Farzad H. (2011) A New Model for Overcoming Technology Transfer Barriers in Iranian Health System. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 2(4), 280–284. <https://doi.org/10.7763/ijtef.2011.v2.117>
- O'Reilly P., Cunningham J.A. (2017) Enablers and barriers to university technology transfer engagements with small- and medium-sized enterprises: Perspectives of Principal Investigators. *Small Enterprise Research*, 24(3), 274–289. <https://doi.org/10.1080/13215906.2017.1396245>
- Radoslaw N. (2014) *Entrepreneurial Capacity and Culture of Innovation in the Context of Opportunity Exploitation* (PhD thesis), Champaign, IL: University of Illinois. <https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/49751>, дата обращения 07.11.2022.
- Roca S. (2015) Políticas y factores que contribuyen a la transferencia de tecnología en organizaciones del Perú. *Revista Venezolana de Gerencia*, 19(68), 639–669. <https://doi.org/10.37960/revista.v19i68.19125>
- Rodríguez-López Á., Souto J.E. (2020). Empowering entrepreneurial capacity: Training, innovation and business ethics. *Eurasian Business Review*, 10(1), 23–43. <https://doi.org/10.1007/s40821-019-00133-w>
- Rogers E.M. (2003) *Diffusion of innovations* (5th ed.), New York: Free Press.
- Shane S., Venkataraman S. (2000) The promise of entrepreneurship as a field of research. *The Academy of Management Review*, 25(1), 217–226. https://doi.org/10.1007/978-3-540-48543-8_8
- Shen Y. (2017) Identifying the key barriers and their interrelationships impeding the university technology transfer in Taiwan: A multi-stakeholder perspective. *Quality and Quantity*, 51(6), 2865–2884. <https://doi.org/10.1007/s11135-016-0450-y>
- Shmeleva N., Gamidullaeva L., Tolstykh T., Lazarenko D. (2021) Challenges and opportunities for technology transfer networks in the context of open innovation: Russian experience. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(3), 1–24. <https://doi.org/10.3390/joitmc7030197>
- Tunca F., Kanat Ö.N. (2019) Harmonization and Simplification Roles of Technology Transfer Offices for Effective University-Industry Collaboration Models. *Procedia Computer Science*, 158, 361–365. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.063>
- Zeithaml C., Rice G. (1987) Entrepreneurship-Small Business Education in American Universities. *Journal of Small Business Management*, 25(1), 44–50.

Умная автоматизация в интересах кибербезопасности

Анжело Невес

Эксперт, 20192365@academia.uatlantica.pt

Вирджиния Араухо

Профессор, varaujo@uatlantica.pt

Кафедра информационных систем, Университет Атлантика (Department of Information Systems, Atlântica University Institut),
2730–208 Barcarena, Lisbon, Portugal

Аннотация

В экосистеме интеллектуальной автоматизации, или роботизации процессов, особое место занимают практика и подходы к созданию и эксплуатации систем обеспечения информационной защиты, необходимых любой организации. Большая безопасность расширяет возможности повышения качества и эффективности деятельности и прибыльности предприятия. Наиболее перспективными для организаций, пользующихся гибкими методами разработки программного обеспечения (ПО), в настоящее время представляются принципы и передовой опыт культуры «Разработка, Безопасность, Эксплуатация» (Development, Security, Operations — DevSecOps). В эпоху цифровизации софтверные компании все сильнее нуждаются в методах комплексного использования различных навыков и компетенций — от анализа и внедрения до дальнейшего совершенствования программных продуктов. Информационная безопасность

выступает важнейшим аспектом всего жизненного цикла продукта, обеспечивающим такие фундаментальные характеристики, как конфиденциальность, надежность и доступность систем роботизированной автоматизации, от которых зависят репутация и бизнес компании.

Не забывая о потребностях клиентов, создание ПО требует внедрения более гибких методов, которые позволяют разработчикам обеспечить пользовательскую ценность при моделировании ПО на протяжении всего жизненного цикла продуктов, а также соответствие требований, планов и результатов интересам клиентов. В статье представлены подходы к постоянному совершенствованию интеллектуальных платформ автоматизации в крупных международных организациях. Кроме того, рассмотрены барьеры для применения методологии DevSecOps при создании программной оболочки для систем роботизированной автоматизации.

Ключевые слова: роботизированная автоматизация процессов; управление бизнес-процессами; DevSecOps; интеллектуальная автоматизация; кибербезопасность

Цитирование: Neves A., Araújo V. (2023) Smart Automation for Enhancing Cyber-Security. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 89–97. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.89.97

Smart Automation for Enhancing Cyber-Security

Ângelo Neves

Expert, 20192365@academia.uatlantica.pt

Virgínia Araújo

Professor, varaujo@uatlantica.pt

Department of Information Systems, Atlântica University Institut, 2730-208 Barcarena, Lisbon, Portugal

Abstract

In an intelligent automation ecosystem, namely in the context of Robotic Process Automation, there is a need to review the development and operation processes and practices, to combine competences from these two areas with the common good necessary for any organization or security team. It is with security that quality, efficiency, and profitability become possible. The elaboration of guidelines and best practices for the application of a DevSecOps culture is currently essential for Agile software development at any organization. In the digitalization era, teams increasingly need a collaborative method to involve several competencies and capabilities, from analysis to implementation and the evolution of a software product. Information security needs to be an integral part throughout the entire product's lifecycle, as

without it, fundamental aspects of confidentiality, integrity, and availability put information and software security at serious risk in the course of business operations.

Without losing focus on customer needs, it is necessary to model software development practices, following more agile methodologies. In this way, teams can model the software throughout its lifecycle, focusing on facilitating the delivery of value to the customer and having greater certainty that requirements, plans, and results are 100% aligned with customer needs. This paper presents an analysis and proposal for the continuous improvement of an intelligent automation platform at a large-scale multinational organization. In parallel, aspects that generate resistance to the implementation of a DevSecOps methodology within the scope of RPA code development is considered.

Keywords: robotic process automation (RPA); business process management; DevSecOps; intelligent automation

Citation: Neves A., Araújo V. (2023) Smart Automation for Enhancing Cyber-Security. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 89–97. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.89.97

Для эффективной реализации бизнес-процессов любой организации приходится выполнять множество административных задач, характеризующихся низким уровнем риска. Многие из таких задач выполняются постоянно и требуют значительных временных затрат. Зачастую при их решении применяются устаревшие подходы, подлежащие оптимизации. Модернизационные усилия все большего числа компаний направлены на минимизацию указанных негативных аспектов для повышения производительности и эффективности работы персонала.

Совещания, административные задачи, переписка и телефонные разговоры отнимают у сотрудников много времени и иногда отвлекают их от основной работы. Это неизбежно и существенно снижает концентрацию их внимания, что сказывается на производительности труда и реализации основных задач организации. Как отмечено в статье, опубликованной сотрудниками Гарвардской школы бизнеса (Harvard Business School), повторяющиеся рутинные операции быстро надоедают и вызывают потребность отвлечься от напряженной работы. Авторы отмечают, что, если работнику приходится выполнять одну и ту же задачу существенно дольше необходимого, он предпочитает затягивать ее выполнение, а не заканчивать как можно быстрее (Brodsky, Amabile, 2018).

Роботизированная автоматизация процессов (Robotic Process Automation, RPA) предполагает применение машин для осуществления задач, ранее выполнявшихся людьми. Речь идет не о любых операциях, а о повторяющихся и не требующих критического мышления. Ведущие мировые гиганты, такие как Bosch, Siemens, Caterpillar и др., постоянно предлагают инновационные решения по оптимизации своих процессов. Основные направления автоматизации — инвентаризация запасов продукции, перемещение грузов по производственным помещениям и складам с оптимизацией логистики, мониторинг техники безопасности, управление документооборотом и многое другое (Lu et al., 2020). Внедрение новых технологий расширяет возможности бизнеса по ускорению производственного цикла, минимизации роли человеческого фактора, повышению производительности и качества продукции (Quazi et al., 2022).

Однако, чем выше степень автоматизации, тем выше риски для кибербезопасности и угрозы функционированию организаций. Принцип активного обеспечения безопасности клиентов предполагает предотвращение утечек данных или кибератак, а не реагирование на них. Грамотное использование подхода «Разработка, Безопасность, Эксплуатация» (Development, Security, Operations — DevSecOps) с самого начала жизненного цикла ПО позволяет снизить соответствующие издержки, поскольку они учитываются на каждом этапе создания продукта. Подобный подход применим и к RPA, где информационная безопасность требуется на всех платформах, а также при выполнении любых мероприятий по планированию, проектированию, конструированию, тестированию, практическому внедрению и дальнейшему развитию систем с акцентом на защиту и конфиден-

циальность данных и аутентификацию пользователей. Функциональные системы контроля позволяют ограничить доступ к приложениям в зависимости от функций конкретного пользователя.

Более эффективный контроль и управление деятельностью за счет возможностей RPA, методов DevSecOps и автоматизации проверки кода существенно повышают качество ПО и позволяют заметно снизить число внештатных ситуаций в ходе эксплуатации этих систем.

Роботизированная автоматизация процессов

Технология RPA представляет собой инструмент разработки ПО, который упрощает создание, внедрение и управление роботами, имитирующими взаимодействие человека с другим ПО и цифровыми системами. Такие роботы выполняют заданную последовательность операций без участия людей, сокращая объем ручного труда и позволяя организациям гибко и экономично автоматизировать свои бизнес-процессы. RPA обеспечивает интеграцию интерфейсов прикладного программирования и других технологий автоматизации, включая искусственный интеллект, модели машинного обучения, когнитивные сервисы (такие, как чат-боты, обработка естественного языка и оптическое распознавание символов).

Автоматизируя повторяющиеся операции, технология RPA дает сотрудникам возможность сосредоточиться на более специализированных и важных задачах. Для организаций RPA выступает потенциальным инструментом рационализации бизнес-процессов, снижения затрат на персонал и минимизации ошибок, вызванных человеческим фактором. Благодаря этому удается сократить число сбоев критических процессов, повысить прибыль и качество обслуживания, а значит, и удовлетворенность клиентов.

RPA служит эффективным и продуктивным решением многих задач. В частности, одной из наиболее трудоемких операций остается обработка счетов. Счета-фактуры поступают по разным каналам, после чего комплектуются с заказами, а для их оплаты зачастую необходимо согласие нескольких сотрудников. RPA предлагает механизм автоматической отправки счетов на утверждение нужному сотруднику, повышая эффективность проведения платежей. Аналогичным образом можно автоматизировать процесс проверки заказов для утверждения оплаты на базе контрольных списков.

Системы RPA находят применение в банковском и производственном секторах, страховании, здравоохранении, хайтеке и сфере услуг (например, телекоммуникационных либо энергетических) для выставления и оплаты счетов или ведения бухгалтерии. Банковский, финансовый, страховой сектора и здравоохранение располагают значительным потенциалом по внедрению RPA в механизмы активации карт, выявлению мошенничества, обработке заявлений на возмещение убытков, развитию бизнеса, автоматизации отчетности и координации работы различных систем (Madakam et al., 2019).

DevOps и DevSecOps

Современные подходы к разработке ПО опираются на гибкие методы, которые, в отличие от последовательного подхода Waterfall, предполагают постоянное совершенствование. Если группы разработчиков действуют разрозненно, не учитывая вопросов эксплуатации и безопасности создаваемых продуктов, у пользователей могут возникнуть проблемы, что скажется на финансовой или производственной эффективности бизнеса¹.

Под информационной безопасностью понимаются инструменты и методы проектирования и разработки устойчивого к кибератакам ПО для максимально раннего их предотвращения, выявления и реагирования на потенциальные угрозы. Ранее вопросами безопасности ПО, как правило, начинали заниматься лишь по завершении его разработки с помощью сотрудников специальных подразделений кибербезопасности, которые не участвовали в более ранних стадиях жизненного цикла продукта. Такой разрозненный подход замедляет создание ПО и устранение его уязвимостей. Работа всех вовлеченных в эти процессы специалистов осложняется трудностями в выявлении проблем с безопасностью в контексте производственной среды (Koskinen, 2019).

Набирающий популярность подход «Разработка и эксплуатация» (Development and Operations, DevOps) предполагает параллельную реализацию указанных процессов на протяжении всего жизненного цикла продукта. Сама по себе эксплуатация продукта после его создания может упростить выявление и устранение потенциальных проблем, но замедлит внедрение, а в сочетании с разработкой обеспечит организациям экономии времени и повышение общей эффективности (Lwakatare et al., 2019; Azad, Hyrynsalmi, 2021). DevOps применяется многими крупными компаниями в сфере электроники, интернет-торговли, доставки и др. (например, Starbucks, Etsy, Apple, Airbnb, Ashley Madison) и государственными органами (ФРС США, NASA и др.) (Plant et al., 2022; Rzig et al., 2022)².

DevSecOps представляет собой следующий шаг в развитии модели DevOps, расширяющий его возможности за счет превентивного обеспечения кибербезопасности. Он предполагает эффективную интеграцию тестирования и защиты на протяжении всего жизненного цикла ПО, поскольку вопросы безопасности продукта и инфраструктуры требуют учета с самого начала процесса разработки. В рамках многоуровневого подхода к ее достижению внимание уделяется не только защите данных и приложений, но и всему контексту интеграции, обслуживания и конечной эксплуатации систем (Smolander et al., 2022).

Как и DevOps, методология DevSecOps рассчитана на применение всеми специалистами, участвующими в разработке и внедрении ПО. Принятие культуры информационной и кибербезопасности в сочетании с другими требованиями дает возможность «разделить ответственность» за конкретные технологии и методы

и разрабатывать протоколы защиты, обеспечивающие более эффективный контроль и управление рисками и оперативное решение соответствующих проблем.

DevSecOps позволяет быстро и безопасно разрабатывать более качественное ПО на основе единой логики с DevOps. Если обеспечению безопасности уделяется внимание лишь на завершающей стадии разработки, это может снизить эффективность реализующих методологию DevOps организаций. Причина — в том, что без интегрированных систем безопасности возрастает вероятность дублирования операций и необязательных перекомпиляций, увеличивая сроки разработки ПО и ухудшая характеристики конечного кода (Rajpakte et al., 2022).

Метод DevSecOps предполагает разработку и интеграцию модернизированных подходов к обеспечению безопасности, совместимых с DevOps. Эта тактическая триада объединяет разработку, информационную безопасность и эксплуатацию ПО (Myrbakken, Colomo-Palacios, 2017). Ее суть состоит в глубокой интеграции безопасности во все стадии жизненного цикла продукта благодаря серии автоматизированных операций, реализуемых в ходе создания его новых версий. Совокупность отмеченных операций способствует повышению эффективности и продуктивности процесса разработки.

Опытной успешной реализации DevSecOps располагают самые разные компании — Microsoft, Verizon и Pokemon Company, заинтересованные в слаженной коллаборации групп программистов и специалистов по безопасности (Swinhoe, Nadeau, 2019). Так, Verizon создала панель для мониторинга (когда и по чьей вине) возникающих уязвимостей в своих бизнес-приложениях на всех этапах жизненного цикла. Формируемая комплексная картина уязвимостей дает разработчикам практически в режиме реального времени сигналы о рисках, которые эти уязвимости несут для бизнеса, и позволяет им находить способы улучшить свои навыки. На базе DevSecOps Pokemon Company выстроила систему защиты для предотвращения утечек персональных данных пользователей онлайн-игры, что повысило общую корпоративную культуру безопасности.

Наконец, Microsoft создала многоуровневую систему коммуникаций и обмена опытом между разными командами разработчиков. На начальном уровне все сотрудники обучаются стандартам делового поведения, включая вопросы защиты данных. Следующий уровень позволяет добиться более глубокой безопасности для всех сотрудников. Третий предназначен только для инженеров компании, которых в закрытом режиме знакомят с источниками угроз, помогая им сформировать глобальную картину рисков. Персонал компании осваивает принципы, лежащие в основе политики корпоративной безопасности Microsoft, методы и тактики, применяемые хакерами, а также доступные инженерные решения. В конечном счете должна сложиться сеть,

¹ <https://threatpost.com/apps-built-better-devsecops-security-silver-bullet/167793/>, дата обращения 22.01.2023.

² См. также: <https://digital.ai/catalyst-blog/9-companies-you-wouldnt-expect-to-be-using-devops/>, дата обращения 22.01.2023.

объединяющая коллег и ресурсы, которые можно задействовать в любых проектах для целей безопасности. Чем лучше специалисты службы безопасности и разработчики будут понимать, что делает другая команда, тем более чуткими и готовыми к сотрудничеству они окажутся. Это ведет к снижению числа уязвимостей в финальном продукте и ускоренному их исправлению.

По мере появления новых типов кибератак защита среды разработки, непрерывной интеграции и внедрения (Continuous Integration and Continuous Delivery/Continuous Deployment, CI/CD) приобретает все большее значение. С самой ранней стадии разработки и на протяжении всего жизненного цикла продукта внимания требуют вопросы безопасности создаваемого кода, применения передовых методов защиты и быстрого реагирования на уязвимости.

Интеграция метода DevSecOps в платформу RPA: анализ конкретной ситуации

Применительно к бизнес-процессам термин RPA часто понимается как настройка ПО для выполнения операций, ранее осуществлявшихся людьми, в частности ввода данных из различных источников (электронной почты, таблиц и т. п.) в информационные системы (например, планирования ресурсов предприятия (ERP) и управления отношениями с клиентами (CRM)) (Lacity et al., 2015).

Корпоративные принципы Deloitte предусматривают, что с точки зрения рентабельности инвестиций структура процесса важнее, чем применяемая технология. В докладе компании описывается опыт некоего банка по внедрению RPA, в ходе которого был создан новый процесс обработки 1.5 млн заявок в год при помощи 85 роботов для выполнения 13 процедур. Достигнутая производительность эквивалентна 230 постоянным сотрудникам, а затраты на нее составили примерно 30% от зарплаты, которую пришлось бы платить людям (Schatsky et al., 2016).

Компания Siemens Global Business Services ведет разработку цифровых решений для оптимизации бизнес-процессов и расширяет практику оказания цифровых услуг с добавленной стоимостью. В 2017 г. было принято решение создать первую глобальную платформу RPA для поддержки различных корпоративных сервисов. Поставщиком технологии была выбрана компания Blue Prism — первый, один из наиболее авторитетных и зрелых брендов, удерживающий лидерство на рынке технологий RPA. Blue Prism входит в число 15 крупнейших поставщиков комплексных решений, способных поддерживать интеллектуальные автоматизированные экосистемы или общекорпоративные системы RPA для крупного бизнеса³. Они обеспечивают мощную поддержку автоматизации бэк-офиса, поэтому лучше подходят для промышленных предприятий и организаций здравоохранения (Khan, 2020).

По сравнению с актуальными на тот момент предложениями конкурентов Blue Prism выделялась централизованным подходом к менеджменту, упрощающим внедрение автономных роботов (полностью автоматизированных систем выполнения операций). Кроме того, продукты Blue Prism соответствовали обязательным требованиям Siemens в области финансов и безопасности, что позволило интегрировать их в систему внутренней отчетности (Internal Control Over Financial Reporting, ICFR). Тем самым Blue Prism отвечала главному критерию выбора технологических партнеров Siemens. ICFR регламентирует политику контроля и процедуры оценки рисков, обеспечивающих разумную уверенность в надежности финансовой отчетности компании, как того требует Закон Сарбейнса-Оксли (Sarbanes-Oxley Act, SOX) о раскрытии корпоративной финансовой информации.

Платформа RPA рассматривается нами как инструмент интеграции методологии DevOps с корпоративными требованиями безопасности. Централизованная платформа RPA Blue Prism, разработанная Siemens как сервис коллективного пользования, предлагает поддержку управления бизнес-процессами. Она позволяет автоматизировать повторяющиеся, рутинные, формализованные операции на базе структурированного ввода данных. Платформа интегрирована с другими технологиями, обеспечивая сквозную автоматизацию, и учитывает характеристики среды разработки, тестирования и производства. В каждом случае в расчет принимается логическое и физическое разделение сред. В производственной среде также обеспечивается физическое разделение данных.

ПО Blue Prism выполняет фиксированный алгоритм на базе технологии Runtime Client. Этот программный робот способен аутентифицироваться в целевых приложениях в зашифрованном формате и взаимодействовать с ними через графический пользовательский интерфейс (GUI), в том числе считывать или вводить данные в поля GUI, взаимодействовать с такими его элементами, как кнопки или ползунковые переключатели, и т. д. — в точности как пользователь-человек. Автоматизированный процесс может работать с несколькими целевыми приложениями. Поскольку для этого роботу нужна учетная запись и соответствующие права в целевой системе, реализовано разделение функций по принципу распределения ответственности (критические для процесса функции делятся между несколькими работниками или подразделениями организации). В подобном случае после аутентификации в системе (например, SAP) один и тот же пользователь не сможет и зарегистрировать заказ и утвердить его.

Диаграммы автоматизированных процессов представляют собой схемы бизнес-процессов, которые фактически служат компьютерными программами. В них применяются основные концепции программирования, а последовательность операций представлена в виде блок-схем. По сути, это визуализация рабочих про-

³ <https://www.gartner.com/en/documents/4016876>, дата обращения 22.01.2023.

цессов для воспроизведения, анализа, модификации и масштабирования бизнес-задач. Каждый разработчик RPA имеет доступ к среде приложений Blue Prism. Для этого была создана система разделения сред, разграничивающая обязанности в интересах безопасности всей платформы. Именно здесь создаются процессы и объекты, которые затем апробируются в специальной тестовой среде. Автоматизированные процессы и системы внедряются в производство только после успешного прохождения теста на приемлемость для пользователя (User Acceptance Test). Их интеграция осуществляется и контролируется уполномоченным менеджером в рамках системы CI/CD или на индивидуальной основе.

Платформа RPA, разработанная специально для компании Siemens, предназначена для предоставления услуг по автоматизации деятельности различных бизнес-подразделений организации. Спрос на автоматизированные сервисы растет, а технологическая интеграция остается гетерогенной. Каждая автоматизированная операция, выполняемая в рамках системы RPA, реализуется на определенном уровне, что делает отдельного программного робота уникальным с точки зрения как доступа к приложениям, так и места в общем производственном цикле.

Дальнейшее развитие автоматизации RPA на базе концепции «фабрики ПО» может дать преимущества по сравнению с традиционными подходами к разработке. Речь идет прежде всего о совместимости разрабатываемых приложений: фабрика ПО предоставляет пользователям инструменты совместного освоения одних и тех же ресурсов и сходную логику, что требует обмена знаниями и документацией, опоры на общие структуры и соответствующих навыков. Однако в случае автоматизации нескольких процессов в рамках системы RPA подход, который состоит в последовательном применении ранее полученных знаний, может оказаться неэффективным и будет порождать ошибки. Другой аспект связан с качеством: повторное применение ранее написанного кода позволяет сэкономить время и ресурсы на автоматизацию и уделить больше внимания уникальным функциям. Вероятность ошибок в ходе проектирования и кодирования со временем предположительно снижается, но без устойчиво высокого качества разработок трудно добиться надлежащего уровня конечного продукта. Наконец, внимание уделяется повышению производительности, эффективности, совместимости и качества, чтобы проекты реализовывались в кратчайшие сроки и без привлечения дополнительных ресурсов.

Даже после внедрения в производство система требует постоянного мониторинга ее работы. В случае непоправимых ошибок в функционировании робота курирующий его менеджер должен уведомить о сбое разработчика и ответственных за процесс сотрудников организации. При этом собирается и детально проверяется вся необходимая фактическая информация об обстоятельствах и причинах, которые могут быть связаны с работой виртуальных машин, коммуникационными/сетевыми проблемами или, собственно, с автоматизацией. В последнем случае это может быть обусловлено изменениями автоматизируемого приложения или бизнес-про-

цесса, не учтенными при разработке RPA. При крахе на операционном уровне (блок-схема процесса) восстановление потребует вмешательства создателей RPA.

Для коррекции уже задействованного автоматизированного процесса разработчику, как правило, необходим доступ к нему, чтобы отличить реальный процесс от использованного в среде контроля качества. Для решения таких задач и внесения экстренных изменений была создана специальная среда Blue Prism, позволяющая разработчику применять реальные производственные системы для минимизации различий между двумя указанными средами. Например, при обработке счетов-фактур или заказов в SAP среда контроля качества не всегда совпадает с реальной по объему или однородности информации, что затрудняет ее автоматизацию на базе фиктивных данных.

Siemens разрабатывает механизм внесения экстренных изменений в рамках системы обеспечения стабильной работы предприятия, которая позволяет оперативно устранять сбои и восстанавливать работу сервисов для минимизации последствий простоев, вызванных авариями или катастрофами.

В ходе непрерывного процесса интеграции и реализации применяется подход к автоматизации, в рамках которого концепция RPA встраивается в управление производственной цепочкой. Автоматизация RPA сама по себе формирует концепцию цепочки CI/CD, поскольку позволяет управлять разработкой и реализацией новых систем автоматизации в полностью автономном режиме.

Запросы на внесение серьезных изменений должны соответствовать критериям тестирования новых систем автоматизации на приемлемость для пользователя. В документации следует отражать типы или уровни тестов, которые были выполнены для оценки надежности и стабильности кода. Хотя эту процедуру пока не удалось полностью автоматизировать, именно с ее помощью осуществляется контроль качества и условий авторизации для внедрения кода на производстве. Чем больше происходит сбоев, тем чаще приходится выполнять отладку в среде для внесения экстренных изменений и тем больше соответствующих запросов, что удлиняет цепочку реализации CI/CD. В некоторых случаях, например, при незначительных изменениях, проверка и тестирование не выполняются, т. е. системы автоматизации сразу внедряются в производство.

Интеллектуальная автоматизация

Системы RPA, в особенности Blue Prism, позволяют не имеющим отношения к разработке ПО лицам быстро и с небольшими затратами автоматизировать некоторые бизнес-процессы. Последние высоко формализованы (регулируются четкими правилами и требованиями), носят тактический (краткосрочный) характер и реализуются в ИТ-организациях, применяющих сервис-ориентированные архитектуры и инструменты управления (Slaby, 2012).

Интеллектуальная платформа автоматизации представляет собой инструмент RPA на базе программных

роботов⁴. Ее ПО разработано в среде Microsoft.Net Framework и совместимо с рядом платформ, в частности IBM Mainframe, Windows, Windows Presentation Foundation (WPF), а также Java и сетью Интернет. Функционал визуального дизайна по принципу «сверху вниз» позволяет этому инструменту представлять материал как на самом общем, так и на максимально конкретном уровне и «перетаскивать» элементы мышью. Таким образом, даже технически неквалифицированные пользователи могут автоматизировать процессы, перемещая компоненты системы мышью в удобном графическом интерфейсе. При этом обеспечиваются соответствие существующей политике безопасности (настраиваемый функционал) и защита данных путем шифрования и «маскировки». Алгоритмы обеспечивают также безопасную передачу и хранение данных и доступ к ним.

С точки зрения контроля доступа указанная технология позволяет ограничивать определенным группам лиц возможности эксплуатации системы, например, предоставлять отдельным пользователям доступ только к конкретным группам роботов, процессов и объектов. Blue Prism поддерживает Стандарты безопасности данных индустрии платежных карт (Payment Card Industry Data Security Standards, PCI-DSS), соответствует требованиям Закона о переносе и подотчетности медицинского страхования (Health Insurance Portability and Accountability Act, HIPAA) и Закона Сарбейнса-Оксли (Sarbanes-Oxley Act, SOX), что задает необходимый уровень защиты и функционала⁵.

Предусмотрен также механизм масштабирования на базе централизованного управления. Этот инструмент предназначен для автономной интеллектуальной работы (без взаимодействия с человеком) на всех стадиях автоматизированного процесса с применением модуля управления расписанием («Диспетчерская»), обеспечивающим автозапуск в любое заданное время. Любые процессы можно по мере необходимости автоматизировать и вести централизованный мониторинг их реализации, применяя усовершенствованный инструментарий сбора детальной информации о состоянии робота в режиме реального времени, который дает полное представление о цифровой системе.

Blue Prism также часто используется для масштабного внедрения. В апреле 2015 г. компания Telefónica O2 (принадлежит Telefónica Group) установила более 160 программных роботов Blue Prism, которые обрабатывают 400–500 тыс. транзакций в месяц. Прибыль на инвестиции составляет от 650% до 800% за трехлетний период (Lacity et al., 2015).

Анализ процесса постоянного совершенствования

Siemens GBS стремится повышать качество своих цифровых услуг и разрабатывает механизмы непрерывного совершенствования, чтобы отвечать самым строгим

стандартам. Контроль качества позволяет сократить число ошибок или сбоев в ходе предоставления услуг. От RPA ожидается приведение всех автоматизированных систем в соответствие требованиям качества целевых приложений, т. е. систем под управлением роботов. Это не лучшая среда для разработки надежных и качественных процессов, и необходимы другие механизмы достижения данной цели. Автоматизация обеспечения безопасности в рамках цикла разработки указанных систем снижает риск ошибок и некорректного управления, чреватых сбоями в работе систем RPA или атаками на них.

Для повышения качества конечного продукта выполняется анализ кода. В данном случае речь идет о системной проверке кода RPA, написанного другими разработчиками, на наличие ошибок и с применением других критериев качества. В ходе анализа оценивается соответствие кода всем необходимым требованиям. Этот процесс следует планировать и выполнять на ранней стадии разработки. Время здесь имеет решающее значение, поскольку на более поздних этапах (или внепланово) проверка с большей вероятностью приведет к необходимости разработки нового кода, когда роботы уже внедрены в производство и последствия будут более тяжелыми.

Безопасность остается приоритетом на протяжении всего цикла разработки. Вопросы защиты RPA регулируются с помощью специальных средств контроля. Моделирование угроз на этапе дизайна, обучение разработчиков методам безопасного программирования и регулярный анализ кода с привлечением специалистов по безопасности помогут повысить общее качество кода и снизить число потенциальных проблем.

Если не планировать мероприятия по постоянному совершенствованию, риски для стабильности бизнеса возрастают, особенно при активной эксплуатации старых версий ПО, поскольку все системы автоматизации RPA со временем устаревают. Новые технологии появляются на рынке каждую неделю, и Siemens обеспечивает необходимые для поддержания безопасности инфраструктуры обновления, чтобы не оказаться в ситуации исчерпания жизненного цикла ПО. Учитывая столь высокую динамику и инновационную активность, развитие RPA следует воспринимать как непрерывный процесс.

В рамках управления системами роботизированной автоматизации следует регулярно выполнять оценку рисков и аудит процессов RPA. Ответственные сотрудники должны иметь четкое представление о своих обязанностях по обеспечению безопасности, в частности в отношении контроля доступа к роботизированным процессам автоматизации, ведения журналов (логов), мониторинга операций и т. д. Необходимо делегировать полномочия по регулярной оценке информационной безопасности RPA, иметь контрольный список соответствующих требований, структурировать уровни конфиденциальности, надежности и доступности

⁴ <https://www.blueprism.com/products/intelligent-rpa-automation/>, дата обращения 22.01.2023.

⁵ <https://www.blueprism.com/resources/white-papers/how-blue-prism-sets-the-standard-for-secure-rpa/>, дата обращения 22.01.2023.

(Confidentiality, Integrity, and Availability, CIA) для каждого процесса, чтобы ускорить выявление рисков в аудите внутреннего контроля финансовой отчетности ICFR. CIA включает три основных компонента защиты данных и информации, которые можно использовать при формулировании политики корпоративной безопасности. В случае сбоев в работе платформы RPA специалистам по ИТ и безопасности следует тщательно анализировать журналы операций. Логи автоматизации роботизированных процессов должны храниться в отдельной системе, чтобы обеспечить их сохранность и надежность на случай судебного разбирательства.

В ходе разработки новых систем автоматизации RPA прежде всего требуется достаточный набор критериев безопасности и качества кода. Для стандартизации и масштабирования разработки нужны инструменты автоматизированной проверки кода.

Выводы и дальнейшие направления исследований

Хотя технология RPA активно применяется на практике для поддержки экосистем интеллектуальной автоматизации (или корпоративных RPA-систем), в академической литературе ей уделяется незаслуженно скромное внимание (Syed et al., 2020; Ivancic et al., 2019). Задачей нашего исследования было восполнить этот пробел. Основой исследования послужил анализ масштабного внедрения RPA-сервисов компанией Siemens GBS, которая реализовала интеллектуальную автоматизацию сотен процессов и объектов. Проанализированы ключевые критерии теоретического осмысления и практического применения модели DevOps в области интеллектуальной автоматизации, которые позволили Siemens GBS реализовать методы DevSecOps в системах RPA. Для этого разработчикам на протяжении всего жизненного цикла кода продуктов/систем RPA необходимо использовать гибкие методологии, придерживаться культуры сотрудничества и участвовать в постоянном процессе повышения безопасности.

Программистам и операторам требуются инструменты разработки качественного кода RPA, что позволит сократить время на исправление ошибок и сбоев после практического внедрения роботов RPA (а значит, и время их простоя). Это возможно лишь при эффективной коллаборации обеих команд. Переход от модели независимой разработки к эксплуатационной дает преимущества в обслуживании систем RPA после их внедрения. В случае масштабной интеграции, когда необходима постоянная адаптация или корректировка

разработанного кода, эти преимущества могут оказаться критическими.

С учетом несовершенства кода RPA полезными могут оказаться решения по автоматической проверке кода. Их применение и внедрение в систему RPA компании Siemens GBS позволили улучшить качество системы и управление ресурсами. Эти решения могут существенно повысить стабильность платформ RPA, поскольку открывают возможности для разработки более безопасных, надежных и менее трудоемких автоматизированных процессов.

Архитекторам или старшим разработчикам важно иметь возможность тестировать системы управления, поскольку процедуры отладки систем в процессе производства все чаще создают риски для безопасности. При корректировке предстоит учитывать фундаментальные аспекты безопасности не только при работе с готовым кодом, но и на всех стадиях внесения изменений. Например, внедрение кода в производство без адекватного тестирования или устранение ошибок, которые могли возникнуть в ходе разработки, без участия заказчика могут создавать риски для отладки на последующих этапах. Среда тестирования должна во всех деталях воспроизводить потенциальный функционал системы. Если это невозможно, разработчикам следует привлекать к тестированию пользователей (группу эксплуатации).

Платформа RPA будет стабильно работать в производственной среде лишь тогда, когда она удовлетворяет фундаментальным требованиям. Их игнорирование увеличивает риски и делает платформу уязвимой для возможных атак.

Большинство компаний разрабатывают программных роботов RPA в несколько итераций с помощью гибких методологий, которые позволяют повысить потребительскую ценность продукта. Однако системы RPA могут включать разнородные приложения, компоненты и технологии, функционирующие в разных операционных средах. Поскольку автоматизация становится неотъемлемой частью цифровой трансформации, организации все чаще используют технологию RPA, внедрение которой обычно не вызывает проблем, а применение программных роботов снижает эксплуатационные расходы и повышает общую эффективность системы. Фактические затраты на внедрение RPA во многом зависят от масштабируемой мощности платформы и качества разработки роботизированных процессов. Чем оно ниже, тем дороже обслуживание платформы. Сбои программных роботов влекут за собой дополнительные сервисные издержки и снижают ее рентабельность.

Библиография

- Azad N., Hyrynsalmi S. (2021) What Are Critical Success Factors of DevOps Projects? A Systematic Literature Review. In: *Software Business. ICSOB 2021 Proceedings* (eds. X. Wang, A. Martini, A. Nguyen-Duc, V. Stray), Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91983-2_17
- Brodsky A., Amabile T.M. (2018) The downside of downtime: The prevalence and work pacing consequences of idle time at work. *Journal of Applied Psychology*, 103(5), 496–512. <https://doi.org/10.1037/apl0000294>.

- Ivančić L., Suša-Vugec D., Bosilj-Vukšić V. (2019) Robotic Process Automation: Systematic Literature Review. In: *Business Process Management: Blockchain and Central and Eastern Europe Forum, Vienna, Austria, September 1–6, 2019, Proceedings* (eds. C. Di Ciccio, R. Gabryelczyk, L. García-Bañuelos, T. Hernaus, R. Hull, M. Indihar-Štemberger, A. Kő, M. Staples), Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, pp. 280–295.
- Khan S. (2020). Comparative Analysis of RPA Tools-Uipath, Automation Anywhere and Blueprism. *International Journal of Computer Science and Mobile Applications*, 8, 1–6. <https://doi.org/10.47760/ijcsma.2020.v08i11.001>
- Koskinen A. (2019) *DevSecOps: Building security into the core of DevOps*, Jyväskylä: University of Jyväskylä. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/67345>, дата обращения 17.10.2022.
- Lacity M., Willcocks L., Craig A. (2015) Robotic Process Automation at Telefónica O2 (The Outsourcing Unit Working Paper 15/02), London: The London School of Economics and Political Science, дата обращения 21.01.2023.
- Lu Y., Xu X., Wang L. (2020) Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 312–325. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.010>
- Lwakatare L.E., Kilamo T., Karvonen T., Sauvola T., Heikkilä V., Itkonen J., Kuvaja P., Mikkonen T., Oivo M., Lassenius C. (2019) DevOps in practice: A multiple case study of five companies. *Information and Software Technology*, 114, 217–230. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2019.06.010>
- Madakam S., Holmukhe R.M., Jaiswal D.K. (2019) The Future Digital Work Force: Robotic Process Automation (RPA). *Journal of Information Systems and Technology Management*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.4301/S1807-1775201916001>
- Myrbakken H., Colomo-Palacios R. (2017) DevSecOps: A Multivocal Literature Review. In: *Software Process Improvement and Capability Determination* (eds. A. Mas, A. Mesquida, R.V. O'Connor, T. Rout, A. Dorling), Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, pp. 17–29.
- Plant O.H., Van Hillegersberg J., Aldea A. (2022) Rethinking IT governance: Designing a framework for mitigating risk and fostering internal control in a DevOps environment. *International Journal of Accounting Information Systems*, 45, 100560. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2022.100560>
- Qazi A.M., Mahmood S.H., Bahl A.H.S., Mohd J., Gopal K. (2022) The impact of smart materials, digital twins (DTs) and Internet of things (IoT) in an industry 4.0 integrated automation industry. *Materials Today: Proceedings*, 62(1), 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.387>
- Rajapakse R.N., Zahedi M., Babar A.M., Shenc H. (2022) Challenges and solutions when adopting DevSecOps: A systematic review. *Information and Software Technology*, 141, 106700. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106700>
- Rzig D.E., Hassan F., Kessentini M. (2022) An empirical study on ML DevOps adoption trends, efforts, and benefits analysis. *Information and Software Technology*, 152, 107037. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107037>
- Schatsky D., Muraskin C., Iyengar K. (2016) *Robotic process automation: A path to the cognitive enterprise*, London: Deloitte.
- Slaby J.R. (2012) *Cheap, easy-to-develop software robots will eventually supplant many offshore FTEs*, Cambridge (UK): HfS Research, Ltd.
- Smolander K., Akbar M.A., Mahmood S., Alsanad A. (2022) Toward successful DevSecOps in software development organizations: A decision-making framework. *Information and Software Technology*, 147, 106894. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.106894>
- Swinhoe D., Nadeau M. (2019) 3 DevSecOps success stories. CSO Online, 26.09.2019. <https://www.csoonline.com/article/3439737/3-devsecops-success-stories.html>, дата обращения 17.11.2022.
- Syed R., Suriadi S., Adams M., Bandara W., Leemans S.J., Ouyang C., Ter Hofstede A.H., Van de Weerd I., Wynn M.T., Reijers H. A. (2020). Robotic Process Automation: Contemporary Themes and Challenges. *Computers in Industry*, 115, 103162. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103162>