



## Цифровая трансформация машиностроения России в контексте четвертой промышленной революции

Афанасьев А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт экономики РАН, Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ:

Настоящая статья посвящена анализу перспектив разворачивания процессов четвертой промышленной революции в машиностроении России и мер осуществляемой в данном направлении политики. В этой связи автором характеризуются отличительные черты машиностроительного производства, предопределяющие перечень оптимизационных задач и набор используемых решений. Далее проводится анализ состояния мировых рынков выделенных технологических направлений, делается вывод о несоответствии доли, занимаемой Россией на них, состоянию технологического паритета. В продолжение приводится действующий перечень нормативных документов, основных векторов и ключевых мер реализуемой политики цифровой трансформации промышленности. Отмечается, что текущими планами предусмотрено завершение в 2024 году большинства подготовительных инициатив с дальнейшим переходом к ускорению процессов цифровизации с опорой на полученные ранее результаты, что должно обеспечить к 2030 году реализацию национальной цели «Цифровая трансформация». Формулируется тезис о необходимости достижения технологического суверенитета в рассматриваемой сфере.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** цифровизация, цифровая трансформация, цифровизация промышленности, машиностроение, цифровая трансформация машиностроения, четвертая промышленная революция, индустрия 4.0

### The digital transformation of Russian mechanical engineering in the context of the Fourth Industrial Revolution

Afanasev A.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Economics, Russian Academy of Sciences (RAS), Russia

### Введение

В результате появления с середины XX века новых технических средств и принципиально иных возможностей работы с информацией, представленной в формате цифрового кода, автоматизация становится магистральным направлением научно-технического прогресса [1, с. 2549] (Afanasev, 2023, p. 2549). Начавшееся с 1960-х годов внедрение в производство вычислительных машин и устройств ЧПУ, промышленных роботов и разнообразных средств управления в 1980-х годах существенно ускорилось. Эти процессы наиболее интенсивно протекали в машиностроении, на которое в нашей стране в тот период приходилось

порядка 70% совокупных затрат на автоматизацию [2, с. 158] (*Bokarev, 2007, p. 158*). Их дальнейшие перспективы увязывались с одновременным охватом производственных и управленческих процессов, информационных потоков и реальных объектов. Эти положения нашли свое воплощение в концепциях гибких производственных систем (ГПС), компьютерно-интегрированного производства (КИП), интегрированного машиностроительного автоматизированного производства (ИМАП) и т.д. [3, с. 23; 4, с. 32] (*Pozdnev, Ovchinnikov, Levchenko, Sharovатов, Babenko, 2019, p. 23; Karmishin, Makarov, Lukina, 2022, p. 32*).

Реализуемая в нашей стране масштабная техническая модернизация производств, позднее – во второй половине 1980-х годов – замедлилась и была практически остановлена в период рыночной трансформации в контексте нарастания деструктивных процессов в отечественной экономике. Так, если в 1970 году коэффициент обновления основных фондов предприятий в машиностроении и металлообработке составлял 12,7%, то к 1985 году произошло его снижение до 6,6%, а в 1993 году – до 1% с дальнейшим падением до 0,4% в 1998 году [5, с. 2177] (*Afanasev, 2023, p. 2177*). Позднее темпы обновления стали восстанавливаться, однако так и не достигли прежних уровней.

#### ABSTRACT:

This article is devoted to the analysis of the prospects of the Fourth Industrial Revolution in mechanical engineering in Russia and the measures of the policy implemented in this direction. In this regard, the author characterizes the distinctive features of machine-building production, which predetermine the list of optimization tasks and the set of solutions used. Next, an analysis of the situation in the world markets of the selected technological areas is carried out; and the conclusion about the discrepancy between the Russia's share and technological parity is drawn. The current list of regulatory documents, the main vectors and key measures of the implemented policy of digital transformation of industry are discussed. It is noted that current plans provide for the completion in 2024 of most preparatory initiatives with a further transition to accelerating digitalization processes based on previously obtained results, which should ensure the implementation of the national goal of digital transformation by 2030. The thesis on the need to achieve technological sovereignty in the field under consideration is formulated.

**KEYWORDS:** digitalization, digital transformation, industry digitalization, mechanical engineering, mechanical engineering digital transformation, Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0

JEL Classification: L51, L52, O25

Received: 25.12.2023 / Published: 31.03.2024

© Author(s) / Publication: PRIMEC Publishers  
For correspondence: Afanasev A.A. (piran@bk.ru)

#### CITATION:

Afanasev A.A. [2024] Tsifrovaya transformatsiya mashinostroeniya Rossii v kontekste chetvertoy promyshlennoy revolyutsii [The digital transformation of Russian mechanical engineering in the context of the Fourth Industrial Revolution]. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki*. 14. (1). – 221–240. doi: 10.18334/vinec. 14.1.120242

В то же время в ведущих индустриальных странах мира модернизационные процессы не приостанавливались, и перевооружение производств в большей мере следовало за актуальными достижениями научно-технического прогресса.

Основными тенденциями развития последних десятилетий стало значительное наращивание вычислительных мощностей, внедрение интернет-технологий и облачных вычислений, совершенствование информационных систем и расширение автоматизации процессов управления. За десятилетия применения цифровых технологий и распространения автоматизированных систем управления они стали неотъемлемой частью передовых производств. В результате объединения физических и виртуальных систем, интеграции вычислений и физических процессов происходило становление нового формата производств – киберфизических производственных систем (КПФС) [6, с. 9–10].

С 2010-х годов перспективы развития увязываются с применением технологий искусственного интеллекта, обработки больших данных, цифровых двойников, индустриального интернета вещей и т.д., формирующих основу грядущей цифровой трансформации. Этот аспект еще в 2011 году был подчеркнут правительством Германии, обозначившим готовность немецкой промышленности к переходу на новые организационные принципы, отраженные в стратегии промышленного развития – Industrie 4.0.

Цифровая трансформация увязывается с обретением производствами самоорганизующейся функции, т.е. переходом к так называемым умным заводам [7, с. 35] (*Pozdneev et al., 2021, p. 35*), а также возможностей к сетевому взаимодействию физических и виртуальных компонент вне рамок отдельного предприятия. В этой связи известный немецкий экономист Клаус Шваб отмечал, что «распространяя технологию «умных заводов», четвертая промышленная революция создает мир, в котором виртуальные и физические системы производства гибко взаимодействуют между собой на глобальном уровне» [8, с. 12] (*Shwab, 2016, p. 12*).

Основой «умных заводов» должно стать начатое более полувека назад комплексное развитие специализированных технически гибких производств и цифровых технологий. Ожидается, что предстоящие изменения коснутся, прежде всего, виртуальной компоненты и потребуют частичной (40–50%) модернизации технической базы. Однако это верно только для тех стран, которые осуществили ее существенное обновление (порядка 80–90%) на текущем этапе автоматизации [9, с. 89].

#### **ОБ АВТОРЕ:**

**Афанасьев Александр Анатольевич**, старший научный сотрудник Центра инновационной экономики и промышленной политики (piran@bk.ru)

#### **ЦИТИРОВАТЬ СТАТЬЮ:**

Афанасьев А.А. Цифровая трансформация машиностроения России в контексте четвертой промышленной революции // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Том 14. – № 1. – С. 221–240. doi: 10.18334/vines. 14.1.120242

Что касается развития модернизационных процессов в нашей стране, то последние десятилетия они протекали умеренно и преимущественно с опорой на зарубежные решения. В контексте изменившихся после событий 2022 года геэкономических реалий представляется актуальной ревизия их состояния в отечественном машиностроении, а также оценка перспектив цифровой трансформации в отрасли, характеристика мер реализуемой политики.

В свете вышеизложенного, а также с учетом научных интересов автора *объектом исследования* в данной статье избрана цифровизация в машиностроении России, а *предметом исследования* стала политика по цифровой трансформации в отрасли.

Таким образом, *цель статьи* заключается в характеристике мер реализуемой политики цифровой трансформации в отечественном машиностроении.

*Авторская гипотеза* состоит в том, что в контексте развертывания процессов четвертой промышленной революции и санкционных ограничений доступа к передовым цифровым технологиям перспективы цифровой трансформации в российском машиностроении определяются, прежде всего, наличием отечественных технологических решений, создание которых становится центральной задачей реализуемой на данном этапе политики.

Следует отметить, что результаты исследований проблем влияния цифровых технологий на развитие промышленности были отражены в многочисленных научных трудах, среди которых представляется возможным отметить работы В.В. Акбердиной [10] (*Akberdina, Ryankova, 2021*), В.Е. Дементьева [11] (*Dementev, 2019*), Е.В. Шкарупеты [12] (*Shkarupeta, 2023*) и др.

## Машиностроительное производство как ареал цифровизации

Выбор средств, решений и оптимизационных задач совершенствования машиностроительного производства посредством использования цифровых технологий в значительной мере обусловлен специфическими чертами и особенностями самих производств. В этой связи представляется необходимым кратко остановиться на отличительных характеристиках последних.

Машиностроение представляет собой комплекс отраслей, специализирующихся на выпуске технически сложных товаров потребления и средств производства, транспорта, а также вооружения и военной техники. В отрасли в основном представлен дискретный тип производства, а составной характер выпускаемой продукции предопределяет способ ее изготовления – обработку и последующую сборку из узлов и агрегатов, так называемых деталей и сборочных единиц (ДСЕ), состав которых определяется особенностями функционального предназначения готового изделия, его принципом действия, ожидаемыми параметрами и технологией производства, а количество ДСЕ может измеряться тысячами.

Высокая степень автоматизации и ее эффективность в машиностроении обоснованы как сложностью самих технологических операций и высокими требованиями

к ним (например, к точности), так и их многочисленностью, широкой кооперацией, потребностью в тщательном планировании вовлекаемых ресурсов, необходимостью масштабной координации, спецификой стоящих задач.

Современное машиностроительное производство характеризуется частой сменяемостью производимых изделий, наличием широкого спектра вариантов модификаций в рамках продуктовых линий. Наблюдается тенденция ухода от крупной серии к мелкосерийному и позаказному производству с адаптацией изделия под задачи заказчика. При этом требования к производительности в условиях мелко- и средне-серийного производства приближаются к параметрам поточного способа его организации. Основными направлениями к разрешению этого противоречия стало развитие гибкости производств и снижение сроков разработки и проектирования изделий [13, с. 1432] (*Afanasev, 2023, p. 1432*).

Еще одна отраслевая особенность связана с высоким уровнем сложности некоторых видов изготавливаемой продукции, задействованием в ее создании большого числа кооперационных связей между различными предприятиями отрасли. Так, после получения от поставщиков исходных деталей и полуфабрикатов (например, отливок, подшипников, электродвигателей, специального оборудования, крепежа и др.) в цехах машиностроительного предприятия осуществляются различные виды их обработки (механическая, термическая и т.д.), сборка, необходимый контроль и др., после чего полученные изделия отправляются на следующее предприятие производственной цепи, таким образом повышая степень готовности вплоть до выпуска конечной продукции. Экосистемы крупных машиностроительных компаний включают тысячи поставщиков и контрагентов [14, с. 293] (*Korovkin, Kuznetsova, 2020, p. 293*).

Как уже было отмечено, важное значение в машиностроительном производстве имеет процесс разработки и проектирования изделия. На этом этапе закладываются будущие его функциональные характеристики, а также определяется способ его производства – последовательность технологических операций, предопределяющая состав участников последующих межцеховых и кооперационных связей.

В этой связи перспективы развития машиностроительных производств еще более 30 лет назад сопрягались с концепцией непрерывной информационной поддержки жизненного цикла продукции (CALS), основанной на использовании единого информационного пространства и обеспечивающей единообразные способы информационного взаимодействия всех вовлеченных участников [15, с. 6] от начала исследований, разработок и проектирования до изготовления, продажи и эксплуатации [16, с. 88] (*Sazonov, Dzhamay, Povekvechnyh, 2018, p. 88*) (табл. 1).

Современные концепции, сформировавшие представление о цифровой трансформации, предполагают цифровизацию всех этапов жизненного цикла продукции, использование цифровых моделей (двойников) и задействование цифровых платформ.

Таблица 1

**Пример сравнения производительности оборудования в разрезе применяемого уровня автоматизации**

Уровень автоматизации	Производительность по сравнению с использованием обычного универсального оборудования (ед.)
Универсальный станок	1
Станок с ЧПУ	5
Гибкое автоматизированное предприятие	7,5
Соединение автоматизации внутренних и внешних процессов	>10
Комплексная автоматизация разработки и производства изделия	20
Сквозная автоматизация на всем жизненном цикле изделия [CALS]	>25

*Источник: [17, с. 16] (Borisov, 2000, p. 16).*

В машиностроительном производстве их основой становятся программные продукты для цифрового проектирования, компьютерного инжиниринга и технологической подготовки производства (CAD, CAM, CAE и др.), решения для управления данными о продукте (PDM) и управления жизненным циклом изделий (PLM), а также информационные системы управления производственными и бизнес-процессами (ERP, MES и др.). Предполагается что в своем функционировании они будут опираться на применение таких передовых технологий, как цифровое моделирование, робототехника, индустриальный интернет вещей, большие данные, искусственный интеллект, облачные вычисления, аддитивное производство и др. [18, с. 38] (*Abdrakhmanova, Vyhovskiy, Veselitskaya, Vishnevskiy, Gokhberg et al., 2021, p. 38*), а использование разнообразных средств автоматизации, сенсоров, датчиков и других устройств позволит вовлекать физические объекты в цифровое взаимодействие, полноценно реализуя потенциал цифровых двойников и формируя передовые возможности «умных заводов» [9, с. 57–59; 6, с. 11].

Среди прогнозируемых эффектов отмечаются: существенное снижение времени вывода нового продукта на рынок; принципиальное уменьшение затрат на испытания и сертификацию, осуществляемых по цифровым моделям вместо натуральных; повышение производительности оборудования за счет увеличения степени его использования; повышение эффективности производства за счет оптимизации цепочек создания стоимости посредством вовлечения в сетевую кооперацию организационно не связанных производственных, конструкторских и др. мощностей; возможность создания очень сложных изделий, требующих объединения и кооперации большого числа участников машиностроительного производства; автоматизация процесса совершенствования продукции за счет учета при проектировании результатов эксплуатации

предыдущих версий продукции; возможность быстрой переориентации имеющихся производств с создания гражданской продукции на специальную и обратно без существенных дополнительных затрат и др. [19, с. 36; 20, с. 71] (*Trachuk, Linder, Tarasov, Nalbandyan, Khovalova, Kondratyuk, Popov, 2018, p. 71*).

## Тенденции развития мировых рынков технологических направлений киберфизических производственных систем

Следует отметить, что мировые рынки соответствующих технологических решений имеют значительные масштабы и продолжают рост с высоким темпом. Так, наращивание мировых рынков технологий Industry 4.0 в целом в 2022 году составило около 20% [21]. Рынок цифровых двойников растет со скоростью порядка 40% в год, рынок промышленного интернета и аддитивных технологий – более 20% в год, промышленной робототехники и сенсорики – свыше 10% в год. Эти процессы затронули практически все индустриально развитые страны, а основными лидерами в выделенных технологических областях преимущественно являются компании из США, с которыми конкурируют фирмы из стран Евросоюза, Великобритании, Швейцарии, Японии. Распространение этих технологических решений происходит, прежде всего, в машиностроении. Относительно отечественного рынка данных решений следует отметить, что его доля на мировом рынке не соответствует состоянию паритета со странами-лидерами (*табл. 2*).

## Политика цифровой трансформации в машиностроении: этапы и перспективы

В России начало текущего этапа политики по цифровизации промышленности связано с утверждением в июле 2017 года программы «Цифровая экономика Российской Федерации».<sup>1</sup> Позже, в конце 2018 года<sup>2</sup>, в соответствии с принятым в мае 2018 года Указом Президента «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», был утвержден паспорт одноименной национальной программы<sup>3</sup>, сформировав новое организационное начало. С целью обеспечения преемственности национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» по отношению к ранее утвержденной одноименной программе и исключения дублирования в феврале 2019 года более ранняя программа

<sup>1</sup> Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/28653/> (дата обращения: 19.12.2023).

<sup>2</sup> Протокол заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24.12.2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/news/35168/> (дата обращения: 20.12.2023).

<sup>3</sup> Опубликован паспорт национальной программы «Цифровая экономика» [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/info/35568/> (дата обращения: 20.12.2023).

Таблица 2  
 Рынки решений основных технологических направлений киберфизических производственных систем  
 в мире и России, 2021 г.

Показатель	Емкость мировых рынков (млрд долл.)	Ожидаемый среднегодовой темп роста мирового рынка (%)	Доля машиностроения в мировом рынке направления (%)	Страны-лидеры (число компаний-лидеров из топ. 10)	Рынок России (млн руб.)	Ожидаемый среднегодовой темп роста рынка России (%)	Доля России в мировом рынке (%)
Компьютерное проектирование (CAD)	10,0	6,5	38,0	США (6/10)	11600,0	6,0	0,26
Компьютерный инжиниринг (CAE)	7,0	10,0	75,0	США (6/10), Страны ЕС+* (4/10)			
Технологическая подготовка производства (CAM)	3,0	8,0	93,0	США (5/10), Страны ЕС+ (3/10)			
Технологии цифровых двойников	6,5	40,0	62,0	США (4/10), Страны ЕС+ (6/10)			
Управление данными о продукте (PDM)	3,0	7,0	25,0	США (6/10), Страны ЕС+* (4/10)			
Управление жизненным циклом изделия (PLM)	30,0	8,3	71,0	США (6/10), Страны ЕС+* (4/10)			
Промышленная робототехника	35,0	10,0	89,0	Япония (6/10), Страны ЕС+* (3/10)	6800,0	9,0	0,26
Промышленная сенсорика	200,0	12,0	н/д	США (5/10), Страны ЕС+* (4/10)	5,0	6,0	0,00
Промышленный интернет вещей	267,0	23,0	н/д	США (7/10), Страны ЕС+* (3/10)	900,0	8,0	0,01
Аддитивные технологии	12,0	20,0	н/д	США (7/10), Страны ЕС+* (2/10)	300,0	16,0	0,03

Источник: рассчитано и составлено автором по [22, 23].

(\*) Здесь и далее Страны ЕС+ включают страны Евросоюза, Великобританию и Швейцарию.



была признана утратившей силу<sup>4</sup>. В июне 2019 года паспорт национальной программы был скорректирован и приобрел актуальное содержание, предусматривая реализацию шести федеральных проектов, охватывающих различные аспекты формирования базиса для внедрения цифровых технологий<sup>5</sup>.

Что же касается технологического вектора цифровизации промышленности вообще и машиностроения в частности, то в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» предусматривалось направление «Новые производственные технологии», предполагавшее формирование национальной технологической основы для последующей цифровой трансформации. В рамках данного федерального проекта в октябре 2019 была утверждена дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии».

В ней предусматривалось развитие трех субтехнологий. **Первая субтехнология** – цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (Smart Design), помимо развития особого рода цифровой платформы, предназначенной для создания цифровых двойников, предполагала создание отечественной PLM-системы «тяжелого класса», включающей конкурентоспособные CAD-CAM-CAE-подсистемы.

В этой связи предусматривалось достижение уже к 2024 году вовлечения свыше 100 высокотехнологичных предприятий из приоритетных отраслей промышленности (автомобилестроение, авиастроение, судостроение, двигателестроение, традиционное машиностроение, а также ряда отраслей, где преобладает непрерывное или процессное производство), реализующих свыше 250 проектов с применением технологии разработки цифровых двойников. В разрабатываемой PLM-системе «тяжелого класса» предполагалась деятельность более 25 высокотехнологичных предприятий, обеспечивающих наличие не менее 100 типовых изделий, подключенных к системе цифрового профиля изделия и участием свыше 10000 активных пользователей. Особое внимание было уделено развитию ранее упомянутой платформы для работы с цифровыми двойниками, функционал которой предполагалось существенно нарастить.

**Вторая выделенная субтехнология** – технологии «умного» производства (Smart Manufacturing). В этот технологический блок включены решения, позволяющие на основе данных PLM-системы осуществлять технологическую подготовку и операционное управление технологическими процессами, а также решение оптимизационных задач управления, для чего предусматривалась разработка отечественных MES- и ERP-систем с возможностью использования в них технологий искусственного интеллекта, обработки больших данных и т.д.

<sup>4</sup> Распоряжение Правительства РФ от 12 февраля 2019 года № 195-р. Кодекс. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/552424012?marker> (дата посещения: 20.12.2023).

<sup>5</sup> Протокол заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 04.06.2019. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/news/36906/> (дата посещения: 20.12.2023).

За счет интеграции данных из PLM-системы к 2024 году планировалось сокращение степени участия человека в процессе подготовки и наладке производства до 65% от выполняемых операций. В то же время к 2024 году должны были произойти сдвиги принципиального плана в области развития функциональных элементов на базе отечественных MES-систем, способных решать оптимизационные задачи планирования производства с использованием технологий искусственного интеллекта, больших данных, Интернета вещей. В системе предполагалась реализация модуля децентрализованного планирования, обеспечивающего возможности интеграции с системами межзаводской кооперации и управления производственно-технологическим потенциалом крупных холдингов и государственных корпораций<sup>6</sup>. Планировалось, что к 2024 году произойдет внедрение таких систем на более чем 1000 высокотехнологичных предприятиях с участием свыше 10000 сертифицированных пользователей.

С опорой на отечественные ERP-системы и создание модуля доверенных поставок и транзакций среди участников кооперации, а также применение технологий искусственного интеллекта, больших данных и распределенных реестров предполагалось обеспечить возможности функционирования на базе отечественных платформ таких функциональных элементов и решений, как система управления производством, в том числе система управления непрерывным производством; система управления кооперационным производством, позволяющая в режиме реального времени вести планирование и учет по всей цепи кооперации; система управления производственно-технологическим потенциалом на уровне холдингов и государственных корпораций и др.

**Третья субтехнология** представлена набором программно-аппаратных средств взаимодействия с окружающей средой и объектами, а также методами и решениями для управления роботами-манипуляторами. Здесь к 2024 году планировалось нарастить объем выпуска отечественных промышленных роботов до 4600 в год с обеспечением до 40% доли отечественной продукции в совокупном ее потреблении.

Реализация мероприятий должна была осуществляться с опорой на компаниилеры, т.е. российские коммерческие организации, осуществляющие профильную деятельность и обладающие необходимыми кадровыми, материально-техническими, организационными и иными ресурсами, обеспечивающими высокий инновационный потенциал и лидирующие позиции.

Таким образом, дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные возможности» предполагала создание к 2024 году национальной технологической основы для последующей цифровой трансформации промышленности.

В то же время организационные аспекты подготовки условий для цифровой трансформации были отражены в разработанном в 2018 году Минпромторгом РФ ведомственном проекте «Цифровая промышленность», предполагавшем реализацию

<sup>6</sup> Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные возможности» [Электронный ресурс]. URL: [https://digital.gov.ru/ru/documents/6662/?utm\\_referrer=https%3a%2f%2f](https://digital.gov.ru/ru/documents/6662/?utm_referrer=https%3a%2f%2f) (дата посещения: 19.12.2023).

комплекса мероприятий в рамках трех направлений. Так, *первое выделяемое направление* – создание регуляторной среды цифровой трансформации промышленности, предполагало: развитие законодательной и нормативно-технической базы в данной сфере, развитие информационных мер государственной поддержки, создание специальных образовательных программ переподготовки кадров. *Второе направление* было связано с созданием и развитием функционала центральной платформы цифрового взаимодействия между государством и предприятиями – ГИСП. Здесь отмечалось наращивание ее функционала для охвата решения вопросов по инвестированию в промышленность, по созданию и развитию промышленных предприятий, для подбора мер государственной поддержки, продвижения продукции на внутреннем и внешних рынках, для прогнозирования развития производства и др. *Третье направление* – цифровая трансформация обрабатывающих отраслей промышленности – предполагало формирование центра компетенций по цифровой трансформации промышленности, оценку уровня цифровой трансформации, формирование мер поддержки и стимулирования разработки и масштабирования соответствующих решений [24].

Уже летом 2020 года Указом Президента РФ от № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» цифровая трансформация фиксируется в качестве национальной цели, а оценка ее достижения сопрягается с наращиванием цифровой зрелости в ключевых отраслях экономики. Что касается промышленности, то планируемые к 2030 году показатели оценки цифровой зрелости приведены в *таблице 3*.

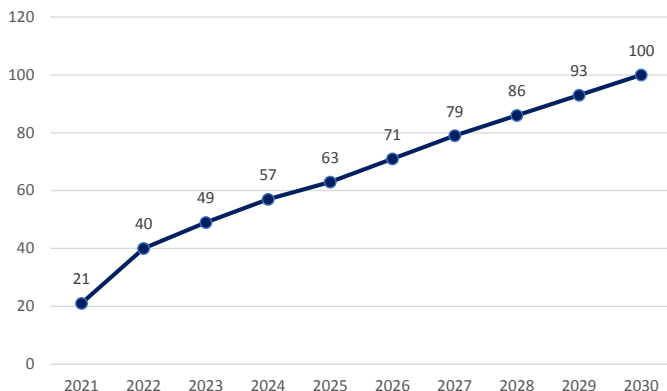
Таблица 3

**Выдержка из перечня показателей оценки цифровой зрелости промышленности в рамках мониторинга достижения национальной цели «Цифровая трансформация»**

Показатель	2021 год (%)	2030 год (%)
Цифровая зрелость основных производственных процессов предприятий промышленности	44	85
Цифровая зрелость вспомогательных производственных процессов предприятий промышленности	49	90
Доля предприятий, в отношении которых сформирован цифровой паспорт в ГИСП	25	99
Доля предприятий, использующих технологию API для обмена данными, предоставления цифровых услуг и информационного взаимодействия с государственными информационными системами	9	90
Доля предприятий, использующих технологии имитационного моделирования и виртуальных испытаний промышленной продукции («цифровой двойник изделия»), в группе «Машиностроение и приборостроение»	18	80
Доля предприятий, использующих технологии предсказательной (предиктивной) аналитики при прогнозировании и проведении послепродажного (сервисного) обслуживания, в группе «Машиностроение и приборостроение»	8	75

*Источник:* составлено автором по [25, с. 39; 26] (Abdrakhmanova et al., 2022, p. 39).

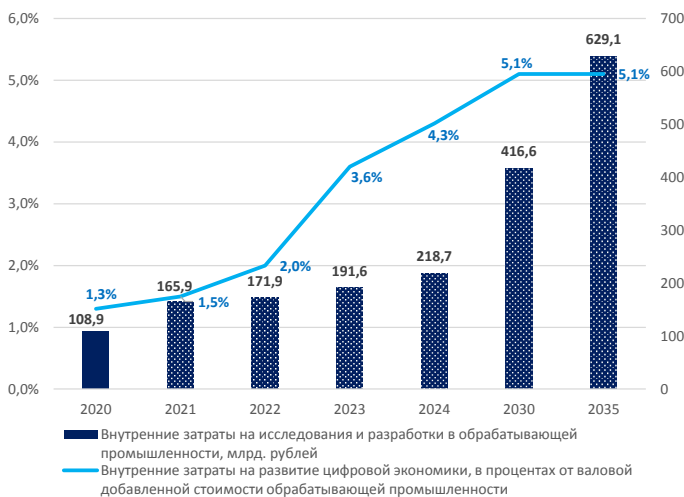
Динамика наращивания значения усредненного показателя оценки цифровой зрелости промышленности приведена на *рисунке 1*.



**Рисунок 1.** Цифровая зрелость промышленности (среднее из долей показателей оценки цифровой зрелости промышленности в рамках мониторинга достижения национальной цели «Цифровая трансформация»)

Источник: [25, с. 39] (Abdrakhmanova et al., 2022, p. 39).

В этой связи предполагается почти четырехкратное увеличение доли затрат на внедрение цифровых технологий предприятиями обрабатывающих отраслей (*рис. 2*).



**Рисунок 2.** Интегральные индикаторы по цифровизации в сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года и на период до 2035 года

Источник: составлено автором по [27, с. 32].

Проведенное в июне 2022 года обследование уровня цифровой зрелости ряда ведущих предприятий машиностроения показало следующие результаты (табл. 4).

Таблица 4

**Уровень цифровой зрелости ведущих предприятий на июнь 2022 года**

Наименование предприятия	Уровень цифровой зрелости
АО «Вертолеты России»	68%
АО «НПО «Высокоточные комплексы»	66%
АО «Концерн «Калашников»	65%
ПАО «ОАК»	64%
АО «ОДК»	63%

Источник: составлено автором по материалам [28] (Kireev, 2022).

Таким образом, средняя величина уровня цифровой зрелости обследованных пяти из ведущих предприятий машиностроения составляет 65%, при обследовании более широкой выборки предприятий промышленности на июнь 2022 года средний уровень цифровой зрелости составил порядка 41%.

Механизм достижения отмеченной национальной цели в промышленности раскрывается в представленной в 2021 году Минпромторгом РФ «Стратегии цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности в целях достижения их «цифровой зрелости» до 2024 года и на период до 2030 года»<sup>7</sup>. Документом среди многочисленных инициатив предполагалось: создание на базе государственной информационной системы промышленности (ГИСП) биржи мощностей промышленных предприятий (с последующей коммерциализацией по ГЧП), что должно было содействовать достижению цели по повышению к 2024 году на 50% фондоотдачи за счет использования кооперационных цепочек; внедрение технологий предиктивной аналитики, в том числе для перехода от «ремонта по регламенту» к «ремонту по состоянию» должно было обеспечить достижение цели по сокращению к 2024 году на 45% времени вынужденного простоя мощностей; формирование национальной системы сертификации на базе «цифровых двойников» и виртуальных испытаний должно было позволить к 2024 году снизить в 1,5 раза сроки вывода высокотехнологичной продукции на рынок и др.

Ряд этих наработок был отражен в утвержденном в ноябре 2021 года Правительством РФ Стратегическом направлении в области цифровой трансформации обрабатывающих

<sup>7</sup> Стратегия цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности в целях достижения их «цифровой зрелости» до 2024 года и на период до 2030 года Минпромторг РФ 14.07.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://nangs.org/docs/minpromtorg-rossii-strategiya-tsifrovoj-transformatsii-obrabatyvayushchikh-otraslej-promyshlennosti-v-tselyakh-dostizheniya-ikh-tsifrovoj-zrelosti-do-2024-goda-i-na-period-do-2030-goda-ot-14-07-2021-g-pdf> (дата обращения: 23.12.2023).

отраслей промышленности. В документе подчеркивается, что главная задача цифровой трансформации заключается в модернизации управления производственными процессами, а ее результатом должно стать значительное повышение производительности труда. В этой связи предусматривалась реализация четырех проектов.

Так, в рамках проекта «Умное производство» на базе государственной информационной системы промышленности к 2024 году предполагалось создание биржи мощностей предприятий обрабатывающих отраслей промышленности; реализация проекта «Цифровой инжиниринг» предполагает существенное – до 50% – сокращение к 2024 году сроков вывода высокотехнологичной продукции на рынок за счет признания результатов виртуальных испытаний; проект «Новая модель занятости» нацелен на достижение к 2024 году до 23% роста количества высокотехнологичных рабочих мест на предприятиях обрабатывающих отраслей промышленности, использующих цифровые технологии; реализация проекта «Продукция будущего» предполагает сокращение затрат на обслуживание высокотехнологичной продукции на 25% к 2024 году за счет перехода от «ремонта по регламенту» к «ремонту по состоянию» и использования технологии предиктивной аналитики и т.д.<sup>8</sup>

После событий 2022 года большинство ИТ-компаний из недружественных стран объявили о прекращении деятельности в России [29, с. 641] (*Dorzhieva, 2023, p. 641*). Преимущества технологического сотрудничества трансформировались в угрозы технологической безопасности, а новые вызовы сформировали необходимость скорейшего импортозамещения в сфере индустриального программного обеспечения, что нашло свое отражение в утвержденной в декабре 2022 года Правительственной комиссией по цифровому развитию дорожной карте «Новое индустриальное программное обеспечение»<sup>9</sup>. Документом предусматривается развитие программного обеспечения по трем направлениям: системы автоматизации проектирования и управления жизненным циклом изделий; системы «Интернета вещей»; платформы для управления ресурсами и процессами предприятий.

В план были включены проекты российских компаний-лидеров, включающие программные решения по направлениям PLM, CAE, CAD, MES, SCADA, ERP и др. Ключевыми участниками соглашения являются ГК «Ростех» и ГК «Росатом».

Результатом реализации карты должен стать рост доли отечественного программного обеспечения для автоматизации до 90% к 2030 году с 41% в 2021-м; в области производственных платформ на базе Интернета вещей – до 76,8% с 41,5%; в части

<sup>8</sup> Распоряжение Правительства РФ от 6 ноября 2021 г. № 3142-р об утверждении Стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности. [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/Yu4vXEtPvMyDVAw88UuBGB3dGEr6r8zP.pdf> (дата обращения: 23.12.2023).

<sup>9</sup> Утверждены «дорожные карты» «Новое индустриальное программное обеспечение» и «Новое общественное программное обеспечение». [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/news/47353/> (дата обращения: 24.12.2023).

платформы для управления ресурсами и процессами предприятий – до 92,3% с 78,5% соответственно.

С этой целью уже в 2023 году предполагалась реализация 26 проектов по таким направлениям, как CAD, CAE, PLM, SPDM и др.<sup>10</sup>, а в 2024 году предполагается завершение реализации по 74 проектам<sup>11</sup>.

Количество российских CAD- и PLM-систем должно будет увеличиться с 1323 ед. в 2021 г. до 3669 ед. к 2030 г. В числе компаний, чьи проекты учтены в дорожной карте «ОДК-авиадвигатель», Объединенная авиастроительная корпорация (ОАК), Объединенная судостроительная корпорация (ОСК), «АвтоВАЗ», группа ГАЗ, концерн «Калашников», «Трансмашхолдинг» (ТМХ) и др.

Так, например, производителем двигателей для гражданской авиации «ОДК-авиадвигатель» (входит в «Ростех») планируется внедрение к 2026 году российской CAD-системы, а к 2027 г. – отечественной PLM-системы, разработанных на базе решений крупного российского разработчика инженерного программного обеспечения и интегратора в сфере автоматизации АСКОН; Концерном «Калашников» к 2025 г. должна завершиться разработка центральной унифицированной отечественной PLM-системы; ТМХ к 2025 году планирует создание на основе технологий блокчейн децентрализованного защищенного хранилища и среды безопасного обмена данными по жизненному циклу изделия и т.д.<sup>12</sup>

Представляется, что скорейшее решение стоящих антикризисных задач позволят не только преодолеть возникшие в результате разрыва технологических связей затруднения, но и сформировать полноценную отечественную технологическую основу предстоящей цифровой трансформации.

## Заключение

Техническая модернизация отечественных машиностроительных производств, практически остановленная в период рыночной трансформации, позже протекала умеренно и преимущественно с опорой на зарубежные решения. В условиях становления четвертой промышленной революции и санкционных ограничений доступа к передовым технологиям перспективы цифровой трансформации в нашей стране определяются, прежде всего, наличием отечественных технологических решений, создание которых становится основным содержанием реализуемой на данном этапе политики.

<sup>10</sup> Специалисты Передовой инженерной школы и Центра НТИ СПбПУ приняли участие в разработке дорожной карты «Новое промышленное программное обеспечение». [Электронный ресурс]. URL: <https://nticenter.spbstu.ru/news/8394> (дата посещения: 24.12.2023).

<sup>11</sup> В Правительстве подписаны соглашения о сотрудничестве по «дорожным картам» высокотехнологичных направлений. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/news/47466/> (дата обращения: 24.12.2023).

<sup>12</sup> Российские разработчики должны создать 2300 новых программ для промышленности за семь лет. Ведомости 20.12.2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2022/12/19/956058-rossiiskie-razrabotchiki-dolzhni> (дата обращения: 24.12.2023).

Следует отметить следующие векторы реализуемой в России политики в области цифровой трансформации промышленности: *во-первых, технологический*, здесь особое внимание уделено развитию специальных средств, формирующих цифровой технологический каркас будущих «умных производств»; *во-вторых, процессный*, т.е. ускорение перевода основных и вспомогательных бизнес-процессов на цифровую основу; *в-третьих, отраслевой*, т.е. формирование промышленной экосистемы посредством развития специальных платформ, обеспечивающих возможности цифрового взаимодействия [30, с. 1405] (Afanasev, 2023, p. 1405).

Относительно перспектив цифровой трансформации в машиностроении России следует отметить, что текущими планами реализуемой политики предусмотрено завершение в 2024 году большинства подготовительных инициатив, а полученные результаты должны стать основой для последующего ускорения цифровизации и достижению к 2030 году сформулированной цели «Цифровая трансформация». Представляется, что в актуальных геоэкономических реалиях обозначенные перспективы сопряжены с необходимостью обеспечения технологического суверенитета в данной сфере.

## ИСТОЧНИКИ:

1. Афанасьев А.А. Цифровизация промышленности: теоретические основы и методология исследования // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – № 8. – с. 2537–2556. – doi: 10.18334/epw.13.8.118634.
2. Бокарев Ю.П. СССР и становление постиндустриального общества на Западе в 1970–1980-е годы: монография. – Москва: Наука, 2007. – 384 с.
3. Позднеев Б.М., Овчинников П.Е., Левченко А.Н., Шароватов В.И., Бабенко Е.В. О развитии цифровых инноваций в машиностроении в условиях формирования Промышленности 4.0 // Вестник МГТУ «Станкин». – 2019. – № 2(49). – с. 23–28.
4. Кармишин А.А., Макаров В.М., Лукина С.В. Киберфизические производственные системы. Ритм машиностроения. [Электронный ресурс]. URL: <https://ritm-magazine.com/ru/magazines/2022/zhurnal-ritm-mashinostroeniya-no-9-2022#page-1>.
5. Афанасьев А.А. Сравнительный анализ значения отечественного станкостроения в модернизации производств СССР, постсоветского периода и на современном этапе развития России // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – № 7. – с. 2167–2188. – doi: 10.18334/epw.13.7.117948.
6. Киберфизические системы. Аналитический отчет. Технет НТИ. [Электронный ресурс]. URL: <https://technet-nti.ru/article/otchet-kiberfizicheskie-sistemy> (дата обращения: 25.12.2023).
7. Позднеев Б.М. и др. Глоссарий терминов в области Индустрии 4.0. En.rgrt.ru. [Электронный ресурс]. URL: <http://en.rgrt.ru/data/news/Глоссарий%20терминов%20в%20области%20Индустрии%204.0.pdf>.
8. Шваб К. Четвертая промышленная революция. – М.: Эксмо, 2016.



9. План мероприятий («дорожная карта») «ТЕХНЕТ 4.0» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы. Технет НТИ. [Электронный ресурс]. URL: [https://technet-nti.ru/article/roadmap\\_new](https://technet-nti.ru/article/roadmap_new) (дата обращения: 25.12.2023).
10. Акбердина В.В., Пьянкова С.Г. Методологические аспекты цифровой трансформации промышленности // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2021. – № 1. – с. 292–313. – doi: 10.38197/2072–2060–2021–227–1-292–313.
11. Дементьев В.Е. Промышленные революции и смена технологических укладов // Друкерровский вестник. – 2019. – № 1(27). – с. 5–17. – doi: 10.17213/2312–6469–2019–1-5–17.
12. Шкарупета Е.В. Практические аспекты оценки цифровой зрелости промышленных предприятий в условиях пилотирования инноваций в цифровых сервисах ГИСП // Информатизация в цифровой экономике. – 2023. – № 1. – с. 9–22. – doi: 10.18334/ide.4.1.117048.
13. Афанасьев А.А. Индустрия 4.0: к вопросу о перспективах цифровой трансформации промышленности в России // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – № 3. – с. 1427–1446. – doi: 10.18334/vines. 13.3.117880.
14. Коровкин В.В., Кузнецова Г.В. Перспективы цифровой трансформации российского машиностроения // *Ars Administrandi* (Искусство управления). – 2020. – № 2. – с. 291–313. – doi: 10.17072/2218–9173–2020–2-291–313.
15. ГОСТ Р 50.1.031–2001 «Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1». Интернет-ресурс Росстандарт. [Электронный ресурс]. URL: <https://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=101&page=1&month=-1&year=-1&search=&RegNum=53&DocOnPageCount=100&id=196110> (дата обращения: 09.12.2023).
16. Сазонов А.А., Джамай В.В., Повекевчных С.А. Анализ эффективности внедрения CALS технологий (на примере отечественного авиастроения) // Организатор производства. – 2018. – № 1. – с. 84–92. – doi: 10.25065/1810–4894–2018–26–1-84–92.
17. Борисов В.Н. Машиностроительный комплекс в воспроизводственном процессе (Методология и инструментарий анализа и прогнозирования). / Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. – Москва, 2000. – 260 с.
18. Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н., Вишневецкий К.О., Гохберг Л.М. и др. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты. / Докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. – М.: Изд. дом ВШЭ, 2021. – 239 с.
19. План мероприятий («дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы. Интернет-ресурс СПбПУ. [Электронный ресурс]. URL: [https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/02\\_february/15/Dorozhnaya\\_karta\\_TechNet.pdf](https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/02_february/15/Dorozhnaya_karta_TechNet.pdf) (дата обращения: 10.12.2023).

20. Трачук А.В., Линдер Н.В., Тарасов И.В., Налбандян Г.Г., Ховалова Т.В., Кондратюк Т.В., Попов Н.А. Трансформация промышленности в условиях четвертой промышленной революции. / Монография. – Москва: Издательский дом «Реальная экономика», 2018. – 147 с.
21. Анализ размера и доли рынка Индустрии 4.0 – тенденции роста и прогнозы (2023–2028 гг.). Mordorintelligence.comhttps. [Электронный ресурс]. URL: [://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industry-4-0-market](https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industry-4-0-market).
22. Прогноз развития рынков, включенных в направление. «Технет» НТИ. [Электронный ресурс]. URL: <https://technet-nti.ru/article/ekspertno-analiticheskii-doklad-prognoz-razvitiya-rynkov-vklyuchennyh-v-napravlenie-nti-tehnet-2022>.
23. Тренды и сценарии развития рынков, относящихся к «цифровой фабрике» по направлению «Технет» НТИ в условиях новой реальности. Экспертно-аналитический доклад Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ и МГУ. – 2023 г
24. Ведомственный проект «Цифровая промышленность» Минпромторг РФ. Digital.gov.ru. [Электронный ресурс]. URL: [https://digital.gov.ru/uploaded/files/vedomstvennyij-proekttsifrovaya-promyishlennost.pdf?utm\\_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f](https://digital.gov.ru/uploaded/files/vedomstvennyij-proekttsifrovaya-promyishlennost.pdf?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f) (дата обращения: 25.12.2023).
25. Абдрахманова Г.И. и др. Цифровая трансформация: ожидания и реальность. / Докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. – М.:Изд. дом ВШЭ, 2022. – 221 с.
26. Приказ Минцифры России от 18 ноября 2020 г. № 600 «Об утверждении методик расчета целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации “Цифровая трансформация”». Docs.cntd.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573320665> (дата обращения: 23.12.2023).
27. Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года и на период до 2035 года. Static.government.ru. [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/AIAVFpbzBo7c vkwaMoNtWjJLt6WA8Cmu.pdf> (дата обращения: 24.12.2023).
28. Киреев К. Цифровая зрелость промышленных предприятий. Пилотный проект по апробации обновленных методических рекомендаций по формированию цифрового паспорта промышленного предприятия. Дискуссионная площадка «Цифровая зрелость VS Цифровая готовность». [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/video-64545043\\_456239147/](https://vk.com/video-64545043_456239147/) (дата обращения: 08.10.2023).
29. Доржиева В.В. Цифровая трансформация промышленности и промышленная политика в условиях внешних ограничений // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – № 2. – с. 637–648. – doi: 10.18334/vines. 13.2.117692.
30. Афанасьев А.А. Цифровизация в промышленности: варианты подходов к изучению и методология исследования // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – № 3. – с. 1395–1414. – doi: 10.18334/vines. 13.3.118927.

**REFERENCES:**

- Abdrakhmanova G.I. i dr. (2022). *Tsifrovaya transformatsiya: ozhidaniya i realnost* [Digital transformation: expectations and reality] M.: Izd. dom VShE. (in Russian).
- Abdrakhmanova G.I., Byhovskiy K.B., Veselitskaya N.N., Vishnevskiy K.O., Gokhberg L.M. i dr. (2021). *Tsifrovaya transformatsiya otrasley: startovye usloviya i priority* [Digital transformation of industries: starting conditions and priorities] M.: Izd. dom VShE. (in Russian).
- Afanasev A.A. (2023). *Industriya 4.0: k voprosu o perspektivakh tsifrovoy transformatsii promyshlennosti v Rossii* [Industry 4.0: prospects for digitalizing and transforming Russian industry]. *Russian Journal of Innovation Economics*. 13 (3). 1427–1446. (in Russian). doi: 10.18334/vinec.13.3.117880.
- Afanasev A.A. (2023). *Sravnitelnyy analiz znacheniya otechestvennogo stankostroeniya v modernizatsii proizvodstv SSSR, postsovetskogo perioda i na sovremennom etape razvitiya Rossii* [Comparative analysis of the importance of domestic machine-tool construction in the modernization of production facilities of the USSR, the post-Soviet period and at the present stage of development of Russia]. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 13 (7). 2167–2188. (in Russian). doi: 10.18334/epp.13.7.117948.
- Afanasev A.A. (2023). *Tsifrovizatsiya promyshlennosti: teoreticheskie osnovy i metodologiya issledovaniya* [Digitalization of industry: theoretical foundations and research methodology]. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 13 (8). 2537–2556. (in Russian). doi: 10.18334/epp.13.8.118634.
- Afanasev A.A. (2023). *Tsifrovizatsiya v promyshlennosti: varianty podkhodov k izucheniyu i metodologiya issledovaniya* [Industrial digitalization: possible study approaches and research methodology]. *Russian Journal of Innovation Economics*. 13 (3). 1395–1414. (in Russian). doi: 10.18334/vinec.13.3.118927.
- Akberdina V.V., Pyankova S.G. (2021). *Metodologicheskie aspekty tsifrovoy transformatsii promyshlennosti* [Digital transformation of industry: methodological aspects]. *Scientific works of the Free Economic Society of Russia*. 227 (1). 292–313. (in Russian). doi: 10.38197/2072–2060–2021–227–1–292–313.
- Bokarev Yu.P. (2007). *SSSR i stanovlenie postindustrialnogo obshchestva na Zapade v 1970–1980-e gody* [The USSR and the formation of a post-industrial society in the West in the 1970s and 1980s] Moscow: Nauka. (in Russian).
- Borisov V.N. (2000). *Mashinostroitelnyy kompleks v vosproizvodstvennom protsesse (Metodologiya i instrumentariy analiza i prognozirovaniya)* [Machine-building complex in the reproduction process (Methodology and tools for analysis and forecasting)] Moscow. (in Russian).

- Dementev V.E. (2019). *Promyshlennye revolyutsii i smena tekhnologicheskikh ukладov* [Industrial revolutions and changing technological patterns]. *Drukerovskij vestnik*. (1(27)). 5–17. (in Russian). doi: 10.17213/2312-6469-2019-1-5-17.
- Dorzhiya V.V. (2023). *Tsifrovaya transformatsiya promyshlennosti i promyshlennaya politika v usloviyakh vneshnikh ogranicheniy* [External constraints on digital industrial transformation and industrial policy]. *Russian Journal of Innovation Economics*. 13 (2). 637–648. (in Russian). doi: 10.18334/vinec. 13.2.117692.
- Korovkin V.V., Kuznetsova G.V. (2020). *Perspektivy tsifrovoy transformatsii rossiyskogo mashinostroeniya* [Prospects for digital transformation in Russian machine building industry]. *Ars Administrandi (Iskusstvo upravleniya)*. 12 (2). 291–313. (in Russian). doi: 10.17072/2218-9173-2020-2-291-313.
- Pozdneeve B.M., Ovchinnikov P.E., Levchenko A.N., Sharovатов V.I., Babenko E.V. (2019). *O razvitiy tsifrovoyh innovatsiy v mashinostroenii v usloviyakh formirovaniya Promyshlennosti 4.0* [About development of digital innovation in mechanical engineering in conditions of industry 4.0]. *Vestnik MGTU «Stankin»*. (2(49)). 23–28. (in Russian).
- Sazonov A.A., Dzhamay V.V., Povekvechnyh S.A. (2018). *Analiz effektivnosti vnedreniya CALS tekhnologii (na primere otechestvennogo aviastroeniya)* [Analysis of efficiency of implementation of calS technologies on the example of domestic aviation]. *Organizer of Production*. 26 (1). 84–92. (in Russian). doi: 10.25065/1810-4894-2018-26-1-84-92.
- Shkarupeta E.V. (2023). *Prakticheskie aspekty otsenki tsifrovoy zrelosti promyshlennykh predpriyatiy v usloviyakh pilotirovaniya innovatsiy v tsifrovoyh servisakh GISP* [Practical aspects of assessing the digital maturity of industrial companies in the context of piloting innovation in digital services of the State Industry Information System]. *Informatization in the Digital Economy*. 4 (1). 9–22. (in Russian). doi: 10.18334/ide.4.1.117048.
- Shvab K. (2016). *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya* [The Fourth Industrial Revolution] M.: Eksmo. (in Russian).
- Trachuk A.V., Linder N.V., Tarasov I.V., Nalbandyan G.G., Khovalova T.V., Kondratyuk T.V., Popov N.A. (2018). *Transformatsiya promyshlennosti v usloviyakh chetvortoy promyshlennoy revolyutsii* [Transformation of industry in the context of the Fourth Industrial Revolution] Moscow: Izdatelskiy dom «Realnaya ekonomika». (in Russian).