ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ
https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2026.23-1.7
УДК 338.36
JEL M15, O14, O32

CC BY 4.0
OPEN ACCESS

Отраслевые паттерны цифровой трансформации промышленности[1]

Виктория В. АКБЕРДИНА[1)] ✉ iD, **Анна З. БАРЫБИНА[2)]** ✉ iD
[1, 2)] Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Для цитирования: Акбердина, В. В., Барыбина, А. З. (2026). Отраслевые паттерны цифровой трансформации промышленности. *AlterEconomics, 23*(1), 96–121.
https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2026.23-1.7

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена осмыслением того, что в условиях нарастающих глобальных вызовов — санкционного давления, фрагментации цепочек создания стоимости и необходимости обеспечения технологического суверенитета — цифровая трансформация промышленности становится критическим фактором адаптации. Однако наблюдаемое разнообразие траекторий цифровизации в разных секторах ставит под сомнение универсальность существующих подходов и требует разработки инструментов, учитывающих отраслевую специфику. В статье предлагается концепция отраслевого паттерна цифровой трансформации, понимаемого как устойчивая воспроизводимая модель преобразований, формирующаяся на пересечении трех ключевых характеристик: технологического ядра, глубины трансформации бизнес-модели и уровня развития внутренних цифровых компетенций. На основе данной концепции разработана комплексная методика идентификации отраслевых паттернов, раскрывающая каждый из элементов через систему статистических показателей Росстата и шкалы оценки стадий внедрения. Апробация методики проведена на примере трех высокотехнологичных отраслей российской промышленности — фармацевтики, микроэлектроники и авиакосмической отрасли. Выявлены существенные различия в формирующихся паттернах: регуляторно-ориентированная модель в фармацевтике с фокусом на учет и контроль при опережающем развитии ИИ в НИОКР; интеграционный паттерн в электронике с доминированием систем автоматизированного проектирования и уникальным кадровым профилем; инжиниринговый паттерн в авиакосмосе, где ключевую роль играют цифровое проектирование и управление жизненным циклом при сохранении решающей роли человека. Полученные результаты демонстрируют, что каждая отрасль формирует уникальную конфигурацию цифровых приоритетов как стратегический ответ на внешние вызовы, исходя из своей технологической природы, регуляторного ландшафта и накопленного кадрового потенциала. Предложенный подход создает аналитическую основу для перехода от универсальных рекомендаций к адресной промышленной политике и точной настройке корпоративных стратегий цифровой трансформации.

Ключевые слова: цифровая трансформация, отраслевой паттерн, технологическое ядро, цифровые компетенции, высокотехнологичные отрасли, фармацевтика, микроэлектроника, авиакосмическая отрасль

Благодарность: Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки РФ для Института экономики УрО РАН на период 2024–2026 гг. № 0327-2024-0010.

[1] © Акбердина В. В., Барыбина А. З. Текст. 2026.

RESEARCH ARTICLE

Industry Patterns of Digital Transformation

Victoria V. AKBERDINA[1)] ✉, **Anna Z. BARYBINA**[2)] ✉
[1, 2)] *Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation*

For citation: Akberdina, V. V., & Barybina, A. Z. (2026). Industry Patterns of Digital Transformation. *AlterEconomics, 23*(1), 96–121. https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2026.23-1.7

Abstract. The relevance of this study stems from the understanding that, in the face of growing global challenges such as sanction pressure, value chain fragmentation, and the need to ensure technological sovereignty, digital transformation of industry is becoming a critical factor for adaptation. However, the observed diversity of digitalization trajectories across sectors calls into question the universality of existing approaches and requires the development of tools that take into account industry specifics. This article proposes the concept of an industry pattern of digital transformation, understood as a sustainable, replicable transformation model formed at the intersection of three key characteristics: the technological core, the depth of business model transformation, and the level of development of internal digital competencies. Based on this concept, a comprehensive methodology for identifying industry patterns was developed specifically for the Russian context. Each element of the pattern is revealed through the Federal State Statistics Service's system of statistical indicators and implementation stage assessment scales. The methodology was tested using data from three high-tech sectors of Russian industry: pharmaceuticals, microelectronics, and aerospace. Significant differences in the emerging patterns were identified. In pharmaceuticals, a regulatory oriented model focusing on accounting and control with the accelerated development of AI in R&D was observed. In electronics, an integration based pattern dominated by computer aided design systems and a unique talent profile emerged. In aerospace, an engineering based pattern took shape where digital design and lifecycle management play a key role while maintaining the decisive role of humans. The results demonstrate that each industry is developing a unique configuration of digital priorities as a strategic response to external challenges, based on its technological nature, regulatory landscape, and accumulated talent pool. The proposed approach creates an analytical basis for the transition from universal recommendations to targeted industrial policies and the fine tuning of corporate digital transformation strategies.

Keywords: digital transformation, industry pattern, technological core, digital competencies, high-tech industries, pharmaceuticals, microelectronics, aerospace

Acknowledgments: This research was conducted as part of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for the period 2024–2026, No. 0327-2024-0010.

1. Введение

Современный этап экономического развития характеризуется нарастанием турбулентности и формированием принципиально новых стратегических вызовов, перед лицом которых оказываются как национальная экономика, так и отдельные промышленные комплексы. Санкционное давление, фрагментация глобальных цепочек создания стоимости, необходимость обеспечения технологического суверенитета и ускорение инновационных циклов требуют от промышленности способности к быстрой и адекватной адаптации. В этих условиях цифровая трансформация перестает быть вопросом конкурентоспособности и становится фактором выживания. Однако ключевой проблемой остается понимание того, как именно различные отрасли должны отвечать на эти вызовы и какие именно стратегии оказываются эффективными в этих условиях.

Эмпирические исследования свидетельствуют о значительной вариативности траекторий, темпов и результатов цифровой трансформации в разных сегментах промышленности — от радикальной смены бизнес-моделей в автомобилестроении до фрагментарной автоматизации в традиционных секторах (Смирнов и др., 2021; Килимова, 2022). Это ставит перед экономической теорией задачу поиска новых концептуальных рамок, способных объяснить наблюдаемое разнообразие и предложить инструменты для разработки дифференцированных стратегических ответов. В научной литературе фиксируется переход от общих принципов цифровой трансформации к выделению и анализу специфических технологических стратегий и, что особенно важно, к изучению их отраслевой специфики реализации (Хоменко и др., 2022; Ghobakhloo et al., 2025).

Отрасль перестает рассматриваться лишь как контекст, а становится ключевой переменной, определяющей приоритеты, скорость и характер цифровой трансформации. Вариативность процессов цифровой трансформации в отраслях обусловлена целым комплексом факторов. К ним относятся общий уровень технологичности и инновационности, состояние первичной цифровизации и автоматизации производственных процессов, степень вовлеченности предприятий в цифровой обмен данными с поставщиками и потребителями, объем и динамика расходов на цифровые решения, развитие цифровых компетенций работников и многое другое.

В результате в промышленности формируются устойчивые, воспроизводимые модели цифровой трансформации — отраслевые паттерны, которые требуют теоретического осмысления и разработки «тонкого» аналитического инструментария.

Цель статьи — сформулировать общий контур элементов отраслевых паттернов цифровой трансформации промышленности и предложить комплексную методику идентификации отраслевых паттернов, интегрирующую стратегические, технологические и организационные аспекты в единую аналитическую модель.

На основе предложенной методики будет проведена пилотная классификация ключевых отраслей промышленности и выявлены их доминирующие паттерны трансформации. В отличие от существующих рейтингов цифровизации (Попов, Семячков, 2017; Ершов и др., 2024), предлагаемый подход позволяет не только ранжировать отрасли, но и выявлять качественную природу (паттерн) их трансформации, определяя ключевые драйверы, противоречия и точки роста.

2. Теоретические рамки исследования и сущность понятия «отраслевой паттерн цифровой трансформации»

2.1. Теоретические рамки исследования

Цифровая трансформация стала ключевым фактором конкурентоспособности промышленных предприятий в XXI в. Она представляет собой комплексный процесс, затрагивающий не только технологии, но и бизнес-модели, организационные структуры, процессы и работников предприятий.

Выделим несколько направлений в исследованиях цифровой трансформации отраслей промышленности, которые определяют теоретические рамки статьи.

Первое направление — это дискурс «цифровизация — цифровая трансформация». Исходной точкой является концептуальное различение между автоматизацией, цифровизацией и цифровой трансформацией, обозначенное в научных

публикациях в 2010-х гг., когда была сформирована концепция Индустрии 4.0. Сегодня это разделение в значительной степени утратило свою актуальность, поскольку формальная «цифровизация» в ее минимальном, инфраструктурном выражении (использование компьютеров, сетей, баз данных, электронного документооборота и др.) стала повсеместной и обязательной нормой для любого конкурентоспособного предприятия промышленности. Фокус стратегического управления сместился с вопроса «цифровизироваться или нет?» на более сложный и детализированный вопрос: «как именно и с какими приоритетами осуществлять цифровую трансформацию?» (Лавренко, Мечикова, 2022; Пургаева и др., 2023; Yaqub & Alsabban, 2023). На первый план выходит не сам факт использования технологий, а их конкретная конфигурация, последовательность внедрения и интеграция в отраслевые бизнес-процессы.

Второе направление непосредственно касается места цифровой трансформации в стратегическом менеджменте. Традиционные школы стратегического менеджмента (например, ресурсный подход, теория динамических способностей) начинают адаптироваться к цифровому контексту. С. Берман (Berman, 2012), К. Мэтт с коллегами (Matt et al., 2015) и Б. Регу с соавторами (Rêgo et al., 2022) вводят концепцию «цифровых бизнес-стратегий», подчеркивая необходимость интеграции цифровых и физических аспектов бизнеса. С. Гхош и соавторы (Ghosh et al., 2022) развивают идею динамических способностей, утверждая, что в условиях цифровой экономики ключевыми становятся способности к «чувствованию, захвату и реконфигурации цифровых активов». Однако, как отмечает К. Бак (Buck et al., 2023), существует разрыв между макроуровневыми стратегическими концепциями и микроуровневыми решениями о выборе и внедрении конкретных технологий, что требует разработки мезоуровневых отраслевых концепций.

Третье направление исследований касается собственно технологического ядра цифровой трансформации как самостоятельного объекта в виде семейств цифровых решений. В работах Д. Банерджи и Д. Сена (Bandyopadhyay & Sen, 2011), Е. Бушере и Д. Укелманн (Bucherer & Uckelmann, 2011), И.Л. Авдеевой, А.В. Полянина и Т.А. Головиной (2019) о влиянии «умных, подключенных продуктов» заложена основа для стратегий, ориентированных на Интернет вещей и создание экосистем данных. Исследования по стратегиям внедрения искусственного интеллекта выделяют разные подходы — от автоматизации процессов до создания новых продуктов (Aldoseri et al., 2024). Литература по облачным вычислениям (например, (Marston et al., 2011)) анализирует стратегический выбор между различными моделями развертывания (публичное, частное, гибридное «облако») как элемент конкурентного позиционирования (Мыльник, Голов, 2025). Однако, как правило, эти стратегии рассматриваются изолированно, без анализа их взаимосвязи и отраслевой специфики.

Поэтому четвертое направление — это отраслевой контекст как ключевой фактор цифровой трансформации. Как уже было отмечено выше, важнейшим направлением является признание того, что траектории цифровой трансформации не универсальны. Исследования Г. Уэстерман и его коллег (Westerman et al., 2012) в рамках инициативы «Индустрия 4.0» изначально подчеркивали отраслевые различия, в частности между дискретным и процессным производством. Последующие эмпирические работы подтверждают, что такие факторы, как сложность продукта, регуляторная среда, структура цепочки создания стоимости и интенсивность НИОКР, определяют приоритеты и последовательность внедрения

цифровых технологий (Истомина, 2018; Акбердина, 2018; Краковская и др., 2023). Обобщающие отраслевые исследования от McKinsey Global Institute (2015–2022) и World Economic Forum (2018–2023) предоставляют сравнительные данные о потенциале и барьерах цифровизации в различных секторах, косвенно указывая на формирование отраслевых паттернов.

И, наконец, пятое направление — это методология оценки цифровой трансформации. Анализ научной литературы позволяет выделить два широких класса методов оценки: качественные и количественные. Среди качественных методов наиболее распространенными являются опросы и анкетирование (Лола, Бакеев, 2019; Бакеев, Лола, 2020; Jackson et al., 2022), которые позволяют обобщить данные о субъективном восприятии и оценке цифровой трансформации сотрудниками и руководством предприятий. Для получения экспертного мнения используются глубинные экспертные интервью (Ting et al., 2022; Шекшня, Кравченко, 2024), часто с последующей обработкой данных статистическими методами.

Среди количественных методов центральное место занимает методология построения интегральных индексов, синтезирующих данные из разнородных источников через взвешивание и нормализацию показателей, что позволяет получить, например, агрегированную оценку цифровой зрелости (Дубровская, Тарасова, 2020; Бабкин и др., 2024). Также достаточно широко применяются статистические методы, в частности корреляционный и регрессионный анализ, для выявления причинно-следственных связей между уровнем цифровой трансформации и ключевыми бизнес-результатами (Вертакова и др., 2018; Калиниченко, 2021).

В указанных теоретических рамках данная статья будет акцентировать внимание на области исследования, находящейся на пересечении выделенных направлений, а именно акцент будет сделан на формировании паттернов цифровой трансформации в разрезе отраслевых стратегий их реализации.

2.2. Сущность понятия «отраслевой паттерн цифровой трансформации»

Теперь обратимся непосредственно к пониманию сущности отраслевого паттерна цифровой трансформации.

Паттерн (от англ. *pattern* — образец, шаблон, модель) — это устойчивая, повторяющаяся и узнаваемая схема или модель, которая систематически проявляется в различных явлениях или процессах. По своей сути паттерн представляет собой шаблон действий или стратегий, выполняющий три ключевые функции: он позволяет распознавать сходства в разнородных ситуациях, предсказывать развитие событий или поведение систем и структурировать знания, предлагая типовые решения для типовых проблем.

Основными характеристиками любого паттерна являются его повторяемость, узнаваемость, типичность и практическая полезность (Toussaint & Toussaint, 2014). Повторяемость в данном случае — это возникновение в подобных условиях не просто похожих ситуаций, а систематическое воспроизведение тех же решений или событий, что позволяет определить данный паттерн как устойчивую единицу, а не как закономерность и тем более не как случайность (Dennett, 1991). Закономерность обычно описывает прямую причинно-следственную связь по принципу «если *x*, то *y*». Паттерн же — это описание самой повторяющейся формы или последовательности действий, которая может быть следствием различных причин и представляет собой более широкую категорию.

Под узнаваемостью мы понимаем возможность четкого описания структуры паттерна и его отличительных признаков, позволяющих идентифицировать его в каждом конкретном случае проявления. Типичность в свою очередь можно определить как отражение обобщенного случая, а не уникального явления, т. е. паттерн фиксирует устойчивые, повторяющиеся черты, присущие целому классу явлений, абстрагируясь от случайных особенностей каждого отдельного примера (Грибков, 2023).

Достаточно часто в литературе встречается ошибочное, на наш взгляд, мнение, что паттерн — это некая оптимальная совокупность решений. В контексте цифровой трансформации, например, под такой совокупностью понимают стандарты Industry 4.0 (Frank et al., 2019). Считается, что набор оптимальных технологий возникает как результат экспертного консенсуса или бенчмаркинга, что позволяет предприятиям удешевлять их внедрение и снижать риски (Shin et al., 2019).

Мы придерживаемся мнения, что отраслевой паттерн не обязательно является синонимом оптимальности или лучшей практики. Это прежде всего устойчиво воспроизводимый подход, который стал доминирующим в отрасли благодаря тиражируемости, но не обязательно благодаря своей объективной эффективности. Паттерн может быть как оптимальным, так и устаревшим, или даже изначально не самым лучшим, но получившим широкое распространение в силу исторических причин.

В крайнем негативном смысле отраслевой паттерн рассматривается как эффект колеи, когда глубоко укоренившиеся паттерны блокируют возможность перехода отрасли на альтернативные траектории развития (Аузан и др., 2022; Верников, Курышева, 2023). Колея выступает механизмом консервации, который делает выход из однажды выбранного паттерна экономически или технологически невыгодным, даже когда большинство предприятий осознают его неоптимальность. Стоимость переключения, связанная с унаследованными активами, стандартами или инфраструктурой, оказывается предельно высокой.

В результате тиражируемый сегодня паттерн может оказаться колеей завтра. В автоматизации и цифровизации можно привести не один такой пример. Так, в сфере АСУ ТП (SCADA) паттерн 1990-х гг., предписывавший закупку систем у крупных вендоров, таких как Siemens или Wonderware, казался надежной стратегией, однако к 2020-м гг. он обернулся колеей. Предприятия оказались связаны закрытыми протоколами, не имея возможности подключать новые «умные» датчики других производителей или внедрять современную аналитику данных из-за отсутствия открытых API у вендоров (Маркин, 2025).

Аналогичная ситуация прослеживается на примере ERP-систем. В 2000-х гг. внедрение решений от SAP или Oracle считалось «лучшим паттерном» управления ресурсами и признаком зрелости бизнеса, но сегодня предприятия, внедрившие эти решения, не могут перейти на гибкие облачные технологии и использовать алгоритмы ИИ планирования. Проблема заключается в высокой стоимости выгрузки и переноса данных из-за устаревшего кода ПО (Трубин и др., 2025).

Таким образом, будем утверждать, что паттерны цифровой трансформации в своей сути представляют собой отражение глубинной отраслевой специфики, а не универсальный набор предписаний. Убеждение в том, что существуют «лучшие» или «обязательные» технологии, которые должны быть внедрены на каждом современном предприятии, является фундаментальным заблуждением. Если внимательно рассмотреть технологии, включенные в стандарты Индустрии 4.0, то выясняется, что эти решения подходят не всем и не всегда. Их уместность

и экономическая целесообразность целиком и полностью определяются уникальным сочетанием факторов, характерных для конкретной промышленной отрасли. Такими факторами выступают структура цепочки добавленной стоимости, тип производства, технологическая природа продукта, экономия от масштаба, регуляторные ограничения и др.

Аддитивные технологии, например, демонстрируют свою максимальную эффективность в отраслях, где ценность создается за счет сложной геометрии, малых серий или высокой степени кастомизации. В авиакосмической промышленности печать турбинных лопаток из титановых сплавов считается прорывом, позволяющим создавать облегченные конструкции с внутренними каналами охлаждения, которые невозможно получить литьем (Найм и др., 2022). Однако в нефтепереработке или массовом производстве бутилированных напитков аддитивные технологии останутся дорогостоящей технологией для изготовления оснастки, но никогда не станут ядром производственного процесса.

Роботизация — это еще один яркий пример попытки насаждения «модного» тренда в качестве оптимального паттерна цифровой трансформации промышленности (Потапцева, Брянцева, 2025). При этом в фармацевтическом производстве, особенно в области стерильного розлива, полная роботизация наталкивается не только на высокую стоимость, но и жесткие регуляторные требования. Любое изменение в автоматизированной линии требует долгого и дорогостоящего процесса подтверждения соответствия стандартам GMP[1], что часто делает поэтапную модернизацию экономически нецелесообразной. Здесь паттерн может включать роботов на этапе упаковки и в логистике, но не на основном технологическом переделе.

Цифровые двойники также служат хорошей иллюстрацией. Эта технология демонстрирует свою максимальную ценность в отраслях, где продукт отличается высокой сложностью, стоимостью и длительным жизненным циклом, а процессы требуют серьезного моделирования (Кравченко, 2025). Однако, например, в легкой промышленности при массовом пошиве одежды создание полноценного цифрового двойника каждой швейной линии или изделия будет избыточным.

Следовательно, отсутствие масштабного внедрения той или иной цифровой технологии на предприятиях определенной отрасли автоматически не свидетельствует о ее цифровой незрелости. Более того, мы видим, что копирование успешных решений из одной отрасли в другую без учета специфики производства обречено на неудачу или неэффективность инвестиций. Поэтому истинный цифровой паттерн всегда эндемичен, он вытекает из технологического и экономического базиса самой отрасли, определяя уникальный путь ее трансформации. При этом внутри конкретной отрасли выявленный паттерн, в случае его доказанной результативности, позволяет предприятиям внедрять проверенные решения, а государству эффективно реализовывать горизонтальную промышленную политику и формировать адресные меры поддержки для отдельных отраслей и предприятий.

Сформулируем следующее определение паттерна применительно к исследованию цифровой трансформации промышленности. Отраслевой паттерн цифровой трансформации — это типичная для отрасли воспроизводимая модель преобра-

[1] GMP (Good Manufacturing Practice, Надлежащая производственная практика) — международный стандарт, устанавливающий требования к производству и контролю качества лекарственных средств для человека и животных, а также специальные требования к производству активных фармацевтических субстанций и отдельных видов лекарственных средств.

зований, формирующаяся на пересечении трех ключевых характеристик: специфического технологического ядра, достигнутой глубины трансформации бизнес-модели и уровня развития внутренних цифровых компетенций, в совокупности определяющих уникальную траекторию цифрового развития конкретной индустрии (рис. 1).

Выше было указано отличие паттерна от закономерности. Здесь считаем необходимым подчеркнуть отличие отраслевого паттерна от простой совокупности отраслевых особенностей реализации стратегий цифровой трансформации. Отраслевые особенности представляют собой перечень характеристик, которые могут быть верны, но которые не ответят на вопрос, как именно эти особенности взаимодействуют друг с другом и какую траекторию изменений они формируют. Отраслевой паттерн, напротив, выявляет структурные взаимосвязи между этими особенностями и показывает, как они под воздействием внешних и внутренних факторов складываются в определенный тип трансформации.

Предлагаемое понимание сущности отраслевого паттерна вносит вклад в развитие методологии анализа цифровой трансформации, поскольку оно представляет иной уровень обобщения. Как было показано выше, преобладающие сегодня подходы зачастую сводятся к построению интегральных индексов цифровизации или цифровой зрелости, которые ранжируют отрасли и компании по единой усредненной шкале. Две отрасли с одинаковым интегральным баллом могут



Рис. 1. *Основные характеристики отраслевого паттерна цифровой трансформации (источник: сост. авторами)*
Fig. 1. *Main Characteristics of the Industry-Specific Pattern of Digital Transformation*

достигать его совершенно разными путями: одна — через радикальную роботизацию при консервативной бизнес-модели, другая — через развитие интеллектуальных сервисов при умеренной автоматизации. Особенность предлагаемого авторами подхода состоит в том, что он отказывается от поиска единой меры, заменяя ее концепцией паттерна как уникальной конфигурации характеристик. В методическом плане это позволяет перейти от описания частных случаев и рейтинговых замеров к выявлению устойчивых моделей трансформации и разработке инструментов для анализа отраслей на основе многомерных профилей, а не интегральных оценок.

Более того, логика отраслевого паттерна не предполагает сравнение отраслей промышленности между собой с позиции «лучше-хуже». В данном случае сравнение возможно только внутри отрасли, а именно сравнение предприятий с отраслевым уровнем и сравнение характеристик отраслевого паттерна в динамике.

3. Методы и данные

Для подтверждения авторских теоретических положений предложим инструментарий и проведем исследование отраслевых паттернов цифровой трансформации высокотехнологичных отраслей промышленности.

Объектом исследования будут являться отрасли, относимые по классификации ОЭСР к высокотехнологичным, — ОКВЭД 21 «производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях и ветеринарии», ОКВЭД 26 «производство компьютеров, электронных и оптических изделий» и ОКВЭД 30.3 «производство летательных аппаратов, включая космические, и соответствующего оборудования», в целях упрощения названные в исследовании, соответственно, «фармацевтика», «электроника» и «авиакосмос».

Источником данных по отраслям выступают предоставляемые Росстатом сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг (итоги статистического наблюдения по ф. № 3-информ) и сведения об инновационной деятельности организации (итоги статистического наблюдения по форме № 4-инновации)[1].

Согласно рисунку 1, содержащему основные характеристики отраслевого паттерна цифровой трансформации, сформируем систему оценочных показателей.

1. Технологическое ядро цифровой трансформации. В данном блоке применяется показатель «доля предприятий отрасли, использующих технологию, от числа предприятий, использующих цифровые технологии (%)». Для оценки технологических стратегий трансформации предлагается следующая шкала для оценки:

— менее 5 % характеризует пилотные стратегии;
— 5–15 % — стратегии нишевого применения;
— 15–40 % — стратегии формирования стандартов;
— 40–70 % — стратегии широкого распространения;
— свыше 70 % — стратегии полного насыщения.

В технологическом ядре можно выделить 4 направления, которые формируют технологические стратегии:

1) развитие технологий сбора данных с физических объектов (RFID-метки и датчики Интернета вещей);

[1] Источник данных Росстата — Раздел «Наука, инновации и технологии». [Электронный ресурс]. https://www.rosstat.gov.ru/statistics/science (дата обращения: 14.12.2025).

2) развитие технологий цифровой инфраструктуры хранения данных (облачные сервисы и центры обработки данных);

3) развитие технологий интеллектуальной обработки данных (технологии больших данных и искусственный интеллект);

4) развитие технологий цифрового проектирования и производства (цифровые двойники, роботы и аддитивные технологии).

2. Организационные изменения и глубина трансформации бизнес-процессов. Данный блок включает в себя показатель «доля предприятий отрасли, использовавших цифровые технологии для решения отдельных управленческих задач, от общего числа предприятий, в которых данные технологии применялись (%)». Для оценки уровня трансформации используется аналогичная шкала как для технологического ядра. Глубину цифровой трансформации бизнес-модели характеризуют следующие направления:

1) цифровые технологии для научных исследований;

2) цифровые технологии для проектирования / моделирования (CAD / CAE / CAM / CAO);

3) цифровые технологии для управления автоматизированным производством и / или отдельными технологическими процессами;

4) цифровые технологии для управления взаимоотношениями с клиентами (CRM-системы), предназначенные для автоматизации процессов взаимодействия с существующими и потенциальными заказчиками на всех этапах: от первого контакта и маркетинговых кампаний до продаж и послепродажного обслуживания;

5) цифровые технологии для планирования ресурсов предприятия (ERP-системы), представляющие собой интегрированный пакет программного обеспечения, который объединяет в единое информационное пространство все ключевые бизнес-процессы компании: финансы и бухгалтерию, управление запасами и закупками, производство, управление персоналом, учет и отчетность;

6) цифровые технологии для управления цепочками поставок (SCM-системы), предназначенные для автоматизации и оптимизации потоков материалов, информации и финансов на всем протяжении логистической цепи: от закупки сырья у поставщиков через производство и складирование до доставки готовой продукции конечному потребителю;

7) цифровые технологии для управления жизненным циклом изделия и управления данными об изделии (PLM / PDM-системы), обеспечивающие единую цифровую среду для разработчиков, технологов и производителей, позволяя управлять сложностью продукта и сокращать время вывода новинок на рынок;

8) цифровые технологии для управления персоналом (HRIS), позволяющие автоматизировать все кадровые процессы: ведение штатного расписания, учет кадров, расчет заработной платы, управление табельным временем, подбор и обучение персонала, оценку эффективности и кадровое делопроизводство.

3. Внутренние цифровые компетенции. В основе данного блока лежит структура численности занятых в отрасли, используется показатель «доля занятых, использующих цифровые технологии для решения определенных задач, от всей численности занятых, %».

Направления, по которым оценивается уровень развития цифровых компетенций отрасли:

1) деятельность, связанная с информационно-коммуникационным технологиями (специалисты по ИКТ):

— низкий уровень — менее 0,5 % занятых в отрасли являются профильными ИКТ-специалистами (отрасль испытывает острый кадровый дефицит в цифровой сфере, ИКТ-функции преимущественно привлекаются по аутсорсингу);

— средний уровень — от 0,5 % до 1,5 % занятых составляют ИКТ-специалисты (в отрасли сформированы базовые внутренние компетенции для поддержки и эксплуатации цифровых систем);

— высокий уровень — свыше 1,5 % занятых относятся к категории ИКТ-специалистов (отрасль обладает развитым кадровым потенциалом для самостоятельной разработки, внедрения и сопровождения сложных цифровых решений);

2) непосредственное управление машинами и оборудованием с помощью цифровых технологий:

— низкий уровень — менее 5 % производственного персонала задействовано в управлении оборудованием через цифровые интерфейсы (преобладает ручное управление и аналоговые системы);

— средний уровень — от 5 % до 20 % работников используют цифровые системы для управления техникой и оборудованием (активное внедрение ЧПУ, SCADA-систем, цифровых панелей оператора и др.);

— высокий уровень — более 20 % производственного персонала взаимодействует с оборудованием через цифровые интерфейсы (широкое распространение автоматизированных рабочих мест, промышленных терминалов, систем удаленного мониторинга и управления);

3) функции и задачи, для решения которых используются технологии искусственного интеллекта:

— низкий уровень — менее 0,2 % занятых применяют ИИ-инструменты (использование носит единичный экспериментальный характер, отрасль на начальном этапе внедрения ИИ);

— средний уровень — от 0,2 % до 1 % работников вовлечены в задачи с применением ИИ (внедрение в отдельных функциях, например, контроль качества, предиктивная аналитика, оптимизация процессов и др.);

— высокий уровень — свыше 1 % сотрудников регулярно используют ИИ-решения (искусственный интеллект становится инструментом в ключевых бизнес-процессах, что для промышленности является опережающим показателем).

Для оценки показателей, включенных в элементы отраслевого паттерна, используется медианное значение за ряд лет (не менее 3), что характеризует устойчивое, типичное состояние отрасли на протяжении определенного временного периода. Использование медианы как центрального значения во временном ряду позволяет нивелировать крайние годовые аномалии. Важно также понимать, что медиана за ряд лет не отражает динамику и не показывает, рос показатель или падал. Она отвечает на вопрос о среднепериодическом уровне, что соотносится с логикой паттерна. При этом в комплексном анализе паттерна медиану за период можно использовать в паре с другими показателями, характеризующими тренд.

4. Результаты и обсуждение

На основе разработанной методики и сформированной системы показателей был проведен анализ цифровой трансформации трех высокотехнологичных от-

раслей российской промышленности — фармацевтики, электроники и авиакосмоса. Эмпирической базой исследования послужили данные Росстата по формам № 3-информ и № 4-инновации за период 2021–2024 гг. Анализ проводился по трем ключевым блокам, характеризующим отраслевой паттерн цифровой трансформации: технологическое ядро (рис. 2), глубина организационных изменений и трансформации бизнес-моделей (рис. 3), а также уровень внутренних цифровых компетенций (рис. 4).

4.1. Паттерн цифровой трансформации фармацевтической отрасли

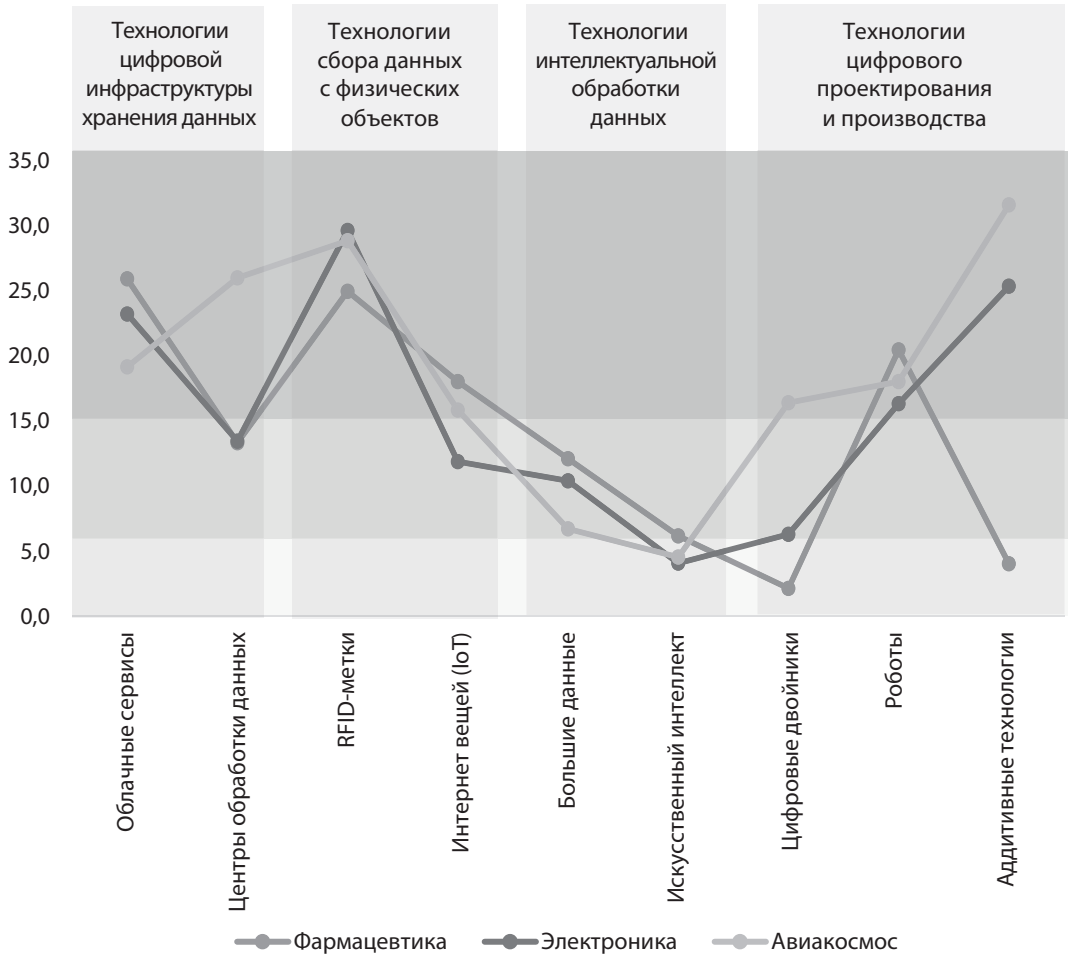
Фармацевтическая промышленность занимает особое место в ряду высокотехнологичных отраслей России, выступая ключевым элементом обеспечения национальной безопасности. За последнее десятилетие отрасль совершила качественный скачок: открыто около 80 новых производственных площадок, объем выпуска продукции вырос в шесть раз, а доля отечественных лекарств на рынке в натуральном выражении превысила 62 %. Сегодня российские предприятия способны производить по полному циклу не только готовые лекарственные формы, но и фармацевтические субстанции, что является фундаментом технологического суверенитета.

В условиях санкционного давления фармацевтика стала важнейшим приоритетом государственной политики. Стратегия развития отрасли до 2030 г. («Фарма-2030») в качестве одного из основных средств решения стратегических задач называет «применение современных цифровых технологий при разработке, исследовании, производстве и реализации лекарственных препаратов».

Технологическое ядро цифровой трансформации. Стратегию внедрения цифровых технологий в фармацевтике можно назвать осторожной с акцентом на контроль и соответствие (рис. 2). В области инфраструктуры отрасль придерживается консервативного подхода, используя в большей степени облачные сервисы (25,9 %), чем центры обработки данных (13,3 %). Стратегия сбора первичных данных с помощью RFID-меток (25,0 %) и Интернета вещей (18,0 %) является одной из наиболее активных, что продиктовано жесткими требованиями к мониторингу условий на всех этапах — от производства до логистики (например, контроль температуры, отслеживание партий и т. п.).

Однако переход к интеллектуальной обработке данных находится пока на начальных стадиях (большие данные — 12,1 %, ИИ — 6,2 %), что указывает на сбор и документирование данных, а не на сложную аналитику. При этом данные показатели по сегменту высокотехнологичных отраслей — наивысшие. В сфере цифрового производства фармацевтика активнее остальных высокотехнологичных отраслей внедряет только роботов (20,5 %), но в силу особенностей технологического процесса практически не использует цифровые двойники (2,2 %) и аддитивные технологии (4,0 %) за пределами нишевого применения в биопечати. Общая стратегия отрасли направлена на обеспечение соответствия регуляторным нормам и гарантированного качества, что определяет приоритет проверенных технологий над прорывными.

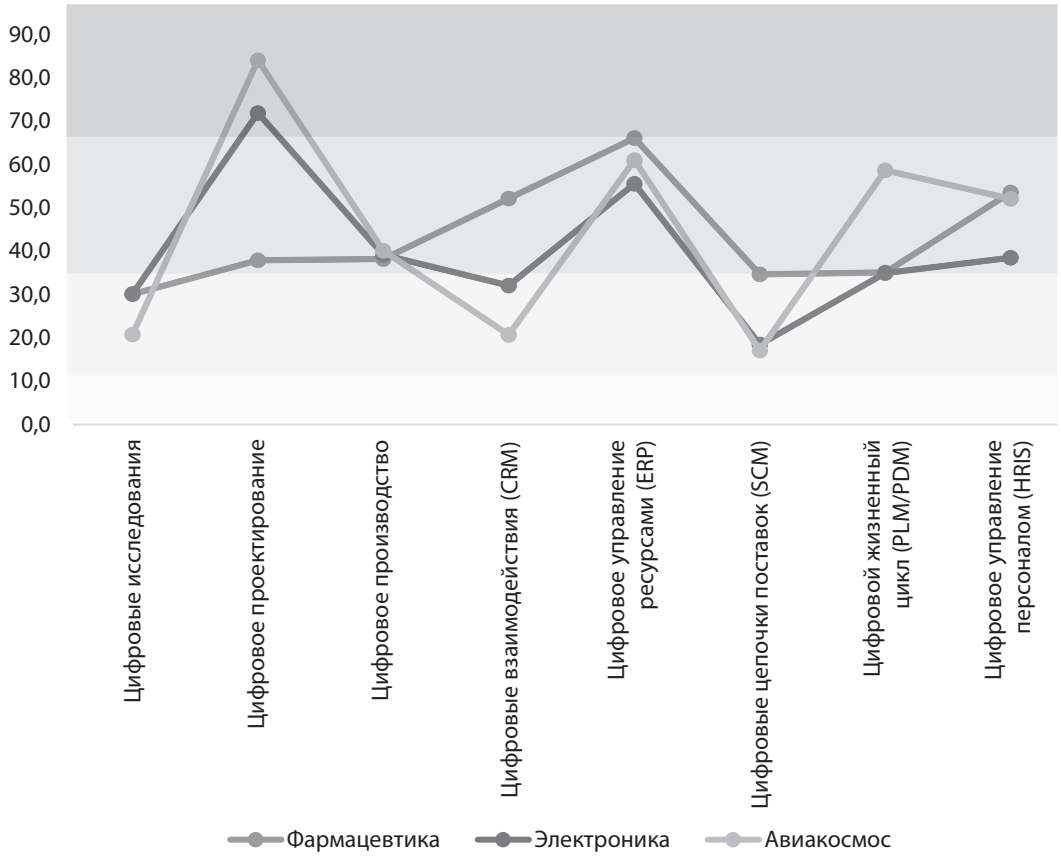
Организационные изменения и глубина трансформации бизнес-процессов. В части цифровизации производственных и управленческих функций фармацевтика демонстрирует уникальный паттерн, где целых пять направлений достигают стадии широкого распространения (40–70 %) (рис. 3). Наиболее применимы в отрасли ERP-системы (66,1 %) — наивысший показатель среди отраслей, что отражает



Примечание: менее 5 % характеризует пилотные стратегии; 5–15 % — стратегии нишевого применения; 15–40 % — стратегии формирования стандартов; 40–70 % — стратегии широкого распространения; свыше 70 % — стратегии полного насыщения.

Рис. 2. *Технологическое ядро отраслевых паттернов высокотехнологичных отраслей (показатель «доля предприятий, использующих отдельные цифровые технологии») (источник: разработано авторами на основе данных Росстата (сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг за 2024 год (итоги статистического наблюдения по ф. № 3-информ). [Электронный ресурс]. https://www.rosstat.gov.ru/statistics/science (дата обращения: 14.12.2025))*
Fig. 2. *Technological Core of Industry-Specific Patterns in High-Tech Industries (Indicator "Share of Enterprises Using Specific Digital Technologies")*

критическую важность учета ресурсов в жестко регулируемой среде. CRM-системы (52,2 %) и HRIS (53,6 %) также находятся в этой стадии, подчеркивая значимость взаимодействия с клиентами и управления высококвалифицированным персоналом. Цифровая трансформация оставшихся управленческих функций находится на стадии формирования стандартов (15–40 %), причем часть функций в силу специфики отрасли не выйдут за этот порог, например, системы цифрового проектирования и управления жизненным циклом.

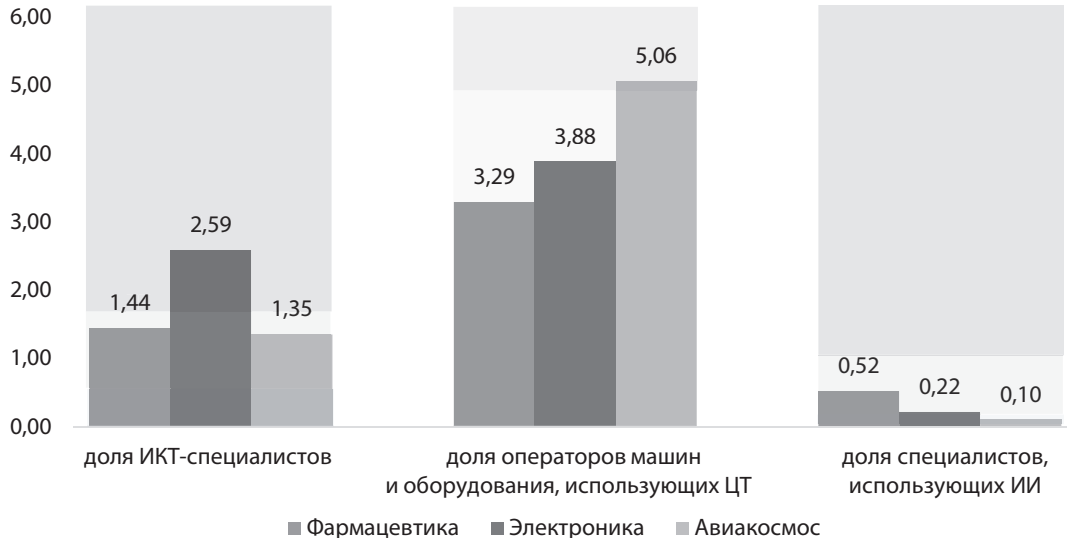


Примечание: менее 5 % характеризует пилотные стратегии; 5–15 % — стратегии нишевого применения; 15–40 % — стратегии формирования стандартов; 40–70 % — стратегии широкого распространения; свыше 70 % — стратегии полного насыщения.

Рис. 3. *Организационные изменения и глубина трансформации бизнес-модели высокотехнологичных отраслей (показатель «доля предприятий, использующих цифровые технологии для решения отдельных задач управления») (источник: разработано авторами на основе данных Росстата (сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг за 2024 год (итоги статистического наблюдения по ф. № 3-информ) [Электронный ресурс]. https://www.rosstat.gov.ru/statistics/science (дата обращения: 14.12.2025))*

Fig. 3. *Depth of Organizational and Business Model Change in High-Tech Industries (Indicator: "Share of Enterprises Using Digital Technologies to Solve Specific Management Tasks")*

Формирование цифровых компетенций. В фармацевтике сложился относительно сбалансированный, хотя и не лидирующий по отдельным показателям паттерн цифровых компетенций (рис. 4). Доля ИКТ-специалистов составляет 1,44 %, что находится на верхней границе среднего уровня (0,5–1,5 %), практически вплотную приближаясь к высокому уровню. Показатель существенно превышает средние значения по промышленности (1,01 %) и обрабатывающим производствам (0,96 %), в высокотехнологичном сегменте уступая лишь электронике. Доля операторов машин и оборудования, использующих цифровые технологии, составляет 3,29 %, что формально соответствует низкому уровню (менее 5 %), но при этом



Примечание: для доли ИКТ-специалистов: менее 0,5 % — низкий уровень, 0,5–1,5 % — средний уровень, более 1,5 % — высокий уровень; для доли операторов машин и оборудования, использующих цифровые технологии: менее 5 % — низкий уровень, 5–20 % — средний уровень, более 20 % — высокий уровень; для доли специалистов, использующих ИИ: менее 0,2 % — низкий уровень, 0,2–1,0 % — средний уровень, более 1,0 % — высокий уровень.

Рис. 4. *Внутренние цифровые компетенции высокотехнологичных отраслей (показатель «доля численности занятых, использующих цифровые технологии для решения определенных задач») (источник: разработано авторами на основе данных Росстата (сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг за 2024 год (итоги статистического наблюдения по ф. № 3-информ) [Электронный ресурс]. https://www.rosstat.gov.ru/statistics/science (дата обращения: 14.12.2025))*

Fig. 4. *Internal Digital Competencies of High-Tech Industries (Indicator: "Share of Employees Using Digital Technologies to Perform Specific Tasks")*

превышает средний по промышленности (2,53 %) и лишь незначительно уступает обрабатывающим производствам (3,44 %).

Наиболее яркой особенностью фармацевтики выступает высокое значение доли специалистов, использующих ИИ, составляет 0,52 %, что соответствует среднему уровню (0,2–1,0 %) и более чем вдвое превышает показатели электроники и авиакосмоса, а также средние по промышленности (0,21 %) и обрабатывающим производствам (0,23 %). За последние годы в фармацевтике искусственный интеллект стал ключевым инструментом для дизайна молекул, анализа клинических данных и оптимизации биохимических процессов.

4.2. Паттерн цифровой трансформации микроэлектронной отрасли

Сегодня электронная промышленность является основой технологического суверенитета страны, и от уровня ее цифрового развития зависят перспективы долгосрочного технологического лидерства. Ее значимость обусловлена тем, что электроника выступает базисом для развития всех без исключения современных технологий, начиная с искусственного интеллекта и систем связи и заканчивая обороноспособностью и космическими программами. Стратегическими

документами поставлена амбициозная задача — за ближайшие пять лет увеличить долю отечественной электронной продукции на внутреннем рынке до 70 %, при том, что по итогам прошлого года она уже достигла более 50 %. Документы стратегического планирования отводят цифровой трансформации ведущую роль, поскольку для отрасли это не просто автоматизация отдельных процессов, а создание сквозной цифровой среды, объединяющей проектирование (отечественные САПР), производство (роботизированные линии с цифровыми двойниками) и логистику сложных компонентов.

Технологическое ядро цифровой трансформации. Электроника реализует стратегию гибкой цифровой интеграции (см. рис. 2). Инфраструктурная стратегия здесь уникальна смещением в сторону облачных сервисов (23,3 %) при сохранении ЦОД (13,5 %), что отражает потребность в сверхмощных распределенных вычислениях, часто требующих коллаборации целого ряда предприятий и организаций. Стратегия сбора данных через RFID-метки — наиболее выраженная из всех высокотехнологичных производств (29,7 %). Это обусловлено крайней сложностью и миниатюризацией продуктов, требующих тотального контроля тысяч параметров на производственной линии в режиме реального времени. При этом технологии IoT применяются реже (11,9 %), чем в других высокотехнологичных отраслях.

Стратегия интеллектуальной обработки данных, несмотря на лидерство в сборе информации, пока не получила столь же мощного развития (большие данные — 10,4 %, ИИ — 4,1 %), что может указывать на временной лаг между внедрением сенсоров и построением полномасштабных систем предикативной аналитики. В области цифрового производства отрасль делает ставку на высокую автоматизацию (роботы — 16,4 %) и активное использование аддитивных технологий (25,4 %) для быстрого прототипирования и производства сложных компонентов, в то время как цифровые двойники (6,3 %) применяются в первую очередь для моделирования тепловых и электрических характеристик устройств.

Организационные изменения и глубина трансформации бизнес-процессов. В отрасли системы цифрового проектирования (71,9 %) достигают стадии полного насыщения, лишь незначительно уступая авиакосмосу (см. рис. 3). Это закономерно для отрасли, где проектирование микроэлектронных компонентов требует высочайшей точности и специализированного ПО. Системы управления ресурсами ERP (55,6 %) находятся на стадии широкого распространения, соответствующей высокой потребности в автоматизации учета в быстро меняющейся среде. Цифровое управление производственными процессами (39,2 %) находится на верхней границе стадии формирования стандартов, практически вплотную приближаясь к широкому распространению.

В электронике применение цифровых технологий в научных исследованиях достигло стадии формирования стандартов (30,2 %), заметно опережая авиакосмическую промышленность. CRM-системы (32,1 %), PLM / PDM-системы (35,0 %) и HRIS (38,5 %) также находятся в этой стадии, приближаясь к верхней границе.

При этом наблюдается достаточно низкое значение доли предприятий, использующих SCM-системы (18,5 %), что является особенностью отраслевого паттерна цифровой трансформации. Электронная промышленность характеризуется чрезвычайно высокой сложностью и разветвленностью цепочек поставок, которые часто носят глобальный характер и включают множество контрагентов из разных стран. Внедрение единых стандартизированных SCM-решений в таких условиях

требует не только внутренней готовности предприятий, но и синхронизации с поставщиками и партнерами, что технически и организационно крайне сложно.

Формирование цифровых компетенций. Электроника демонстрирует уникальный кадровый профиль с абсолютным лидерством по доле ИКТ-специалистов (см. рис. 4). Этот показатель составляет 2,59 %, что соответствует высокому уровню (более 1,5 %) и является наивысшим не только среди рассматриваемых отраслей, но и существенно превышает средние значения по промышленности (1,01 %) и обрабатывающим производствам (0,96 %). Это закономерно для отрасли, которая сама производит продукцию, являющуюся основой цифровых технологий, и где значительная часть занятых непосредственно вовлечена в разработку и сопровождение сложных программно-аппаратных комплексов.

Доля операторов машин и оборудования, использующих цифровые технологии, в электронике составляет 3,88 %, что соответствует среднему уровню (5–20 %). Частично это связано с высокой степенью автоматизации (до 40 % предприятий отрасли), где роль оператора снижается. Доля специалистов, использующих ИИ, в электронике (0,22 %) находится в среднем диапазоне значений. Это говорит о том, что, несмотря на высокую технологичность отрасли, массовое внедрение ИИ в электронике пока не стало приоритетом, уступая традиционным методам проектирования и контроля.

4.3. Паттерн цифровой трансформации авиакосмической отрасли

Системообразующим стратегическим документом выступает Комплексная программа развития авиационной отрасли Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства от 25 июня 2022 года № 1693-р и актуализированная в мае 2024 г.[1] с учетом новых вызовов, которая отводит цифровым решениям и сервисам целый раздел и ставит задачу «применять самые современные отечественные решения на базе сквозных цифровых технологий (искусственный интеллект, большие данные, Интернет вещей и биометрическая идентификация)».

Технологическое ядро цифровой трансформации. Стратегия формирования цифровой инфраструктуры в авиакосмической промышленности является наиболее гибридной среди рассматриваемых отраслей, с близкими значениями использования облаков (19,2 %) и ЦОД (26,0 %) (см. рис. 2). Стратегия внедрения технологий сбора первичных данных через RFID-технологии (28,9 %) и IoT (15,9 %) носит всеобъемлющий характер, охватывая не только производство, но и последующую эксплуатацию изделий (бортовые датчики, телеметрия), формируя основу для цифровых двойников летательных аппаратов на протяжении всего срока службы. При этом стратегия развития интеллектуальной обработки данных в авиакосмосе является сдержанной, потому что в отрасли с критическими требованиями к безопасности принятие окончательных решений остается за человеком, а алгоритмы ИИ выполняют лишь вспомогательную функцию.

Наиболее ярко отрасль авиакосмоса проявляется в сфере использования технологий для цифрового проектирования и производства: отрасль — абсолютный лидер по внедрению цифровых двойников (16,4 %), что является основой разработки

[1] Распоряжение Правительства от 25 июня 2022 года № 1693-р «Об утверждении Комплексной программы развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года» (ред. от 04.05.2024). [Электронный ресурс]. https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/404798711/ (дата обращения: 10.11.2025).

современных летательных аппаратов, и роботов (18,1 %) для сборки сложнейших конструкций, а также лидер по интенсивному внедрению аддитивных технологий (31,6 %) для производства легких и прочных компонентов со сложной геометрией.

Организационные изменения и глубина трансформации бизнес-процессов. В отрасли наблюдается выраженная специализация на цифровых инжиниринговых технологиях (см. рис. 3). Системы цифрового проектирования (CAD / CAE / CAM) используют 84,1 % предприятий, что соответствует стратегии полного насыщения (свыше 70 %). Системы управления жизненным циклом изделия PLM / PDM (58,7 %) находятся на стадии широкого распространения (40–70 %), что также является лучшим показателем среди отраслей.

Управление производственными процессами (40,1 %) лишь незначительно превышает нижнюю границу стадии широкого распространения, балансируя на границе с формированием стандартов. Системы управления персоналом HRIS (52,1 %) и планирования ресурсов ERP (61,0 %) также уверенно находятся на стадии широкого распространения. Системы CRM (20,7 %) и SCM (17,1 %) также находятся на стадии формирования стандартов, но их значения близки к нижней границе диапазона, что указывает на особенность отрасли, работающей преимущественно с государственными заказчиками в закрытых кооперационных цепочках.

Формирование цифровых компетенций. В производстве летательных аппаратов доля операторов машин и оборудования, использующих цифровые технологии, составляет 5,06 %, что соответствует среднему уровню (5–20 %) и является абсолютным максимумом среди всех рассматриваемых отраслей, а также существенно превышает средние показатели по промышленности (2,53 %) и обрабатывающим производствам (3,44 %). Это закономерно отражает высокую степень автоматизации и компьютеризации производственных процессов в авиастроении. Доля ИКТ-специалистов в авиакосмосе составляет 1,35 %, что соответствует среднему уровню (0,5–1,5 %). Низкая доля специалистов по ИИ (0,1 %) связана с отмеченным выше низким использованием данной технологии в отрасли.

4.4. Сопоставление отраслевых паттернов российских отраслей с мировым уровнем

Сопоставление представленных российских данных с мировыми показателями на том же уровне детализации сопряжено со значительными сложностями. Однако на основании регулярно публикуемых международных аналитических отчетов, таких как исследования McKinsey & Company, Всемирного экономического форума, IDC, PwC, а также отраслевых ассоциаций, представляется возможным провести качественное оценочное сравнение.

Российская фармацевтическая промышленность, демонстрирующая паттерн осторожного прагматизма, в глобальном контексте существует в иной парадигме. Мировая фармацевтика находится в фазе агрессивной цифровизации, где ведущие компании активно инвестируют в ИИ для дизайна новых лекарственных соединений, внедряют облачные платформы для управления клиническими исследованиями и используют блокчейн для обеспечения прослеживаемости цепочек поставок (Harrer et al., 2024).

Отрасль электроники и производства компонентов в России, следующая паттерну гибкой интеграции в части применения RFID-технологий, аддитивных технологий и роботизации, в целом коррелирует с мировыми стратегическими приоритетами. Мировая электроника представляет собой эталон цифровой трансформации,

где на ведущих предприятиях уровень роботизации и интеграции IoT на «умных фабриках» приближается к тотальному, а цифровые двойники и ИИ стали стандартными инструментами контроля качества продукции (Refai-Ahmed et al., 2024). Российский сектор демонстрирует верное стратегическое направление, однако разрыв существует в масштабе, полноте и глубине интеграции этих систем.

Авиакосмическая отрасль России, реализующая паттерн внедрения центров обработки данных, цифровых двойников, роботов и аддитивных технологий, в стратегическом плане развивается в русле общемировых трендов. Глобальный аэрокосмический сектор является пионером в области разработки сквозных цифровых двойников жизненного цикла изделий и аддитивного производства критичных компонентов (Stumpf, 2022). Российская отрасль, судя по данным, не только следует этим трендам, но и демонстрирует высокие темпы внедрения, что объясняется исключительной сложностью продукта и исторически высоким технологическим уровнем сектора.

В итоге качественное сравнение позволяет констатировать, что российские высокотехнологичные отрасли в целом движутся в том же стратегическом направлении, что и мировой рынок, адаптируя общие тренды цифровой трансформации к национальным приоритетам и регуляторной среде. Однако наблюдаются заметные различия в скорости диффузии, масштабе внедрения и, что наиболее существенно, в степени интеграции цифровых технологий в бизнес-модели и уровне цифровых компетенций.

5. Заключение

Проведенное исследование подтверждает исходную гипотезу о том, что цифровая трансформация промышленности не является универсальным процессом, а реализуется через устойчивые, воспроизводимые отраслевые паттерны, формирующиеся под влиянием специфики технологического базиса, регуляторной среды, структуры цепочек создания стоимости и накопленного кадрового потенциала. Предложенный авторами подход, основанный на трех ключевых характеристиках (технологическом ядре, глубине организационных изменений и уровне внутренних цифровых компетенций), позволяет перейти от традиционных рейтинговых сравнений к более содержательному анализу качественного своеобразия траекторий цифрового развития отдельных отраслей.

Апробация разработанной методики на примере трех высокотехнологичных отраслей российской промышленности показала, что при внешнем сходстве высокотехнологичного статуса каждая отрасль формирует уникальную конфигурацию цифровых приоритетов. Фармацевтика реализует «регуляторно-ориентированную» модель, где цифровая трансформация подчинена требованиям контроля качества и учета при опережающем развитии искусственного интеллекта в научных исследованиях. Именно через такую конфигурацию отрасль отвечает на вызовы обеспечения лекарственной безопасности и необходимость кардинального сокращения времени вывода новых препаратов на рынок.

Электроника демонстрирует «интеграционный» паттерн с фокусом на системы автоматизированного проектирования, облачную инфраструктуру и уникальный кадровый профиль с высокой долей ИКТ-специалистов. Эта модель представляет собой ответ на вызовы достижения технологического суверенитета в отрасли, выступающей критической ресурсной базой для всех остальных секторов

экономики. Авиакосмос воплощает «инжиниринговый» паттерн цифровой трансформации, где ключевыми становятся цифровое проектирование и управление жизненным циклом сложных изделий при сохранении решающей роли человека в принятии ответственных решений. Такая конфигурация дает возможность отрасли противостоять вызовам, связанным с необходимостью сохранения уникальных инженерных компетенций и обеспечения работоспособности наукоемких производств в условиях жестких санкционных ограничений.

Предложенная концепция отраслевых паттернов цифровой трансформации позволяет принципиально иначе подойти к определению стратегических приоритетов как на уровне государственной промышленной политики, так и на уровне корпоративного управления. Вместо традиционного подхода, ориентированного на достижение неких универсальных показателей цифровой зрелости или механическое тиражирование «лучших практик», зарекомендовавших себя в иных отраслевых контекстах, концепция паттернов предлагает рассматривать стратегию как тонкую настройку, исходящую из глубинной специфики самой отрасли.

Список источников

Авдеева, И. Л., Полянин, А. В., Головина, Т. А. (2019). Цифровизация промышленных экономических систем: проблемы и последствия современных технологий. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право, 19*(3), 238–245. https://doi.org/10.18500/1994-2540-2019-19-3-238-245

Акбердина, В. В. (2018). Трансформация промышленного комплекса России в условиях цифровизации экономики. *Известия Уральского государственного экономического университета, 19*(3), 82–99. https://doi.org/10.29141/2073-1019-2018-19-3-8

Аузан, А. А., Лепетиков, Я. Д., Ситкевич, Д. А. (2022). Колея и маятник: влияние ловушки предшествующего развития на динамику институциональных изменений. *Вопросы теоретической экономики,* (1(14)), 24–47. https://doi.org/10.52342/2587-7666vte_2022_1_24_47

Бабкин, А. В., Михайлов, П. А., Шкарупета, Е. В., Гаев, К. Б. (2024). Методика оценки цифровой зрелости промышленного предприятия и экосистемы на основе динамического коэволюционного потенциала. *π-Economy, 17*(4), 153–178. https://doi.org/10.18721/JE.17410

Бакеев, М. Б., Лола, И. С. (2020). Драйверы внедрения цифровых технологий в обрабатывающей промышленности России. *Информационное общество,* (5), 89–97.

Верников, А. В., Курышева, А. А. (2023). Не тот эффект назвали блокировкой… («исправление имен» в российском институционализме). *AlterEconomics, 20*(3), 485–504. https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2023.20-3.1

Вертакова, Ю. В., Клевцова, М. Г., Положенцева, Ю. С. (2018). Прогнозирование цифровой трансформации экономики на основе опережающих и сигнальных индикаторов. *Экономика и управление,* (11(157)), 47–56.

Грибков, А. А. (2023). Паттерны и примитивы эмпирико-метафизической общей теории систем. *Общество: философия, история, культура,* (5(109)), 15–22. https://doi.org/10.24158/fik.2023.5.1

Дубровская, Ю. В., Тарасова, Ю. В. (2020). Количественная оценка цифровой трансформации обрабатывающей промышленности региональных центров РФ: бенчмаркинговый подход. *Современный город: власть, управление, экономика, 1,* 245–249.

Ершов, П. С., Катин, А. В., Малахов, В. А., Паджев, В. В., Хохлов, Ю. Е., Шапошник, С. Б., Янышен, А. А. (2024). Оценка уровня цифрового развития отдельных сфер деятельности в Российской Федерации: Пилотный рейтинг. *Информационное общество,* (DIGITAL), 2–20.

Илькевич, С. В. (2022). Стратегия цифровой трансформации промышленных предприятий: эффекты внедрения технологий умного производства. *Стратегические решения и риск-менеджмент, 13*(3), 210–225. https://doi.org/10.17747/2618-947X-2022-3-210-225

Истомина, Е. А. (2018). Оценка трендов цифровизации в промышленности. *Вестник Челябинского государственного университета,* (12(422)), 108–116. https://doi.org/10.24411/1994-2796-2018-11212

Калиниченко, М. П. (2021). Моделирование «цифрового» фактора в промышленности России. *Экономическое развитие России, 28* (6), 39–45.

Килимова, А. Д. (2022). Трансформация производств легкой промышленности в связи с переходом к цифровой экономике. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 24* (2(106)), 42–47. https://doi.org/10.37313/1990-5378-2022-24-2-42-47

Кравченко, А. А. (2025). Эволюция технологии цифровых двойников на кривой Гартнер за период 2016–2024 гг. *Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал, 17* (2), 88–110.

Краковская, И. Н., Корокошко, Ю. В., Слушкина, Ю. Ю. (2023). Российская практика государственного регулирования цифровой трансформации промышленности. *π-Economy, 16* (1), 21–38. https://doi.org/10.18721/JE.16102

Лавренко, Е. В., Мечикова, М. Н. (2022). Цифровая трансформация промышленности: российский и зарубежный опыт. *Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий, 11* (1), 47–52. https://doi.org/10.24412/2225-8264-2022-1-47-52

Лола, И. С., Бакеев, М. Б. (2019). Цифровая трансформация в отраслях обрабатывающей промышленности России: результаты конъюнктурных обследований. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, 35* (4), 628–657. https://doi.org/10.21638/spbu05.2019.407

Маркин, М. И. (2025). Цифровая трансформация промышленных предприятий: экономический аспект. *Теоретическая экономика,* (9(129)), 80–93. https://doi.org/10.52957/2221-3260-2025-9-80-93

Мыльник, А. В., Голов, Г. Р. (2025). Применение облачных технологий для управления данными в промышленности: обзор ключевых функций и возможностей. *Научные труды Вольного экономического общества России, 251* (1), 172–190. https://doi.org/10.38197/2072-2060-2025-251-1-172-190

Найм, У. А. М., Ермаков, Д. Н., Мельников, В. М., Казенков, О. Ю. (2022). Перспективы применения аддитивных технологий в России в отраслевом ракурсе (на примере авиационной промышленности). *Computational Nanotechnology, 9* (2), 56–66. https://doi.org/10.33693/2313-223X-2022-9-2-56-66

Попов, Е. В., Семячков, К. А. (2017). Оценка готовности отраслей РФ к формированию цифровой экономики. *Инновации,* (4(222)), 37–41.

Потапцева, Е. В., Брянцева, О. С. (2025). Промышленная роботизация в России: методологические подходы к статистическому измерению. *Вопросы статистики, 32* (4), 5–20. https://doi.org/10.34023/2313-6383-2025-32-4-5-20

Пургаева, И. А., Некрасова, Т. А., Наролина, Т. С., Смотрова, Т. И. (2023). Цифровая трансформация промышленности: проблемы и перспективы. *Современная экономика: проблемы и решения,* (1(157)), 34–49. https://doi.org/10.17308/meps/2078-9017/2023/1/34-49

Смирнов, П. А., Артеменко, А. К., Морозов, Р. И. (2021). Цифровая трансформация в автомобильной промышленности. *Образование. Наука. Производство* (с. 1204–1208).

Трубин, А. Е., Чевычелов, С. Н., Анисимов, А. Ю. (2025). Анализ проблем и возможностей перехода отечественных предприятий от импортозамещения к импортоопережению бизнес-приложений в ИТ-сфере в условиях цифровой трансформации. *Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика, 27* (1), 81–96. https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2025.1.7

Хоменко, Е. Б., Ватутина, Л. А., Злобина, Е. Ю. (2022). Современные тенденции цифровой трансформации промышленных предприятий. *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право, 32* (4), 676–682. https://doi.org/10.35634/2412-9593-2022-32-4-676-682

Шекшня, С. В., Кравченко, К. А. (2024). Пять уроков цифровой трансформации от CEO крупных компаний. *Российский журнал менеджмента, 22* (3), 602–620. https://doi.org/10.21638/spbu18.2024.310

Akberdina, V. V. (2018). Digitalization of industrial markets: Regional characteristics. *Upravlenets [The Manager], 9* (6), 78–87. https://doi.org/10.29141/2218-5003-2018-9-6-8

Akberdina, V. V. (2023). Efficiency of digital transition in industry: Russian experience. *Intellekt. Innovacii. Investicii [Intellect. Innovations. Investments], 1,* 10–18. https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-1-10

Aldoseri, A., Al-Khalifa, K. N., & Hamouda, A. M. (2024). AI-powered innovation in digital transformation: Key pillars and industry impact. *Sustainability, 16* (5), 1790. https://doi.org/10.3390/su16051790

Bandyopadhyay, D., & Sen, J. (2011). Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications, 58* (1), 49–69. https://doi.org/10.1007/s11277-011-0288-5

Berman, S. J. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. *Strategy & Leadership, 40* (2), 16–24. https://doi.org/10.1108/10878571211209314

Bucherer, E., & Uckelmann, D. (2011). Business models for the Internet of Things. In D. Uckelmann, M. Harrison, F. Michahelles (Eds.), *Architecting the internet of things* (pp. 253–277). Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19157-2_10

Buck, C., Clarke, J., De Oliveira, R. T., Desouza, K. C., & Maroufkhani, P. (2023). Digital transformation in asset-intensive organisations: The light and the dark side. *Journal of Innovation & Knowledge, 8* (2), 100335. https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100335

Dennett, D. C. (1991). Real patterns. *The Journal of Philosophy, 88* (1), 27–51. https://doi.org/10.2307/2027085

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics, 210,* 15–26. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tseng, M. L., Nikbin, D., & Khanfar, A. A. (2025). Industry 4.0 digital transformation and opportunities for supply chain resilience: A comprehensive review and a strategic roadmap. *Production Planning & Control, 36* (1), 61–91. https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2252376

Ghosh, S., Hughes, M., Hodgkinson, I., & Hughes, P. (2022). Digital transformation of industrial businesses: A dynamic capability approach. *Technovation, 113,* 102414. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102414

Harrer, S., Menard, J., Rivers, M., Green, D. V., Karpiak, J., Jeliazkov, J. R., Shapovalov, M. V., del Alamo, D., & Sternke, M. C. (2024). Artificial intelligence drives the digital transformation of pharma. In *Artificial intelligence in clinical practice* (pp. 345–372). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15688-5.00049-8

Jackson, N. C., Corpakis, D., & Steiber, A. (2022). Sociological traditions as a complementary lens to better understand digital transformation policies. *Digital Policy, Regulation and Governance, 24* (1), 30–51. https://doi.org/10.1108/DPRG-02-2021-0039

Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing — The business perspective. *Decision Support Systems, 51* (1), 176–189. https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.12.006

Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. *Business & Information Systems Engineering, 57* (5), 339–343. https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5

Refai-Ahmed, G., Zhirnov, V. V., Park, S. B., Helmy, A. S., Sammakia, B., Ghose, K., Ang, J. A., Bonilla, G., Mahdi, T., Wieser, J., & Ramalingam, S. (2024, December). New Roadmap for Microelectronics: Charting the Semiconductor Industry's Path Over the Next 5, 10, and 20 Years. In *2024 IEEE 26th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)* (pp. 1260–1266). IEEE. https://doi.org/10.1109/EPTC62800.2024.10909778

Rêgo, B. S., Jayantilal, S., Ferreira, J. J., & Carayannis, E. G. (2022). Digital transformation and strategic management: A systematic review of the literature. *Journal of the Knowledge Economy, 13* (4), 3195–3222. https://doi.org/10.1007/s13132-021-00853-3

Shin, W. S., Lee, Y. S., & Dahlgaard, J. J. (2019). A pattern-based decision framework in the era of Industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence, 30* (sup1), S158–S181. https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1665840

Stumpf, E. (2022). The industry 4.0-concept within aerospace. In W. Frenz, (Ed.), *Handbook Industry 4.0: Law, Technology, Society* (pp. 643–658). https://doi.org/10.1007/978-3-662-64448-5_33

Ting, C., Kuen, C. M., Chung-Min, W., & Yu, W. (2022). Assessing the digital transformation maturity of motherboard industry: A fuzzy AHP approach. *BOHR International Journal of Finance and Market Research, 1* (1), 72–86. https://doi.org/10.54646/bijfmr.2022.12

Toussaint, E. R., & Toussaint, G. T. (2014). What is a Pattern? *Proceedings of Bridges,* 293–300.

Westerman, G., Tannou, M., Bonnet, D., Ferraris, P., & McAfee, A. (2012). The digital advantage: How digital leaders outperform their peers in every industry. *MITSloan Management and Capgemini Consulting, MA, 2,* 2–23.

Yaqub, M. Z., & Alsabban, A. (2023). Industry-4.0-enabled digital transformation: Prospects, instruments, challenges, and implications for business strategies. *Sustainability, 15* (11), 8553. https://doi.org/10.3390/su15118553

References

Akberdina, V. V. (2018). Digitalization of industrial markets: Regional characteristics. *Upravlenets [The Manager], 9* (6), 78–87. https://doi.org/10.29141/2218-5003-2018-9-6-8

Akberdina, V. V. (2018). The transformation of the Russian industrial complex under digitalisation. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Journal of the Ural State University of Economics], 19* (3), 82–99. https://doi.org/10.29141/2073-1019-2018-19-3-8 (In Russ.)

Akberdina, V. V. (2023). Efficiency of digital transition in industry: Russian experience. *Intellekt. Innovacii. Investicii [Intellect. Innovations. Investments], 1,* 10–18. https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-1-10

Aldoseri, A., Al-Khalifa, K. N., & Hamouda, A. M. (2024). AI-powered innovation in digital transformation: Key pillars and industry impact. *Sustainability, 16* (5), 1790. https://doi.org/10.3390/su16051790

Auzan, A., Lepetikov, Ya., & Sitkevich, D. (2022). Track and pendulum: impact of the past dependence problem on the dynamics of institutional change. *Voprosy teoreticheskoy ekonomiki [Issues of Economic Theory],* (1(14)), 24–47. https://doi.org/10.52342/2587-7666vte_2022_1_24_47 (In Russ.)

Avdeeva, I. L., Polyanin, A. V., & Golovina, T. A. (2019). Industrial Economic Systems' Digitalization: Problems and Consequences of Modern Technologies. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravleniye. Pravo [Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law], 19* (3), 238–245. https://doi.org/10.18500/1994-2540-2019-19-3-238-245 (In Russ.)

Babkin, A. V., Mikhailov, P. A., Shkarupeta, E. V., & Gaev, K. B. (2024). Methodology for assessing the digital maturity of an industrial enterprise and ecosystem based on dynamic coevolutionary potential. *π-Economy, 17* (4), 153–178. https://doi.org/10.18721/JE.17410 (In Russ.)

Bakeev, M. B., & Lola, I. S. (2020). Drivers for the implementation of digital technologies in the manufacturing industry of Russia. *Informatsionnoye obshchestvo [Information Society],* (5), 89–97. (In Russ.)

Bandyopadhyay, D., & Sen, J. (2011). Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications, 58* (1), 49–69. https://doi.org/10.1007/s11277-011-0288-5

Berman, S. J. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. *Strategy & Leadership, 40* (2), 16–24. https://doi.org/10.1108/10878571211209314

Bucherer, E., & Uckelmann, D. (2011). Business models for the Internet of Things. In D. Uckelmann, M. Harrison, F. Michahelles (Eds.), *Architecting the internet of things* (pp. 253–277). Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19157-2_10

Buck, C., Clarke, J., De Oliveira, R. T., Desouza, K. C., & Maroufkhani, P. (2023). Digital transformation in asset-intensive organisations: The light and the dark side. *Journal of Innovation & Knowledge, 8* (2), 100335. https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100335

Dennett, D. C. (1991). Real patterns. *The Journal of Philosophy, 88* (1), 27–51. https://doi.org/10.2307/2027085

Dubrovskaya, J. V., & Tarasova, Yu. V. (2020). Quantitative assessment of the digital transformation of the manufacturing industry in regional centers of the Russian Federation: A benchmarking ap-

proach. *Sovremennyy gorod: vlast', upravleniye, ekonomika [Modern City: Power, Management, Economics], 1,* 245–249. (In Russ.)

Ershov, P. S., Katin, A. V., Malahov, V. A., Padzhev, V. V., Hohlov, Yu. E., Shaposhnik, S. B., & Yanyshen, A. A. (2024). Digital development in Russia: A pilot sectoral assessment. *Informatsionnoye obshchestvo [Information Society],* (DIGITAL), 2–20. (In Russ.)

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics, 210,* 15–26. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tseng, M. L., Nikbin, D., & Khanfar, A. A. (2025). Industry 4.0 digital transformation and opportunities for supply chain resilience: A comprehensive review and a strategic roadmap. *Production Planning & Control, 36* (1), 61–91. https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2252376

Ghosh, S., Hughes, M., Hodgkinson, I., & Hughes, P. (2022). Digital transformation of industrial businesses: A dynamic capability approach. *Technovation, 113,* 102414. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102414

Gribkov, A. A. (2023). Patterns and primitives of the empirical-metaphysical general systems theory. *Obshchestvo: filosofiya, istoriya, kul'tura [Society: Philosophy, History, Culture],* (5(109)), 15–22. https://doi.org/10.24158/fik.2023.5.1 (In Russ.)

Harrer, S., Menard, J., Rivers, M., Green, D. V., Karpiak, J., Jeliazkov, J. R., Shapovalov, M. V., del Alamo, D., & Sternke, M. C. (2024). Artificial intelligence drives the digital transformation of pharma. In *Artificial intelligence in clinical practice* (pp. 345–372). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15688-5.00049-8

Ilkevich, S. V. (2022). Strategy of digital transformation of industrial enterprises: The effects of the introduction of smart manufacturing technologies. *Strategicheskiye resheniya i risk-menedzhment [Strategic decisions and risk management], 13* (3), 210–225. https://doi.org/10.17747/2618-947X-2022-3-210-225 (In Russ.)

Istomina, E. A. (2018). Methodology assessment of trends in the digital economy of industry. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Chelyabinsk State University],* (12(422)), 108–116. https://doi.org/10.24411/1994-2796-2018-11212 (In Russ.)

Jackson, N. C., Corpakis, D., & Steiber, A. (2022). Sociological traditions as a complementary lens to better understand digital transformation policies. *Digital Policy, Regulation and Governance, 24* (1), 30–51. https://doi.org/10.1108/DPRG-02-2021-0039

Kalinychenko, M. P. (2021). Modeling the "digital" factor in the Russian industry. *Ekonomicheskoye razvitiye Rossii [Russian Economic Development], 28* (6), 39–45. (In Russ.)

Khomenko, E. B., Vatutina, L. A., & Zlobina, E. Yu. (2022). Modern trends in digital transformation of industrial enterprises. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Ekonomika i parvo [Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law], 32* (4), 676–682. https://doi.org/10.35634/2412-9593-2022-32-4-676-682 (In Russ.)

Kilimova, A. D. (2022). Transformation of light industry production in connection with the transition to the digital economy. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 24* (2(106)), 42–47. https://doi.org/10.37313/1990-5378-2022-24-2-42-47 (In Russ.)

Krakovskaia, I. N., Korokoshko, Yu. V., & Slushkina, Yu. Yu. (2023). Russian practice of state regulation in digital transformation of industry. *π-Economy, 16* (1), 21–38. https://doi.org/10.18721/JE.16102 (In Russ.)

Kravchenko, A. A. (2025). The Evolution of Digital Twin Technology on Gartner Cycle for the Period 2016–2024. *Nauchnyye issledovaniya ekonomicheskogo fakul'teta. Elektronnyy zhurnal [Scientific Research of Faculty of Economics. Electronic Journal], 17* (2), 88–110. (In Russ.)

Lavrenko, E. V., & Mechikova, M. N. (2022). Digital transformation of industry: Russian and foreign experience. *Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informatsionnykh tekhnologiy [Herald of Siberian Institute of Business and Information Technologies], 11* (1), 47–52. https://doi.org/10.24412/2225-8264-2022-1-47-52 (In Russ.)

Lola, I. S., & Bakeev, M. B. (2019). Digital Transformation in the Manufacturing Industries of Russia: An Analysis of the Business Tendencies Observations Results. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika [St Petersburg University Journal of Economic Studies], 35*(4), 628–657. https://doi.org/10.21638/spbu05.2019.407 (In Russ.)

Markin, M. I. (2025). Digital transformation of industrial enterprises: the economic aspect. *Teoreticheskaya ekonomika [Theoretical Economics],* (9(129)), 80–93. https://doi.org/10.52957/2221-3260-2025-9-80-93 (In Russ.)

Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing — The business perspective. *Decision Support Systems, 51*(1), 176–189. https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.12.006

Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. *Business & Information Systems Engineering, 57*(5), 339–343. https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5

Mylnik, A. V., & Golov, G. R. (2025). Applying cloud technology for industrial data management: an overview of key features and capabilities. *Nauchnyye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii [Scientific Works of the Free Economic Society of Russia], 251*(1), 172–190. https://doi.org/10.38197/2072-2060-2025-251-1-172-190 (In Russ.)

Naim, U. A. M., Ermakov, D. N., Melnikov, V. M., & Kazenkov, O. Yu. (2022). Prospects for the Application of Additive Technologies in Russia from an Industry Perspective (on the Example of the Aviation Industry). *Computational Nanotechnology, 9*(2), 56-66. https://doi.org/10.33693/2313-223X-2022-9-2-56-66 (In Russ.)

Popov, E. V., & Semyachkov, K. A. (2017). An assessment of readiness of the branches of Russian Federation for formation of digital economy. *Innovatsii [Innovations],* (4(222)), 37–41. (In Russ.)

Potaptseva, E. V., & Bryantseva, O. S. (2025). Industrial Robotization in Russia: Methodological Approaches to Statistical Measurement. *Voprosy statistiki, 32*(4), 5–20. https://doi.org/10.34023/2313-6383-2025-32-4-5-20 (In Russ.)

Purgaeva, I. A., Nekrasova, T. A., Narolina, T. S., & Smotrova, T. I. (2023). Digital transformation of industry: problems and prospects. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya [Modern Economics: Problems and Solutions],* (1(157)), 34–49. https://doi.org/10.17308/meps/2078-9017/2023/1/34-49 (In Russ.)

Refai-Ahmed, G., Zhirnov, V. V., Park, S. B., Helmy, A. S., Sammakia, B., Ghose, K., Ang, J. A., Bonilla, G., Mahdi, T., Wieser, J., & Ramalingam, S. (2024, December). New Roadmap for Microelectronics: Charting the Semiconductor Industry's Path Over the Next 5, 10, and 20 Years. In *2024 IEEE 26th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)* (pp. 1260–1266). IEEE. https://doi.org/10.1109/EPTC62800.2024.10909778

Rêgo, B. S., Jayantilal, S., Ferreira, J. J., & Carayannis, E. G. (2022). Digital transformation and strategic management: A systematic review of the literature. *Journal of the Knowledge Economy, 13*(4), 3195–3222. https://doi.org/10.1007/s13132-021-00853-3

Shekshnya, S. V., & Kravchenko, K. A. (2024). Five lessons about digital transformation from the CEOs of large companies. *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta [Russian Management Journal], 22*(3), 602–620. https://doi.org/10.21638/spbu18.2024.310 (In Russ.)

Shin, W. S., Lee, Y. S., & Dahlgaard, J. J. (2019). A pattern-based decision framework in the era of Industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence, 30*(sup1), S158–S181. https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1665840

Smirnov, P. A., Artemenko, A. K., & Morozov, R. I. (2021). Digital transformation in the automotive industry. *Obrazovaniye. Nauka. Proizvodstvo [Education. Science. Production]* (pp. 1204–1208). (In Russ.)

Stumpf, E. (2022). The industry 4.0-concept within aerospace. In W. Frenz, (Ed.), *Handbook Industry 4.0: Law, Technology, Society* (pp. 643–658). https://doi.org/10.1007/978-3-662-64448-5_33

Ting, C., Kuen, C. M., Chung-Min, W., & Yu, W. (2022). Assessing the digital transformation maturity of motherboard industry: A fuzzy AHP approach. *BOHR International Journal of Finance and Market Research, 1*(1), 72–86. https://doi.org/10.54646/bijfmr.2022.12

Toussaint, E. R., & Toussaint, G. T. (2014). What is a Pattern? *Proceedings of Bridges,* 293–300.

Trubin, A. E., Chevychelov, S. N., & Anisimov, A. Yu. (2025). Analysis of problems and opportunities of the transition of domestic enterprises from import substitution to proactive import substitution of IT business applications in the context of digital transformation. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika [Journal of Volgograd State University. Economics], 27*(1), 81–96. https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2025.1.7 (In Russ.)

Vernikov, A. V., & Kurysheva, A. A. (2023). Lock-in vs. Institutional Blockage: Lost in Translation. *AlterEconomics, 20*(3), 485–504. https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2023.20-3.1 (In Russ.)

Vertakova, Yu. V., Klevtsova, M. G., & Polozhentseva, Yu. S. (2018). Forecasting Digital Transformation of the Economy Based on Leading and Alert Indicators. *Ekonomika i upravleniye [Economics and Management],* (11(157)), 47–56. (In Russ.)

Westerman, G., Tannou, M., Bonnet, D., Ferraris, P., & McAfee, A. (2012). The digital advantage: How digital leaders outperform their peers in every industry. *MITSloan Management and Capgemini Consulting, MA, 2,* 2–23.

Yaqub, M. Z., & Alsabban, A. (2023). Industry-4.0-enabled digital transformation: Prospects, instruments, challenges, and implications for business strategies. *Sustainability, 15*(11), 8553. https://doi.org/10.3390/su15118553

Информация об авторах

Акбердина Виктория Викторовна — доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН, зав. отделом, Институт экономики УрО РАН; https://orcid.org/0000-0002-6463-4008 (Российская Федерация, 620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, д. 29; e-mail: akberdina.vv@uiec.ru).

Барыбина Анна Зинуровна — младший научный сотрудник, Институт экономики УрО РАН; https://orcid.org/0000-0003-3851-6064 (Российская Федерация, 620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, д. 29; e-mail: barybina.az@uiec.ru).

About the authors

Victoria V. Akberdina — Dr. Sci. (Econ.), Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Head of Department, Institute of Economics of the Ural Branch of RAS; https://orcid.org/0000-0002-6463-4008 (29, Moskovskaya St., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation; e-mail: akberdina.vv@uiec.ru).

Anna Z. Barybina — Junior Research Associate, Institute of Economics of the Ural Branch of RAS; https://orcid.org/0000-0003-3851-6064 (29, Moskovskaya St., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation; e-mail: barybina.az@uiec.ru).

Дата поступления рукописи: 24.12.2025.
Прошла рецензирование: 16.01.2026.
Принято решение о публикации: 10.02.2026.
Received: 24 Dec 2025.
Reviewed: 16 Jan 2026.
Accepted: 10 Feb 2026.