

# Критические технологии и перспективы развития России в условиях экономических и технологических ограничений

Акаев Аскар Акаевич

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, e-mail: askarakaev@mail.ru

Девезас Тессалено Кампос

Университет Атлантика, Баркарена, e-mail: tdevezas@gmail.com

Кораблёв Вадим Васильевич

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, e-mail: korablev@spbstu.ru

Сарыгулов Аскар Исламович

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, e-mail: dept.cfr@unecon.ru

**Цитирование:** Акаев А.А., Девезас Т.К., Кораблёв В.В., Сарыгулов А.И. (2024). Критические технологии и перспективы развития России в условиях экономических и технологических ограничений. *Terra Economicus* 22(2), 6–21. DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-2-6-21

Цель данной работы — проанализировать причины технологического отставания России и наметить возможности внедрения результатов исследований в практику экономического и промышленного управления. В новых геополитических условиях Россия вынуждена полагаться преимущественно на собственные научные силы и производственную базу, чтобы обеспечить устойчивое экономическое развитие и не допустить технологическое отставание. Одним из факторов такого устойчивого развития является обеспечение технологического суверенитета страны в широком контексте, но прежде всего на основе развития критических и сквозных технологий. Предложены точечные научно-технические проекты, реализация которых возможна в соответствии с формирующимися сегодня институтами технологического развития. Наиболее целесообразным, по мнению авторов, на этапе мобилизационного развития научно-технологической сферы в условиях санкционного давления является формирование институтов технологического развития по двум направлениям: максимально возможного заимствования технологий у дружественных государств и формирования лидирующих направлений на базе отечественных фундаментальных и прикладных научных исследований. Это, по мнению авторов, придаст большую устойчивость российской экономике в долгосрочной перспективе и может обеспечить достижение реального технологического суверенитета.

**Ключевые слова:** критические технологии; экономические санкции; институты развития; прорывные точки роста; теория и практика управления

**Благодарность:** Исследование выполнялось при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2022-1136 от 01.07.2022).

# Critical technologies and prospects for Russia's development under economic and technological restrictions

Askar Akaev

Lomonosov Moscow State University, Russia, e-mail: askarakaev@mail.ru

Tessaleno Campos Devezas

Atlântica – Instituto Universitário, Barcarena, e-mail: tdevezas@gmail.com

Vadim Korablev

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia, e-mail: korablev@spbstu.ru

Askar Sarygulov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia, e-mail: dept.cfr@unecon.ru

**Citation:** Akaev A.A., Devezas T.C., Korablev V.V., Sarygulov A.I. (2024). Critical technologies and prospects for Russia's development under economic and technological restrictions. *Terra Economicus* 22(2), 6–21 (in Russian). DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-2-6-21

*The purpose of this article is to examine the reasons of Russia's lag in technology, and outline the ways to promote the transfer of research into practice in the field of economic and industrial management. We also try to draw possible scenarios for the technological development of the country. Given the current geopolitical situation, the issues of strong science base and production capabilities are of primary concern for Russia, in order to fill the gap in technology and enhance economic stability in the long run. The technological sovereignty of the country, with regard to critical technologies and end-to-end technologies, is one of crucial factors for economic resilience and sustainable development. Promoting specific science and technology projects is suggested, in line with emerging institutional framework for technological development. We argue that currently institutional support for technological development might be provided in two ways: (1) technology transfer from friendly countries, and (2) reliance on domestic basic and applied scientific research as a driver for technological advance. We suppose that such an approach would be favorable for making Russia's economy more sustainable and technologically sovereign in the long run.*

**Keywords:** critical technologies; economic sanctions; development institutions; breakthrough growth points; management theory and practice

**Acknowledgment:** The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement № 075-15-2022-1136 dated 01.07.2022).

**JEL codes:** O18, O33, Q20, Q42, Q55

## Введение

Современные экономические системы формируются под влиянием двух технологических трендов: широкой цифровизации промышленности и сферы услуг, а также поиска и получения новых источников энергии. И эти два тренда неразрывно связаны с освоением критически важных технологий.

Все разнообразие существующих сегодня промышленных технологий по степени распространенности и стратегической важности может быть разделено на две группы. К первой группе относятся технологии общего назначения (*general purpose technologies*), вторую группу образуют прорывные или критические технологии. И те и другие в одинаковой степени важны для осуществления экономической деятельности.

Первая группа технологий, если ее рассматривать в исторической ретроспективе, охватывает длительные исторические периоды и характеризует сам процесс эволюционного развития технологий. Технологии этой группы сочетают в себе три обязательные характеристики: широкое распространение, способность к постоянному улучшению и созданию новых инноваций, как продуктовых, так и процессных (Bresnahan and Trajtenberg, 1995). Основным экономическим предназначением этой группы технологий является то, что их использование помогает избежать наступления классического стационарного состояния, вызванного убывающей отдачей на капитал (Bekar et al., 2016). Технологии этой группы постоянно эволюционируют, и в XXI в. к ним уже отнесены искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО), технологии блокчейн и квантовые вычисления (Steen et al., 2022).

Вторая группа технологий представляет собой подмножество передовых технологий, потенциально важных для национальной безопасности. Как правило, это те технологии, которые связаны с перспективными научными исследованиями, развитием наиболее важных в технологическом отношении секторов экономики; они требуют существенных затрат высокоинтеллектуального труда. В России, в соответствии с Концепцией технологического развития РФ на период до 2030 г., под критическими технологиями понимаются «отраслевые технологии, критически необходимые для производства важнейших видов высокотехнологичной продукции и создания высокотехнологичных сервисов, имеющие системное значение для функционирования экономики, решения социально-экономических задач и обеспечения обороны страны и безопасности государства»<sup>1</sup>.

В специальной литературе синонимом является термин «макротехнологии», которых для России насчитывается порядка 12–16 с учетом ограниченности экономического потенциала России в рамках каждого комплекса технологий (Львов, 1999; Дементьев, 2023).

Важной системной характеристикой секторов экономики, где используются такие технологии, является уровень интенсивности НИОКР – отношение НИОКР к добавленной стоимости в отрасли. Например, в странах ОЭСР все отрасли разделены на пять групп: высокой, средне-высокой, средней, средне-низкой и низкой интенсивностью НИОКР. Первую группу образуют отрасли с показателями от 24 до 31%, вторую группу – с показателем от 5,7 до 18,9%, третью – от 1,9 до 3,6% (Galindo-Rueda and Verger, 2016). США являются крупнейшим в мире производителем продукции в отраслях с высокой интенсивностью НИОКР, на их долю приходится почти треть мирового производства. К этим отраслям относятся производство самолетов; фармацевтических препаратов; компьютерная, электронная и оптическая продукция; разработка компьютерного программного обеспечения и научно-исследовательские услуги. Китай и Европейский союз (ЕС) являются вторыми по величине производителями (по 20%). Китай – крупнейший в мире производитель в отраслях со средней интенсивностью НИОКР (26% мирового производства), за ним следуют ЕС и США (22-23%). К этим отраслям относятся услуги информационных технологий (ИТ), производство машин, транспортного оборудования и научных инструментов<sup>2</sup>. Практически все критически значимые технологии сосредоточены в перечисленных выше секторах экономики. Перечень критически важных технологий периодически пересматривается всеми странами. Согласно последним данным, в США к такой группе отнесены 19 видов технологий<sup>3</sup>, в Великобритании – 5<sup>4</sup>, в Австралии – 7<sup>5</sup>, в России – 36<sup>6</sup>. Одно из недавних исследова-

<sup>1</sup> Концепция технологического развития РФ на период до 2030 г. Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р, с. 4. <http://static.government.ru/media/files/KIJ6A00A1K5t8Aw93NfRG6P8O1bBp18F.pdf> (дата обращения: 10.05.2024)

<sup>2</sup> Hill, D. (2020). Production and trade of knowledge- and technology-intensive industries. <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20205/production-patterns-and-trends-of-knowledge-and-technology-intensive-industries> (accessed on June 9, 2023)

<sup>3</sup> NSTC (2022). Critical and Emerging Technologies List Update. A Report by the Fast Track Action Subcommittee on Critical and Emerging Technologies of the US National Science and Technology Council. February 2022. (<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/02/02-2022-Critical-and-Emerging-Technologies-List-Update.pdf>) (accessed on May 04, 2023).

<sup>4</sup> Use a robust and repeatable approach to identify the technologies that are most critical to the UK. <https://www.gov.uk/government/publications/uk-science-and-technology-framework/the-uk-science-and-technology-framework> (accessed on June 18, 2023)

<sup>5</sup> Critical technologies list updated with new clean energy priority. <https://www.energymagazine.com.au/critical-technologies-list-updated-with-new-clean-energy-priority> (accessed on June 20, 2023).

<sup>6</sup> Перечень критических технологий Российской Федерации. <http://www.kremlin.ru/supplement/988> (дата обращения: 27.05.2023)

ний, проведенных сотрудниками Австралийского института стратегической политики (*ASPI*), показывает мировое лидерство Китая в 37 из 44 критических технологий в области обороны, космоса, робототехники, энергетики, биотехнологии, искусственного интеллекта, передовых материалов и ключевых направлениях квантовых технологий. США занимают второе место по большинству из 44 технологий. Небольшую группу стран второго уровня возглавляют Индия и Великобритания. Австралия входит в первую пятерку по девяти технологиям, за ней следуют Италия (семь технологий), Иран (шесть), Япония (четыре) и Канада (четыре). Россия, Сингапур, Саудовская Аравия, Франция, Малайзия и Нидерланды входят в первую пятерку по одной-двум технологиям (Gaida et al., 2023). Наметившееся отставание США от Китая в сфере разработки критически важных технологий стало основанием для инициирования создания Национального Агентства передовой промышленности и технологий (*National Advanced Industry and Technology Agency*) с таким же бюджетом, как у Национального научного фонда (*National Science Foundation*), для управления политикой и программами, предназначенными для поддержки конкретных целевых отраслей и технологий (Atkinson, 2021).

### **Системные барьеры развития критических технологий в России**

Одним из ключевых вопросов для современной России является развитие и освоение критических технологий, особенно учитывая то скромное положение, которое занимает сегодня Россия в мировых технологических рейтингах.

В недавнем исследовании, проведенном сотрудниками Института проблем развития науки РАН, проанализированы основные показатели, характеризующие состояние научного потенциала и показателей, отражающих результативность научной деятельности по 43 странам мира, включая Россию и Китай. Обнаружено, что Россия по своему научному потенциалу сегодня наиболее близка к таким странам, как Австралия, Канада, Чешская Республика, Эстония, Греция, Венгрия, Италия, Латвия, Литва, Малайзия, Новая Зеландия, Польша, Португалия, Словакия, Словения и Испания (Заварухин и др., 2023).

За последние 15 лет в России было принято более 10 нормативных документов правительственного уровня с целью обеспечения нового качества научно-технологического развития страны. Как показала практика, принятие этих документов не решило вопроса обеспечения конкурентоспособности российской промышленности и насыщения потребительского рынка качественной отечественной продукцией. Так, например, создание системы институтов технологического и венчурного развития (Роснано, Сколково, «Национальная технологическая инициатива», «Российский венчурный капитал» и «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере») не придало ожидаемого импульса технологическому развитию. Это свидетельствует об упущениях системного и организационного характера на стыке прикладной науки, производства и рынка новой продукции. Проблема хронического отставания от Запада в развитии высоких технологий обусловлена двумя группами причин.

Первая группа причин имеет в основном внутренние корни. Среди них выделим основные: а) серьезные просчеты в научно-технологической политике и реформах в сфере науки; б) сворачивание научно-технологического потенциала; в) почти полная ликвидация прикладной науки; г) отрыв науки от реального сектора экономики (Ленчук, 2022). Другим системным фактором стал «разрыв» между уровнями научно-технологического комплекса страны, когда образовались «четыре разные науки», слабо связанные с друг другом: фундаментальная «академическая» наука; «проектная» (в основном прикладная) наука и технологии государственных научных центров и госкорпораций; наука большой группы среднетехнологичных компаний; исследования в новых технологических компаниях (Белоусов, Фролов, 2022). Среди других причин технологического отставания отдельные исследователи выделяют: а) сокращение затрат на внутренние исследования и разработки, которые за последние 30 лет сократились с 2% до 1% ВВП; б) снижение численности персонала, занятого исследованиями и разработками, в три раза (Мазиллов, Давыдова, 2020). Сокращению разрыва в уровне технологического развития не способствует и сложившаяся система высшего образования, которая в большей степени ориентирована на подготовку специалистов в рамках технологий 3-й промышленной революции (1950–2010 гг.), хотя быстро

развивающиеся технологии 4-й промышленной революции перманентно смещают спрос на труд в сторону специалистов высокой квалификации, в первую очередь специалистов и исследователей из STEM-областей (Акаев и др., 2020). Перечисленные выше причины были только усугублены постоянным оттоком капитала из страны. Так, с 2010 по 2020 г. из страны было выведено около 670 млрд долл., или ежегодно почти по 3% ВВП. Несмотря на аресты Западом частных и государственных активов (включая половину золотовалютных резервов в объеме 300 млрд долл.), отток капитала только рос и к 2022 г., по оценке Института ВЭБ, составил 230–240 млрд долл., или 11,5% ВВП. За новое десятилетие этот отток может достичь 1,5 трлн долл. Если бы арестованные 300 млрд долл. инвестировали в развитие российской экономики, это могло бы повысить среднесрочные темпы роста экономики на 0,2–0,4 п.п., или на 600 млрд руб. за десять лет. Такова цена потерь от избыточных государственных сбережений под флагом повышения финансовой устойчивости (Клепач, 2022).

Вторая группа причин обусловлена тем, что последние восемь лет экономика России развивалась в условиях экономических санкций, которые после февраля 2022 г. приобрели комплексный характер. Многие западные компании покинули российский рынок, практически свернутыми стали экономические и технологические связи. На сегодня общее число санкций превысило 10 000 и охватывает широкий круг экономических инструментов. Среди них 14 пакетов от ЕС, более 3,6 тыс. ограничительных мер от США, а также рестрикции Британии, Канады и Японии. Введены радикальные ограничения на экспорт в Россию чипов и компьютеров. Подробный анализ влияния санкций на российский экспорт содержится в работе (Ушкалова, 2022). Пределы экономической адаптации к санкциям проанализированы в исследовании (Сморозинская, Катуков, 2022). Влияние санкций на развитие фармацевтической промышленности России затронуто в работе (Доржиева, 2022), а возможные последствия санкций на процессы евразийской интеграции изложены в статье (Пылин, 2022). Особое место в пакете антироссийских санкций занимают ограничения в сфере высоких технологий. Так, западные эксперты не скрывают своих намерений по технологической изоляции России, с тем чтобы ограничить как доступ страны к информационно-коммуникационным технологиям (ИКТ), так и ее будущее развитие<sup>7</sup>. Составной частью политики ограничений является создание таких условий для технологических компаний, чтобы они боролись за то, что они могут получить, а не за то, что им нужно для развития. Таким образом, цель ограничения доступа к передовым технологиям, особенно из США и ЕС, – формирование политики импортозамещения на основе технологий вчерашнего дня<sup>8</sup>.

Если отвлечься от проблемы санкций, то технологическое развитие России вполне могло бы быть решено на основе «преимущества отсталости», успешно реализованного при проведении китайских экономических реформ (Lin, 2014). Политика заимствования технологий в Китае была частью политики открытости, что способствовало сокращению технического и технологического разрыва, росту конкурентоспособности китайских товаров и экспорта, созданию значительной прослойки технического и управленческого персонала. Все это позволило уже к 2003 г. довести объемы импортируемых высоких технологий до 120 млрд долл. в год (Song, 2004). За период с 2015 по 2022 г. удельный вес инновационных отраслей в общей добавленной стоимости промышленности Китая увеличился с 30,1 до 34,3% (Антропова, 2023). Став крупнейшим мировым производителем и экспортером продукции обрабатывающей промышленности, Китай достиг своего рода паритета с США, и движущей силой его успеха является как внутренний потребительский спрос в целом, так и внутренний спрос на инновации<sup>9</sup>. Именно с учетом такого положительного опыта китайских реформ в работе (Акаев и др., 2013) были предложены достаточно точные модели для расчета динамики технического прогресса, включая усовершенствованные на основе простейших НИОКР-моделей. В развитие этого подхода в работе (Акаев, 2015) были формализованы модели заимствования технологий на основе двух типов производственных функций:

<sup>7</sup> Epifanova, A. (2023). Tech sanctions against Russia. Turning the West's assumptions in to lessons. *DGAP Analysis*, № 3, June.

<sup>8</sup> Prokopenko, A. (2023). Coping with technology sanctions in the Russian financial sector. *DGAP Policy Brief*, № 12, May.

<sup>9</sup> Dychtwald, Z. China's New Innovation Advantage. *Harvard Business Review*, May–June, 2021. <https://hbr.org/2021/05/chinas-new-innovation-advantage> (accessed on May 5, 2024)

$$Y_1 = A_1 L_1^{1-\alpha} \sum_{j=1}^{M_1} X_{1j}^\alpha, \quad (1)$$

$$Y_2 = A_2 L_2^{1-\alpha} \sum_{j=1}^{M_2} X_{2j}^\alpha, \quad (2)$$

где  $L$  – объем труда;  $X_j$  – количество промежуточного продукта  $j$ -го типа;  $M$  – количество видов (типов) промежуточных продуктов;  $\alpha$  – эластичность выпуска по промежуточному товару ( $0 < \alpha < 1$ );  $A$  – общий показатель производительности или эффективности производства ( $A = \text{const}$ ). Причем  $M_2(T_0) < M_1(T_0)$ ,  $T_0$  – начальный момент времени. Страна 1 является развитой страной с передовыми технологиями в экономике, а страна 2 – развивающейся, которая заимствует передовые технологии, разработанные в стране 1, и использует их в своей экономике.

Китайский опыт показал, что заимствование и последующее эффективное использование передовых знаний и технологий обходится гораздо дешевле, чем создание инновационных знаний, технологий и продуктов. Другой важный вывод, вытекающий из опыта китайских реформ, заключается в том, что ускоренный экономический рост возможен при создании подходящих институциональных условий, когда государство может в какой-то мере заменить собой рынок частных капиталов, используя монопольно полученную прибыль для финансирования инвестиций, а банковская система способна кредитовать предпринимателей, занятых реальным производством. В нынешних геополитических реалиях этот сценарий технологического развития может быть реализован только по отношению к технологиям из дружественных стран.

### Инструменты развития критических технологий в России

Одним из возможных сценариев технологического развития России можно рассматривать траектории «догоняющего развития», базирующиеся на исторической практике стран, достигших значительных технологических успехов, как, например, Англия и США в XIX в. или Япония, Южная Корея и Тайвань в XX в. (Chang, 2002). Применительно к российской практике концептуальные положения такого сценария изложены в работах (Полтерович, 2007; 2016). Ключевыми пунктами в этих положениях являются:

- формирование институтов догоняющего развития с целью обеспечения экономического роста в условиях культурных, институциональных и технологических ограничений, характерных для развивающихся стран;
- создание корпоративизма как системы принятия политических и экономических решений, основанной на взаимодействии государства с организациями, представляющими группы интересов (прежде всего, работников и работодателей);
- создание системы национального планирования (индикативного и программного) и федерального агентства развития с целью предотвращения возможных провалов рынка и непредсказуемости поведения государства и партнеров, когда в качестве «единицы планирования» рассматривается не фирма, а крупный проект;
- формирование современного сектора науки и совершенствование человеческого капитала;
- сочетание частно-государственного партнерства и проектного финансирования;
- проведение политики низкого экономического неравенства;
- формирование национальной инновационной системы как инструмента эффективного заимствования технологий и инноваций.

Перечисленные выше положения сценария «догоняющего развития» в значительной степени нашли отражение в Концепции технологического развития РФ на период до 2030 г. Основным механизмом обеспечения технологического развития, согласно Концепции, является «реализация крупнейших проектов (мегапроектов) по производству линеек нового сложного оборудования, мобильной техники и лекарственных средств в таких отраслях, как авиа- и судостроение, электронная и радиоэлектронная промышленность, двигателестроение, железнодорожное и транспортное машиностроение, станкостроение, тяжелое машиностроение, фармацевтическая и медицинская промышленность и др.»<sup>10</sup>. Такие мегапроекты будут реализовываться на основе

<sup>10</sup> Концепция технологического развития РФ на период до 2030 г., ук. соч.

создания объединений, включающих образовательную, исследовательскую, опытно-конструкторскую и производственную компоненты, с вовлечением технологических стартапов. В Концепции определены четыре группы инструментов:

- 1) формирование всех форм заказа государства на исследования и разработки (за исключением фундаментальных исследований) на основе сквозных технологических приоритетов;
- 2) изменение общих подходов к развитию стимулирующих механизмов;
- 3) создание новых рынков для продвижения принципиально новых видов высокотехнологичной продукции, произведенных на основе сквозных технологий, и адаптации бизнес-моделей посредством запуска серии стартапов;
- 4) преодоление технологических барьеров, препятствующих развитию новых рынков, создаваемых при применении сквозных технологий, на основе запуска и развития системы открытых технологических конкурсов, в том числе в рамках Национальной технологической инициативы.

В соответствии с Концепцией, основными функциями государства при обеспечении технологического развития являются: стратегическое планирование и целеполагание, управление перечнями критических и сквозных технологий; финансовая поддержка частных инновационных проектов, в том числе институтами развития и государственными корпорациями и компаниями с государственным участием; государственный заказ на фундаментальные и прикладные исследования и разработки, приоритетные технологические решения; принятие рисков и части затрат при реализации отдельных долгосрочных некупаемых инновационных проектов; поддержка развития малых технологических компаний. Здесь особо надо отметить, что в целях обеспечения нового качества технологического развития государство готово взять на себя риски и часть расходов по отдельным некупаемым инновационным проектам.

Есть определенные надежды, что намеченные в Концепции институциональные и организационные механизмы придадут новый импульс технологическому развитию России, особенно учитывая, что утвержденная в феврале 2024 г. «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации» ставит целью «увеличение общих затрат на научные исследования и разработки до уровня не менее 2% ВВП, включая пропорциональный рост частных инвестиций, уровень которых к 2035 г. должен быть не ниже государственных»<sup>11</sup>.

### **От Концепции технологического развития – к конкретным отраслевым проектам**

Ранее уже было отмечено, что Концепция технологического развития базируется на создании отечественных линеек производства нового сложного оборудования и мобильной техники, особенно в таких отраслях, как авиа- и судостроение, железнодорожное и транспортное машиностроение.

Необходимость реализации таких проектов, особенно в области энергетического и транспортного машиностроения, продиктована рядом особенностей, характерных для России. Прежде всего, это географический фактор. Наличие большой территории обуславливает необходимость формирования системы транспортной мобильности как важного элемента экономической безопасности страны. Второй фактор связан с необходимостью поддержки тех видов транспорта, которые ранее не развивались российскими компаниями, но которые крайне важны для обеспечения новых экспортных маршрутов, особенно углеводородного сырья. Третий фактор, чисто технологический, связан с необходимостью параллельного развития новых технологий как важных составных частей моделей транспортной мобильности. Поскольку будущее технологическое развитие России будет происходить без трансфера западных технологий, то важной практической задачей становится формирование таких моделей транспортной мобильности, которые одновременно направлены и на развитие критически важных технологий. Четвертый фактор связан с необходимостью соблюдения баланса между развитием энергетики и обеспечением энергетического перехода. Существенный прогресс достигнут в производстве электромобилей (особенно аккумуляторов) и создании инфраструктуры зарядных станций. Создание эффективных топливных элементов для использования водорода в качестве источника электроэнергии позволило создать первые в мире пассажирские маршруты полностью водородных по-

<sup>11</sup> Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145, ст. 55. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003> (дата обращения: 12 мая 2024 г.)

ездов. Нельзя сказать, что Россия пренебрегла развитием возобновляемых источников энергии, но, обладая большими запасами углеводородного сырья, не испытывала острой необходимости в диверсификации энергетических источников. Следствием этого явилось накопившее отставание от западных стран, и сегодня Россия значительно уступает им по ряду системных параметров энергетического перехода (табл.).

**Таблица**

**Отдельные показатели системных изменений к новому энергетическому переходу**

Показатели	США	Китай	ФРГ	Франция	Япония	Россия
Доля умных счетчиков, %	57	99 (2018)	15	22,2 (2018)	67 (2018)	10 (2018)
Удельный вес электромобилей в общем автопарке машин, %	1,9 (2019)	0,94 (2018)	2,96	2,7	1,0 (2019)	0,014 (2020)
Число заправочных станций с возможностью зарядки электромобилей	26 000 (2019)	808 000 (2019)	27 459 (2019)	24 950 (2019)	7 900 (2019)	1612 (2019)
Доля в мировой установленной мощности генерации энергии:						
- ветровой;	16,1	39,9	7,7	2,3	0,5	0,2
- солнечной, % (2021)	11,1	36,3	6,9	1,7	8,8	0,2

*Источник:* составлено авторами по данным BP Statistical Review of World Energy, 2022. [www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html](http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html) (accessed on July 29, 2023); Turovets et.al., 2021

Учитывая те новые институциональные и организационные механизмы, которые заложены в Концепции технологического развития РФ, мы берем на себя смелость предложить три проекта национального уровня, которые могут сыграть роль прорывных точек роста. Как нам видится, среди таких прорывных направлений обязательно должны присутствовать производство электромобилей, производство крупнотоннажных судов для экспорта сжиженного природного газа (СПГ), производство промышленных электролизеров водорода и эффективных топливных элементов на их основе.

### Производство электромобилей

Автомобильная промышленность как советского, так и российского периода была ахиллесовой пятой экономики. Попытки создания российского автопрома частично на обломках советских заводов, частично за счет попытки встраивания в мировую цепочку автопроизводителей при помощи иностранных компаний дали первоначальный позитивный импульс развитию отрасли. Однако уход с российского рынка в 2022 г. японских, французских и немецких компаний привел к резкому обвалу, практически отбросив по показателям объема и отрасли, и рынок к началу 2000-х гг.

Сегодня мировой автопром, как и ИТ-индустрия, являет собой пример сочетания высоких технологий и глубокой кооперации со сложными цепями поставок. Мировая автомобильная промышленность тратит около 100 млрд долл. ежегодно на НИОКР, это на уровне около 3% от общего объема выпуска; четверть расходов на НИОКР среди 20 крупнейших корпораций мира приходится на автомобильные компании, а доля инженеров, техников и исследователей в отрасли составляет более 10% от общей численности занятых<sup>12</sup>. Качественно новым трендом в мировом автомобилестроении в XXI в. стал переход на выпуск электромобилей, и уже в 2020 г. на их разработку и производство было направлено порядка 140 млрд долл. (Мастепанов, 2021). Рынок и производство электромобилей становится самым динамично развивающимся сегментом. Про-

<sup>12</sup> Hill, K. et al. (2014). Just how high-tech is the automotive industry. *Center for Automotive Research*. <https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/02/Just-How-High-Tech-is-the-Automotive-Industry.pdf> (accessed on May 19, 2023)



даже электромобилей (EV) удвоились в 2021 г. по сравнению с предыдущим годом и достигли 6,6 млн, составив 10% мировых продаж автомобилей, в результате чего общее количество электромобилей на дорогах мира достигло примерно 16,5 млн.<sup>13</sup> Заявленные показатели объемов ежегодных продаж ведущих автоконцернов мира к 2030 г. являются значимыми: *Toyota* – на уровне 3,5 млн шт.; *Volkswagen* – 70% продаж в Европе и 50% продаж в Китае и США; *Ford* – к 2030 г. в Европе будет продавать только электромобили, а в общем объеме продаж их доля составит 50%; *General Motors* – к 2025 г. создаст производственные мощности по производству 1 млн электромобилей в год<sup>14</sup>. Высокая динамика развития данного сегмента обусловлена несколькими факторами, но сильная политическая поддержка является основной. Государственные расходы на субсидии и стимулы для электромобилей удвоились в 2021 г. и достигли почти 30 млрд долл. США. Основной рост продаж был связан с Китаем (3,3 млн электромобилей), продажи в Европе выросли на 65% (2,3 млн электромобилей), в США было продано 640 тыс. электромобилей<sup>15</sup>. Все это свидетельствует о том, что в мировом автопроме сформировался новый устойчивый тренд, не только продуктовый, но и технологический.

В России к концу 2022 г. было зарегистрировано 50,6 млн легковых машин, из которых на автомобили старше 10 лет приходилось 50,9% от их общей численности, 5–10 лет – 21,6% и до 5 лет – 27,5%, и при этом 96,6% всего парка автомобилей могли использовать только бензин и дизельное топливо, что вполне понятно, если учесть, что общая численность электромобилей составляла 23,7 тыс. штук, а гибридов — 138,5 тыс. ед.<sup>16</sup> В августе 2021 г. Правительство РФ утвердило «Концепцию по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года», которая будет реализована в два этапа: с 2021 по 2024 г. и с 2025 по 2030 г.<sup>17</sup> К концу первого этапа планируется выпустить не менее 25 000 электромобилей и запустить в работу 9400 зарядных станций по всей стране. К 2030 г. каждый десятый выпускаемый автомобиль должен быть электрическим (годовой объем выпуска 220 тыс. единиц), а число электрозаправок вырасти до 72 000. В России до 2030 г. планируется запустить производство ячеек для аккумуляторных батарей и построить 1000 водородных заправок для техники на этом виде топлива. Уход с российского рынка западных автопроизводителей не привел к ее пересмотру. Обвал, произошедший на российском рынке в 2022 г., в определенной степени стимулировал процессы организации производства электромобилей. Эти процессы пока носят стихийный и неустойчивый характер. Как показал обзор информации на деловом портале *TAdviser.ru*, в настоящее время о своих намерениях в проектировании и организации производства электромобилей в России заявили около 10 компаний и исследовательских учреждений. Очевидно, большинство из этих проектов не будут реализованы по причине отсутствия финансовых средств. Для сравнения, стоимость завода *Gigafactory 4* Тесла в Германии, мощностью 500 тыс. электромобилей и 50 ГВт·ч аккумуляторов в год, составила 5 млрд евро<sup>18</sup>. Из всех перечисленных выше проектов с высокой долей вероятности может быть реализован один. В 2025 г. должен появиться серийный электромобиль «Атом» с отечественным высокотехнологичным программным обеспечением, созданным в России с нуля, литий-ионные батареи для которой будет производить дочерняя компания «Росатома» «Рэнера». Предполагается, что ежегодно будет производиться порядка 75 000 электромобилей всех модификаций<sup>19</sup>. Этот проект рассматривается как первый российский стартап по производству электромобилей.

<sup>13</sup> Securing supplies for an electric future. Global EV Outlook 2022. IEA. (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf> (accessed on April 29, 2023))

<sup>14</sup> Electric vehicles. IEA Report. <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles> (accessed on July 29, 2023)

<sup>15</sup> Securing supplies for an electric future. Global EV Outlook 2022. IEA. (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf> (accessed on April 29, 2023))

<sup>16</sup> Симптомы легкой депрессии. <https://www.kommersant.ru/doc/5842351> (дата обращения: 04.04.2023)

<sup>17</sup> Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ № 2290-р от 23 августа 2021 г. <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=430278&dst=100012#DgcRAiTt6HeQ14P2> (дата обращения 29.06.2023)

<sup>18</sup> Tesla запустила новый завод в Германии. <https://autoreview.ru/news/tesla-zapustila-novyy-zavod-v-germanii> (дата обращения: 29.04.2023)

<sup>19</sup> Российский электромобиль Atom предстал на подробных фотографиях. <https://3dnews.ru/1086600/rossiyskiy-elektromobil-atom-predstal-na-podrobnih-fotografyah> (дата обращения: 15.04.2023)

Нам представляется, что годовое производство электромобилей на уровне 75 тыс. единиц это очень далеко от того, что может изменить технологические тренды в развитии отрасли. По существу, сейчас сложилась такая ситуация, когда государство привлекает крупные технологические корпорации («Росатом», «Алмаз-Антей») для развития непрофильного бизнеса. Новые игроки, такие как компании «Моторинвест», «Электромобили Мануфэкчуринг Рус», «Тигарбо Эко» и другие, имеют минимальный опыт в вопросах организации всей цепочки производственного процесса электромобилей. Создается впечатление, что формируется политика избирательной государственной поддержки новой отрасли через госкорпорации в надежде, что рынок сам определит победителей конкурентной борьбы. Такой подход представляется ошибочным, учитывая, прежде всего, неразвитость самих рыночных институтов и использование принципов «ручного управления» в решении многих хозяйственных вопросов. К тому же такой подход не способствует обеспечению технологического рывка и создания нового конкурентоспособного сегмента промышленности. Как показывает опыт Китая, такие тренды можно считать состоявшимися, когда объемы продаж электромобилей приближаются к четверти от общего объема рынка<sup>20</sup>. Применительно к российскому рынку уровня 2021 г., когда было продано около 1,7 млн автомобилей, эта цифра должна составить порядка 450–500 тыс. электромобилей в год<sup>21</sup>. Надо учитывать также тот немаловажный фактор, что электромобили имеют около 15 000 деталей, что в два раза меньше, чем в автомобилях с двигателем внутреннего сгорания<sup>22</sup>.

Исходя из вышеизложенного, создание новой конкурентоспособной отрасли производства электромобилей, учитывающей требования низкоуглеродной экономики в тех конкретно исторических, экономических и технологических условиях, которые сложились в современной России, невозможно без государственного участия в форме инвестиционной поддержки по приобретению всей цепочки технологического оборудования по трем ключевым направлениям: а) производство тяговых аккумуляторов для электротранспортных средств; б) производство электродвигателей; в) производство кузовов и сборочных линий. Обязательным условием является наличие иностранного партнера и пятилетний срок для 100% локализации всех узлов и деталей. Важной составляющей будет также создание российской экосистемы поддержки проекта на основе пула местных производителей, способных не только к тиражированию и созданию новых производств, но и обладающих научно-техническим потенциалом для решения таких важных задач, как утилизация литий-ионных аккумуляторов и создание разветвленной инфраструктуры зарядных станций. Как показал мировой опыт, участие государства в форме экономических стимулов и мер поддержки НИОКР, производства и потребительского спроса придаст большую устойчивость рынку.

### **Производство крупнотоннажных судов для транспортировки СПГ**

Вторым стратегически важным элементом современной системы транспортной мобильности страны должно стать производство крупнотоннажных судов для транспортировки СПГ с целью освоения новых экспортных маршрутов.

Будучи одним из крупнейших мировых производителей природного газа, Россия основное внимание уделяла экспорту через магистральные трубопроводы. В новых геополитических реалиях Россия вынуждена существенно трансформировать экспортные энергетические потоки с Запада на Восток и Юг. Потенциально энергоемкие рынки Китая, Пакистана, Бангладеш и Индии (общая численность населения составляет около 3,15 млрд чел.) нуждаются в устойчивых поставках энергоресурсов. Российские нефть и газ могут поставляться преимущественно только морем. Анонсированные Китаем объемы закупок природного газа из России (100 млн т СПГ и 96 млрд куб. м природного газа в год) сравнимы с объемом экспорта российского газа в Европу до февраля 2022 г.

<sup>20</sup> Passenger EV sales in China to rise 35% by 2023: UBS. <https://technode.com/2023/01/12/passenger-ev-sales-in-china-to-rise-35-by-2023-ubs/> (accessed on June 10, 2023)

<sup>21</sup> Year 2021 ends with 4,3% car sales market increase. <https://aebus.ru/upload/iblock/674/ENG-Car-Sales-in-December-2021.pdf> (accessed on June 20, 2023)

<sup>22</sup> Do electric cars have fewer parts? (Direct comparison). <https://motorandwheels.com/electric-cars-have-fewer-parts/> (accessed on June 5, 2023)

Начиная с 2010 г. российские компании стали уделять большее внимание развитию сегмента СПГ, что отразилось как в создании необходимых технологических мощностей по его производству, так и в приобретении соответствующих крупнотоннажных морских судов для транспортировки. Основными производителями такого класса морских судов являются компании Южной Кореи, Японии и Китая. В России основным эксплуатантом судов для перевозки сжиженного природного газа является ПАО «Совкомфлот». В период с 2007 по 2015 г. компания создала флот танкеров-газовозов СПГ с ледовым классом в количестве восемь единиц (Костылев, Евдокимов, 2016). Отечественное судостроение не строило суда такого класса, но в последние годы ситуация стала меняться. Первые контракты на строительство 15 арктических судов-газовозов ледового класса *Arc7*, предназначенных для вывоза груза с завода «Арктик СПГ-2», были заключены ССК «Звезда» и компаниями группы ВЭБ в декабре 2019 г. – июле 2020 г. Всего для проектов «Новатэка» до 2030 г. на ССК «Звезда» будет построено 35–37 танкеров, включая 15–17 судов для Арктик СПГ-1, следующего СПГ-проекта компании, и пять судов для Обского СПГ<sup>23</sup>. Поскольку все существующие в мире проекты СПГ-газовозов являются иностранными, то корпорация «Росатом» приступила к работам по проекту 10070М – созданию крупнотоннажного танкера-газовоза для круглогодичной перевозки сжиженного газа по Севморпути, в котором будет применяться разработанное в России комплектующее оборудование<sup>24</sup>. Несмотря на такие позитивные изменения в сегменте проектирования и производства, флот газозовов в количестве 40–45 единиц представляется явно недостаточным для обеспечения перевозки 100 млн т СПГ. Мировой рынок СПГ в 2021 г. составил 372,3 млн т, перевозку которых обеспечивал 591 танкер-газовоз<sup>25</sup>.

Учитывая вышеизложенное, создание собственного газозовного флота в объеме 100–120 судов становится стратегически важной задачей, направленной на рост экспорта и обеспечение высокой транспортной мобильности в сегменте грузовых перевозок. Особая важность этой задачи связана и с теми уникальными логистическими возможностями, которые открывает Северный морской путь как новый транспортный маршрут. Решение этой задачи потребует не только мобилизации интеллектуального потенциала в области отечественного судостроения, расширения производственных мощностей АО ОСК, но и максимального использования научно-технического потенциала госкорпорации «Росатом». Основными составляющими такой модели развития должны стать: а) проектирование и производство крупнотоннажных судов на отечественных верфях; б) создание технологий и организация производства криогенных аппаратов большой емкости. Государство должно также предусмотреть создание системы экономических стимулов и мер поддержки НИОКР и производства.

### Локомотивы на основе водородных топливных элементов

В августе 2022 г. французская компания *Alstom* сделала официальное заявление о создании первого в мире поезда на водородной тяге *Coradia iLint*. Поезд проехал без дозаправки 1175 км, максимальная скорость составила 140 км/час. В настоящее время имеется заказ на 41 такой поезд от европейских клиентов. Первые поезда в количестве 14 единиц используются на единственном в мире пассажирском маршруте 100% водородных поездов в г. Бремерверде (Германия)<sup>26</sup>. Американская *Wabtec*, канадская *Canadian Pacific* и японская *East Japan Railway* также ведут работы по созданию аналогичного поезда. Это означает, что начался новый этап в развитии низкоуглеродного транспорта уже в сегменте железных дорог.

Этот качественно новый этап в обеспечении транспортной мобильности был бы невозможен без новых технологий электролиза возобновляемого водорода. *Siemens Energy* и *Air Liquide*, две ведущие мировые компании в этой области, объявили о начале промышленного производства во второй половине 2023 г. электролизеров возобновляемого водорода с целью создания устой-

<sup>23</sup> На ССК Звезда заложили ледокольный танкер-газовоз для Арктик СПГ-2. <https://neftegaz.ru/news/Suda-i-sudostroenie/714810-3-iz-15-na-ssk-zvezda-zalozhili-ledokolnyy-tanker-gazovoz-dlya-arktiki-spg-2/> (дата обращения: 11.05.2023)

<sup>24</sup> В «Росатоме» разрабатывают танкер-газовоз для круглогодичной работы на Севморпути. 5 февраля 2023. <https://tass.ru/ekonomika/17052177> (дата обращения: 12.06.2023)

<sup>25</sup> World LNG Report 2022. *International Gas Union*. <https://www.igu.org/resources/world-lng-report-2022/> (accessed on July 29, 2023)

<sup>26</sup> World premiere: 14 Coradia iLint to start passenger service on first 100% hydrogen operated route <https://www.alstom.com/press-releases-news/2022/8/world-premiere-14-coradia-ilint-start-passenger-service-first-100/> (accessed on May 20, 2023)

чивой водородной экономики в Европе и экосистемы для электролиза и водородных технологий. Ожидается, что к 2025 г. его годовая производственная мощность составит три гигаватта<sup>27</sup>. Параллельно шведская компания *Liquid Wind AB* и датская *Ørsted* приступили к строительству крупнейшего завода в Европе по производству э-метанола *FlagshipONE*. В основе завода лежит технологический пакет от *Siemens Energy*, состоящий из четырех электролизеров с протонообменной мембраной (*PEM*) общей мощностью 70 мегаватт<sup>28</sup>.

На сегодняшний день мировое производство водорода составляет около 85 млн т, из которых 48% производится из газа, 30% – из нефти, 18% – из угля и 4% – на основе электролиза воды<sup>29</sup>. Основной технологией, традиционно используемой для получения голубого водорода, является паровой риформинг метана (*SMR*), который использует пар для отделения водорода от природного газа. Автотермический риформинг (*ATR*) – это коммерческая технология, обычно используемая в производстве аммиака и метанола. В настоящее время *ATR* предлагается в качестве предпочтительной технологии для производства чистого водорода из природного газа (Литвиненко и др., 2020). Наиболее распространенными в настоящее время являются электролизеры на основе полимерно-электролитных мембран (ПЭМ), но потенциал технологии больших масштабов имеет электролиз твердых оксидов (*SOE*) – высокотемпературный электролиз (~ 500 градусов по Цельсию). Мощности используемых электролизеров быстро растут от мегаваттных (МВт) до гигаваттных (ГВт). Наиболее эффективно водород может использоваться в топливных элементах, в которых выработка энергии осуществляется в результате протекания химической реакции взаимодействия водорода с кислородом с образованием воды (Мошников, Теруков, 2011).

Правительство РФ в августе 2021 г. утвердило «Концепцию развития водородной энергетики в Российской Федерации», где в качестве приоритетного направления на горизонте до 2035 г. рассматривается производство низкоуглеродного водорода из ископаемого сырья<sup>30</sup>. Имеющийся научный задел и производственный потенциал отечественных технологий по получению водорода представлен в работе (Акаев и др., 2022). Имеющаяся на сегодняшний день научно-техническая база в области разработок методов получения новых металлических, керамических и композиционных материалов, проектирования технологического оборудования подробно изложена в материалах Международной научной конференции «Современные материалы, передовые производственные технологии и оборудование для них» (СМППТО, 2023). Критическим моментом на настоящий момент является отставание по ключевым компонентам: катализаторам, мембранам, биполярным пластинам, газодиффузионным слоям, герметикам (Тарасенко, Попель, 2020). Несмотря на отсутствие хороших научных заделов по отдельным направлениям, при адресной государственной поддержке вполне можно ожидать технологических прорывов, особенно в части создания современных промышленных электролизеров и эффективных топливных элементов, ключевых составляющих в получении новых источников энергии для всех видов электротранспорта.

По данным ОАО «РЖД», в январе 2021 г. плановые показатели по эксплуатации парка магистральных грузовых электровозов составили 5163 тяговые единицы в сутки, а магистральных грузовых тепловозов – 1305<sup>31</sup>. При этом износ локомотивного парка оценивается экспертами на уровне 62%<sup>32</sup>. С учетом таких показателей износа следует ожидать, что в течение следую-

<sup>27</sup> Siemens Energy and Air Liquide form a joint venture for the European production of large scale renewable hydrogen electrolyzers. <https://press.siemens-energy.com/global/en/pressrelease/siemens-energy-and-air-liquide-form-joint-venture-european-production-large-scale> (accessed on May 15, 2023)

<sup>28</sup> Large-scale commercial production of green fuels. <https://www.powerengineeringint.com/hydrogen/large-scale-commercial-production-of-green-fuels/> (accessed on May 5, 2023)

<sup>29</sup> IOGP (2018). Hydrogen from natural gas. Fact sheet. <https://www.iogp.org/wp-content/uploads/2019/01/Hydrogen-Factsheet.pdf> (accessed on May 29, 2023)

<sup>30</sup> Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2162-р от 5 августа 2021 г. <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsex1.pdf> (дата обращения: 09.06.2023)

<sup>31</sup> Новости ЖД транспорта. <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/v-yanvare-2021-goda-obshchiy-park-magistralnykh-gruzovykh-lokomotivov-rzhd-vyros-na-1-v-godovoy-dina/> (дата обращения: 18.05.2023)

<sup>32</sup> Тяжеловозам станет легче. <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/tyazhelovozam-stanet-legche/> (дата обращения: 15.03.2023)

ших 15 лет будет обновлена почти половина локомотивного парка, особенно тепловозов. Одной из новых продуктовых ниш в процессе такой замены могли бы и стать локомотивы на водородных топливных элементах. Надо отметить, что в «Научно-исследовательском и конструкторско-технологическом институте подвижного состава», дочерней структуре ОАО «РЖД», уже ведутся работы по проектированию маневрового водородного локомотива<sup>33</sup>. Такие локомотивы могли бы широко использоваться, например, в Крыму, что сэкономило бы государству 57 млрд руб., которые планируется направить на проекты по электрификации железной дороги Тамани и Крымского полуострова<sup>34</sup>. Таким образом, транспортная мобильность в этом сегменте перевозок может быть обеспечена в том случае, если параллельно будут решаться три задачи: а) разрабатываться материалы и технологии для производства промышленных электролизеров и эффективных топливных элементов; б) создаваться промышленные образцы новых локомотивов на водородной тяге; в) приняты экономические стимулы и меры государственной поддержки НИОКР и производства.

### Заключение

Технологическое развитие становится одним из решающих условий сохранения экономического и политического суверенитета государств. Реальностью становится новый передел мировых энергетических рынков, а технологическая гонка за новые возобновляемые источники энергии вошла в активную фазу. В этой связи устойчивость российской экономики будет в значительной степени предопределяться не только ее конкурентоспособностью в сегменте традиционных, углеводородных источников энергии, но и темпами промышленного освоения критических технологий. Поскольку Россия вступила в этап мобилизационного развития научно-технологической сферы в условиях санкционного давления, формирование институтов технологического развития должно идти по двум направлениям: максимально возможного заимствования технологий у дружественных государств и формирования лидирующих направлений на базе отечественных фундаментальных и прикладных научных исследований. Только сочетание этих двух подходов позволит в полной мере решить задачи, поставленные в «Концепции технологического развития РФ» и «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». Потребуется определенное время и напряженная работа, чтобы развеять иллюзии относительно невозможности достижения современной Россией технологического суверенитета в широком спектре.

### Литература / References

- Акаев А.А., Садовничий В.А., Ануфриев И.Е. (2013). Усовершенствованная НИОКР-модель для прогнозных расчетов совокупной производительности факторов экономического роста. В кн.: Коротаев А., Малков С., Акаев А. (ред.) *Мировая динамика: закономерности, тенденции, перспективы*. М.: ЛИБРОКОМ, с. 15–50. [Akaev, A., Sadovnichy, V., Anufriev, I. (2013). An improved R&D model for forecast calculations of the total productivity factors of economic growth. In: Korotayev, A., Malkov, S., Akaev, A. (eds.) *World Dynamics: Patterns, Trends, Prospects*. Moscow: LIBROKOM Publ., pp. 15–50 (in Russian)].
- Акаев А.А. (2015). Модели инновационного эндогенного экономического роста AN-типа и их обоснование. *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)* 6(2), 70–79. [Akaev, A. (2015). AN-type models of innovative endogenous economic growth and their rationale. *M.I.R. (Modernization. Innovation. Development)* 6(2), 70–79 (in Russian)].
- Акаев А.А., Десятко Д.Н., Петряков А.А., Сарыгулов А.И. (2020). Региональное развитие и система образования в условиях цифровой трансформации. *Экономика региона* 16(4), 1019–1033. [Akaev, A., Desyatko, D., Petryakov, A., Sarygulov, A. (2020). Regional development and

<sup>33</sup> Альтернативное топливо на железнодорожном транспорте. <https://www.eprussia.ru/video/electroenergy/4521077.htm> (дата обращения: 14.05.2023)

<sup>34</sup> СМИ узнали о стоимости электрификации железных дорог Крыма в 57 млрд руб. *РБК*, 1 августа 2017. <https://www.rbc.ru/rbcfre/news/597fb5799a7947dbbd270afe> (дата обращения: 14.06.2023)

- the education system in the context of digital transformation. *Ekonomika regiona [Economy of Region]* **16**(4), 1031–1045 (in Russian)].
- Акаев А.А., Рудской А.И., Кораблёв В.В., Сарыгулов А.И. (2022). Технологические и экономические барьеры роста водородной энергетики. *Вестник РАН* **92**(12), 1133–1144. [Akaev, A., Rudskoi, A., Korablev, V., Sarygulov, A. (2022). Technological and Economic Barriers to Hydrogen Energy Growth. *Herald of the Russian Academy of Sciences* **92**(6), 691–701 (in Russian)].
- Антропова О.А. (2023). Статистика инноваций как инструмент измерения трансформации современной экономики (на примере Китая). *Вопросы статистики* **30**(5), 67–82. [Antropova, O. (2023). Innovation statistics as a tool for measuring transformation of modern economy (The case of China). *Voprosy Statistiki* **30**(5), 67–82 (in Russian)].
- Белоусов Д.Р., Фролов И.Э. (ред.) (2022). *О долгосрочном научно-технологическом развитии России*. Научный доклад ИНИП РАН. М.: Динамик принт, 168 с. [Belousov, D., Frolov, I. (eds.) (2022). *On the long-term scientific and technological development of Russia*. Scientific report of the IEF RAS. Moscow: Dynamic print, 168 p. (in Russian)].
- Дементьев В.Е. (2023). Технологический суверенитет и приоритеты локализации производства. *Terra Economicus* **21**(1), 6–18. [Dementiev, V. (2023). Technological sovereignty and priorities of localization of production. *Terra Economicus* **21**(1), 6–18 (in Russian)]. DOI: 10.18522/2073-6606-2023-21-1-6-18
- Доржиева В.В. (2022). Государственная политика импортозамещения как фактор развития фармацевтической промышленности России: влияние санкций и шаги к успеху. *Вестник Института экономики РАН* (6), 68–78. [Dorzhiyeva, V. (2022). State policy of import substitution as a factor in the development of the pharmaceutical industry in Russia: the impact of sanctions and steps to success. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences* (6), 68–78 (in Russian)].
- Заварухин В.П., Чинаева Т.И., Чурилова Э.Ю. (2023). Сравнительный межстрановой анализ уровня развития научной и инновационной деятельности. *Статистика и экономика* **20**(3), 67–84. [Zavarukhin, V., Chinaeva, T., Churilova, E. (2023). Comparative cross-country analysis of the development level of scientific and innovative activity. *Statistics and Economics* **20**(3), 67–84 (in Russian)]. DOI: 10.21686/2500-3925-2023-3-67-84
- Клепач А.Н. (2022). *Макроэкономика в условиях гибридной войны*. Доклад на МАЭФ 26 мая 2021 г. [Klepach, N. (2022). *Macroeconomics in the content of a hybrid war*. Report for the Moscow Academic Economic Forum, May 16, 2022 (in Russian)]. DOI: 10.38197/2072-2060-2022-235-3-63-78
- Костылев И.И., Евдокимов Г.П. (2016). Развитие газозовов сжиженного природного газа для удовлетворения потребностей в нем мирового рынка. Российские проекты сжиженного природного газа. *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова* **6**(40), 42–57. [Kostylev, I., Evdokimov, G. (2016). Development of liquefied natural gas carriers to meet the needs of the world market. Russian projects of liquefied natural gas. *Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov* **6**(40), 42–57 (in Russian)].
- Ленчук Е.Б. (2022). Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления. *Экономическое возрождение России* (3), 52–60. [Lenchuk, E. (2022). Scientific and technological development of Russia under sanctions pressure. *Economic revival of Russia* (3), 52–60 (in Russian)].
- Литвиненко В.С., Цветков П.С., Двойников М.В., Буслаев Г.В. (2020). Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики. *Записки Горного института* **244**, 428–438. [Litvinenko, V., Tsvetkov, P., Dvoynikov, M., Buslaev, G., (2020). Barriers to the implementation of hydrogen initiatives in the context of sustainable development of global energy. *Notes of the Mining Institute* **244**, 428–438 (in Russian)].
- Львов Д.С. (ред.) (1999). *Путь в XXI век: Стратегические проблемы и перспективы российской экономики*. М.: Экономика. [Lvov, D. (ed.) (1999). *The Path to the XXI Century: Strategic Problems and Prospects of the Russian Economy*. Moscow: Ekonomika Publ. (in Russian)].

- Мазилов Е.А., Давыдова А.А. (2020). Научно-технологическое развитие России: оценка состояния и проблемы финансирования. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз* **13**(5), 55–73. [Mazilov, E., Davydova, A. (2020). Scientific and technological development of Russia: Assessment of the state and problems of financing. *Economic and social changes: Facts, trends, forecast* **13**(5), 55–73 (in Russian)].
- Мастепанов А.М. (2021). Основные движущие силы энергетического перехода и проблемы его достижения. *Проблемы постсоветского пространства* **8**(2), 256–276. [Mastepanov, A. (2021). The main driving forces of the energy transition and the problems of its achievement. *Problems of the Post-Soviet Space* **8**(2), 256–276 (in Russian)].
- Мошников В.А., Теруков Е.И. (ред.) (2011). *Основы водородной энергетики*. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011, 288 с. [Moshnikov, V., Terukov, E. (eds.) (2011). *Fundamentals of Hydrogen Energy*. St. Petersburg: Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI” Publ. (in Russian)].
- Полтерович, В.М. (2007). О стратегии догоняющего развития для России. *Экономическая наука современной России* (3), 17–23. [Polterovich, V. (2007). On the strategy of catching-up development for Russia. *Economics of Contemporary Russia* (3), 17–23 (in Russian)].
- Полтерович В.М. (2016). Институты догоняющего развития (к проекту новой модели экономического развития России). *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз* (5), 34–56. [Polterovich, V. (2016). Institutions of catch-up development (to the project of a new model of economic development of Russia). *Economic and social changes: facts, trends, forecast* (5), 34–56 (in Russian)]. DOI: 10.15838/esc/2016.5.47.2
- Пылин А.Г. (2022). Трансформация постсоветской евразийской интеграции в условиях санкций: возможности и риски. *Вестник Института экономики РАН* (6), 127–141. [Pylin, A. (2022). Transformation of post-Soviet Eurasian integration under sanctions: Opportunities and risks. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences* (6), 127–141 (in Russian)].
- Смородинская Н.В., Катукнов Д.Д. (2022). Россия в условиях санкций: пределы адаптации. *Вестник Института экономики РАН* (6), 52–67. [Smorodinskaya, N., Katukov, D. (2022). Russia under sanctions: the limits of adaptation. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences* (6), 52–67 (in Russian)].
- СМППТО (2023). *Современные материалы, передовые производственные технологии и оборудование для них*. Сборник тезисов докладов Международной научной конференции, 30 июня – 2 июля 2023 г., Санкт-Петербург. СПб.: Политех-Пресс, 109 с. [SMPPTO (2023). *Modern materials, advanced production technologies and equipment for them*. Proceedings of the International Conference, June 30 – July 2, 2023, St. Petersburg. St. Petersburg: Polytech-Press, 109 p. (in Russian)].
- Тарасенко А.Б., Попель О.С. (2020). Перспективные пути развития водородной энергетики в условиях России. *Материалы XII Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени Э.Э. Шпильрайна*. Махачкала: Институт проблем геотермии. [Tarasenko, A., Popel, O. (2020). Promising ways of development of hydrogen energy in Russia. *Proceedings of the XII School of Young Scientists “Actual Problems of Development of Renewable Energy Resources” Named After E. Spielrain*. Makhachkala: Institute of Geothermal Problems Publ. (in Russian)].
- Ушкалова Д.И. (2022). Антироссийские санкции и экспорт России в 2022 г.: риски и перспективы. *Вестник Института экономики РАН* (6), 34–51. [Ushkalova, D. (2022). Anti-Russian sanctions and Russian exports in 2022: Risks and prospects. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences* (6), 34–51 (in Russian)].
- Atkinson, R.D. (2021). Why the United States Needs a National Advanced Industry and Technology Agency. <https://www2.itif.org/2021-us-national-tech-agency.pdf> (accessed on May 29 2023)
- Bekar, C., Carlaw, K., Lipsey, R. (2016). *General purpose technologies in theory, applications and controversy: A review*. International Schumpeter Society Conference, Montreal, Canada. <https://core.ac.uk/download/pdf/85004244.pdf> (accessed on July 1, 2023)

- Bresnahan, T., Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies: 'Engines of growth'? *Journal of Econometrics* **65**, 83–108.
- Chang, H.-J. (2002). *Kicking Away the Ladder: Development Strategy in Historical Perspective*. London: Anthem Press.
- Cong, C. (2004). Challenges for technological development in China's industry. *China Perspectives* (54). DOI: 10.4000/chinaperspectives.924
- Gaida, J., Wong-Leung, J., Robin, S., Cave, D. (2023). *ASPI's critical technology tracker. The global race for future power*. Policy Brief Report № 69/2023.
- Galindo-Rueda, F., Verger, F. (2016). *OECD taxonomy of economic activities based on R&D intensity*. OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2016/4. OECD Publishing.
- Lin, J. (2014). *Demystifying the Chinese Economy*. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CB09781139026666
- Steen, J., Klein, G., Potts J. (2022). 21<sup>st</sup>-century general-purpose technologies and the future of project management. *Project Management Journal* **53**(5), 435–437.
- Turovets, J., Proskuryakova, L., Starodubtseva, A., Bianco, V. (2021). Green digitalization in the electric power industry. *Foresight and STI Governance* **15**(3), 35–51.