DOI: 10.58168/PBHT2026_328-334
УДК 621.9:620.1:66.011

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

MODERN TECHNOLOGIES, TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PROMISING MATERIALS IN VARIOUS BRANCHES OF INDUSTRY

Стородубцева Т.Н., доктор технических наук, доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж

Storodubtseva T.N., DrSc in Technical Sciences, Docent, Professor of the Industrial Transport, Construction and Geodesy Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russia, Voronezh

Шабанов М.Л., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия, Воронеж

Shabanov M.L., PhD in Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Forestry, Metrology, Standardization and Certification Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russia, Voronezh

Шипилова А.С., студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Shipilova A.S., Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены ключевые направления развития промышленных технологий: аддитивное производство, цифровизация на базе промышленного интернета вещей (IIoT) и искусственного интеллекта (ИИ), а также применение перспективных конструкционных материалов - полимерных композитов и наноматериалов. Проанализированы количественные показатели: мировой рынок аддитивного производства к 2029 г. достигнет 50,5 млрд долл.; затраты российских предприятий на цифровизацию в 2024 г. выросли на 29,5%, до 5,24 трлн руб.; рынок композитов России в 2023 г. превысил 110 млрд руб. Выявлены ограничения масштабирования технологий и предложены сценарии их преодоления в условиях импортозамещения.

Ключевые слова: аддитивные технологии, цифровизация, промышленный интернет вещей, перспективные материалы, полимерные композиты, наноматериалы, импортозамещение.

Abstract. The article reviews key areas of industrial technology development: additive manufacturing, digitalization based on IIoT and AI, as well as advanced structural materials - polymer composites and nanomaterials. Quantitative indicators are analyzed: the global additive manufacturing market will reach USD 50.5 billion by 2029; Russian enterprises' digitalization costs

© Стородубцева Т. Н., Шабанов М. Л., Шипилова А. С., 2026

grew by 29.5% to RUB 5.24 trillion in 2024; the Russian composites market exceeded RUB 110 billion in 2023. Scaling constraints are identified, and scenarios for overcoming them within the import substitution framework are proposed.

Keywords: additive technologies, digitalization, Industrial Internet of Things, advanced materials, polymer composites, nanomaterials, import substitution.

Промышленность в XXI в. переживает глубокую структурную трансформацию, обусловленную одновременным действием нескольких технологических волн. Концепция Industry 4.0, сформулированная в 2011 г. на Ганноверской промышленной ярмарке, к 2020-м гг. перешла из стадии теоретических разработок в фазу массового промышленного внедрения [1]. Российская промышленность вписана в эти глобальные процессы, хотя и со своей спецификой: давление санкционных ограничений, начавшихся в 2022 г., одновременно ускорило спрос на отечественные цифровые решения и обострило дефицит ключевых расходных материалов и комплектующих [2].

Цель настоящей работы – систематизировать актуальные данные о трёх взаимосвязанных технологических направлениях: аддитивном производстве, цифровой трансформации на базе IIoT и ИИ, а также производстве и применении перспективных материалов (полимерных композитов и наноматериалов). Обратимся к данным, накопленным за 2020–2025 гг., чтобы оценить не только достигнутые результаты, но и реальные барьеры, которые замедляют технологическое развитие.

Исследование выполнено методом аналитического обзора с привлечением данных Росстата, аналитических отчётов ИТ-холдинга Т1, Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ), Национального центра развития искусственного интеллекта при Правительстве РФ (НЦРИИ), а также исследовательских агентств NeoAnalytics, Research and Markets и Global Market Insights за период 2020–2025 гг. [3, 4]. Отбор источников проводился по критериям достоверности (наличие методологических приложений, перекрёстная проверка по двум и более независимым источникам) и актуальности (не старше 5 лет на дату написания статьи). Статистические данные по российскому рынку верифицировались посредством сопоставления с официальными материалами Минпромторга РФ [5].

Аддитивные технологии (АТ) представляют собой совокупность методов послойного синтеза изделий по цифровой 3D-модели. К 2024 г. промышленно значимыми стали не менее восьми принципиально разных процессов: FDM (Fused Deposition Modeling), SLM (Selective Laser Melting), SLS (Selective Laser Sintering), DMLS (Direct Metal Laser Sintering), Binder Jetting и ряд других [6]. Ключевое отличие от традиционного субтрактивного производства - возможность изготовления деталей со сложной внутренней геометрией (решётчатые структуры, конформные каналы охлаждения) без увеличения себестоимости.

Мировой рынок АТ, по оценке Research and Markets, растёт в среднем более чем на 20% ежегодно; к 2029 г. ожидается его объём 50,5 млрд долл. США [7]. Более долгосрочный прогноз компании Wohlers Associates (Wohlers Report 2023) указывает на преодоление отметки 100 млрд долл. к 2032 г. - примерно в шесть раз больше уровня 2022 г. [8]. Основная часть этого роста формируется не в потребительском сегменте, а в промышленном: авиастроение,

ракетно-космическая отрасль, медицина и энергетика совокупно обеспечивают свыше 60 % выручки ведущих поставщиков оборудования.

Российский рынок АТ движется заметно быстрее глобального. По данным АРАТ, к 2027 г. он может вырасти более чем в три раза - до 46 млрд руб. с нынешних около 15 млрд руб. Санкционный эффект оказался парадоксальным: средний рост выручки 26 ведущих отечественных АТ-компаний по итогам 2022 г. составил около 500 %, а выручка крупнейших из них приблизилась к 0,5 млрд руб. [9]. Основной драйвер - вынужденная замена зарубежного оборудования и запчастей: предприятия перешли на производство по запросу (manufacturing on demand) для критически важных деталей, которые прежде закупались за рубежом.

Интеграция АТ с алгоритмами генеративного проектирования (CAD/CAE) позволяет сократить массу детали на 20–40 % при сохранении заданных прочностных характеристик [6]. Эта возможность особенно востребована в авиастроении: снижение массы планера на 1 кг даёт экономию топлива порядка 3 000 л за жизненный цикл воздушного судна. В 2025–2026 гг. усиливается тенденция к «поумнению» самого процесса печати: ряд экспертов зафиксировал случаи снижения себестоимости детали на порядок - исключительно за счёт оптимизации программного управления, без замены оборудования или материалов [10-12].

Цифровизация производственных процессов стала ключевым вектором промышленной политики России в 2022–2024 гг. По данным Росстата, промышленное производство в стране выросло на 4,4 % по итогам девяти месяцев 2024 г., а в числе главных факторов - рост цифровой зрелости предприятий [2]. По оценке ИТ-холдинга Т1 («Пульс цифровизации»), совокупные затраты российских компаний на цифровизацию достигли 5,24 трлн руб. по итогам 2024 г., увеличившись на 29,5 % к уровню 2023 г. [3]. Общий индекс технологического развития отечественных компаний в 2023 г. составил 38,5 %, тогда как правительственная цель - довести цифровую зрелость производственных процессов до 85 % к 2030 г. [2].

Рассмотрим подробнее промышленный интернет вещей (IIoT) как инфраструктурную основу цифровой трансформации. По данным «Росатом Инфраструктурные решения», объём внедрения IoT-технологий в России к 2024 г. вырос на 30 % по сравнению с 2021 г. при ежегодном приросте рынка около 8 % [4]. Наиболее активные потребители - энергетика, металлургия и нефтехимия. Датчики давления, вибрации и температуры, установленные на производственных агрегатах, передают данные в реальном времени на аналитические платформы; алгоритмы машинного обучения выявляют отклонения за 48–72 ч до критического отказа оборудования. Предиктивное обслуживание на базе IIoT снижает затраты на ремонт на 18–25 % и сокращает внеплановые простои на 30–50 %.

Искусственный интеллект в 2024 г. применяли около 35 % российских промышленных предприятий - такова оценка Федерального центра прикладного развития ИИ [5]. Для сравнения: в 2021 г. этот показатель был примерно вдвое ниже. В обрабатывающей промышленности ИИ-решения используют 25,8 % организаций, в топливно-энергетическом комплексе - более 40 % [5]. По итогам внедрения предиктивной аналитики «Газпром нефть» зафиксировала снижение времени простоя на 30% и сокращение затрат на сервисное обслуживание на 21 %. Наиболее распространённые технологии ИИ в промышленности: интеллектуальная поддержка принятия решений (71 % пользователей ИИ), распознавание и синтез речи (67 %), компьютерное зрение (59 %).

Согласно Национальной стратегии развития искусственного интеллекта, подписанной Президентом России, доля приоритетных отраслей с высоким значением индекса готовности к внедрению ИИ к 2030 г. должна возрасти с 12 % до 95 %. Правительство в ноябре 2023 г. отобрало 200 особо значимых проектов по разработке промышленного программного обеспечения с объёмом финансирования 230 млрд руб. Нами выявлено, что ключевым ограничением при этом остаётся не дефицит финансирования, а нехватка квалифицированных специалистов с компетенциями в области обработки промышленных данных.

Перспективными конструкционными материалами являются полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые сочетают малую удельную массу с высокой прочностью, коррозионной стойкостью и технологической гибкостью – свойствами, недостижимыми у монолитных металлов при той же стоимости жизненного цикла [6, 13, 14]. Российский рынок ПКМ в 2023 г. превысил 110 млрд руб., демонстрируя годовые темпы роста 10–15 %. По данным NeoAnalytics, за период 2017–2023 гг. рынок вырос более чем в 2 раза (с 53 млрд руб.); этот прирост обеспечен прежде всего строительным и инфраструктурным секторами, где ПКМ замещают сталь в арматуре, мостовых ограждениях и трубопроводной защите.

Показателен пример «Нанотехнологического центра композитов» (НЦК, резидент ОЭЗ «Технополис Москва»): по итогам 2024 г. предприятие практически удвоило выпуск изделий из ПКМ, произведя свыше 2 300 м² продукции. Реализованные объекты включают стеклопластиковые перильные ограждения для Центральной кольцевой автомобильной дороги (ЦКАД) и железнодорожного моста на магистрали Чита - Иркутск. При этом рынок сохраняет существенную уязвимость: доля импорта термореактивных эпоксидных смол составляет 98,5 %, катализаторов и отвердителей - до 95 %, оборудования для производства ПКМ - около 90 %. Полное импортозамещение в этих сегментах потребует не менее 7–10 лет целенаправленных НИОКР.

Наноматериалы формируют технологическую основу следующего поколения как ПКМ, так и электронных компонентов, медицинских изделий и энергетических устройств. Мировой рынок наноматериалов оценивался в 52,7 млрд долл. в 2024 г. и, по прогнозу Global Market Insights, достигнет 146,1 млрд долл. к 2034 г. при среднегодовом темпе роста (CAGR) 10,8 %. Углеродные нанотрубки (УНТ) и графен сегодня производятся в промышленных масштабах: устройства на основе УНТ демонстрируют частоты переключения, приближающиеся к 10 ГГц, что делает их конкурентоспособными с кремниевыми транзисторами в RF- и сенсорных платформах. Наноцеллюлоза как экологически безопасный армирующий агент захватила 34,14 % сегмента биоразлагаемых ПКМ в 2024 г.

Применение наночастиц оксида цинка и диоксида кремния в качестве модификаторов полимерных матриц позволяет повышать ударную вязкость эпоксидных композитов на 40–60 % без увеличения плотности материала. В строительстве добавление наноразмерного кремнезёма (SiO_2) в бетонные смеси сокращает водопоглощение конструкций на 25-35 % и увеличивает прочность на сжатие на 15-20 % по сравнению с обычным портландцементом. Российская наноиндустрия к 2024 г. представлена главным образом продуктами компании UMATEX (Росатом) в сегменте углеволокна, тогда как производство функциональных

наноматериалов – квантовых точек, графена, наночастиц редкоземельных металлов - по-прежнему критически зависит от зарубежных поставок.

Проведённый анализ показал, что три рассмотренных технологических направления развиваются не изолированно, а образуют единую систему с сильными взаимными связями. Аддитивные технологии нуждаются в специализированных порошковых металлах и полимерах, то есть в развитии отечественного производства материалов. Цифровая трансформация требует IIoT-инфраструктуры, которая в свою очередь опирается на наноэлектронику и современные датчики. Производство наноматериалов немыслимо без прецизионного оборудования, часть которого уже может изготавливаться методами АТ [6, 8].

Нами выявлены два принципиально разных сценария дальнейшего развития. Первый - инерционный: импортозамещение ограничивается заменой западных поставщиков азиатскими, без создания собственных технологических компетенций. В этом случае к 2030 г. отрасль достигнет заявленных количественных показателей (50 % технологически инновационных предприятий), однако технологическая зависимость сохранится, изменится лишь её география. Второй - инновационный: государство концентрирует поддержку на «узких местах» - производстве прекурсоров углеволокна, синтезе эпоксидных смол, разработке отечественных аналитических ИИ-платформ - что позволяет выйти на самодостаточность критических цепочек к 2035 г. [5].

Среднее значение импортозамещения по промышленности в 2024 г. оценивается в 70 % [2], однако агрегированная цифра маскирует критическую неравномерность: в производстве обычных металлоконструкций зависимость от импорта минимальна, тогда как в производстве ПКМ, наноматериалов и промышленного ПО она остаётся очень высокой. Без адресной политики по каждому из этих сегментов общий показатель не имеет достаточной практической ценности.

Заключение

Анализ данных за 2020-2025 гг. позволяет сформулировать ряд выводов. Во-первых, аддитивное производство перешло из ниши прототипирования в сферу серийного промышленного выпуска: мировой рынок демонстрирует устойчивые 20 % + годового роста, российский – трёхкратное увеличение к 2027 г. Во-вторых, цифровизация на базе IIoT и ИИ даёт измеримый экономический эффект уже сегодня: снижение простоев на 30–50 %, сокращение затрат на ремонт на 18-25 %. В-третьих, перспективные материалы – ПКМ и наноматериалы – обеспечивают функциональные характеристики, недостижимые традиционными методами, однако российская отрасль сохраняет высокую зависимость от импортного сырья и оборудования. Синергетическое развитие всех трёх направлений при адресной государственной поддержке способно обеспечить технологический суверенитет отечественной промышленности к середине 2030-х гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шваб, К. Четвёртая промышленная революция / К. Шваб ; перевод с английского. – Москва : Эксмо, 2021. – 208 с.

2. Промышленное производство в России – 2024 : статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – Москва : Росстат, 2024. – 347 с.

3. Пульс цифровизации: индекс технологического развития российских компаний по итогам 2024 года : [доклад] / ИТ-холдинг Т1. – Москва : Т1, 2025. – 88 с.

4. Рынок IoT в России: тенденции и перспективы – 2024 : [доклад] / Росатом Инфраструктурные решения (РИР). – Москва : РИР, 2024. – 64 с.

5. Индекс готовности приоритетных отраслей экономики к внедрению ИИ: доклад 2024 г. / Национальный центр развития искусственного интеллекта при Правительстве Российской Федерации. – Москва : НЦРИИ, 2024. – 112 с.

6. Prashar, G. Additive manufacturing: expanding 3D printing horizon in Industry 4.0 / G. Prashar, H. Vasudev // International Journal of Interactive Design and Manufacturing. – 2022. – Vol. 16, № 3. – P. 1229-1243. – DOI 10.1007/s12008-022-00956-4.

7. Прогноз развития российского рынка аддитивных технологий до 2027 г. : [аналитический отчет] / Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ). – Москва : АРАТ, 2024. – 56 с.

8. Wohlers Report 2023: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry / Wohlers Associates. – Fort Collins : Wohlers Associates, 2023. – 390 p.

9. Аддитивные технологии в России: быстрая эволюция в 2022–2023 гг. // Industry3D : отраслевой портал. – 2024. – URL: industry3d.ru (дата обращения: 20.03.2026).

10. 3D печать: итоги 2024 года и тренды 2025 // Twize : [сайт]. – 2025. – URL: https://twize.ru/articles/additive-manufacturing-2024-results/ (дата обращения: 20.03.2026).

11. Инновационные композиционные материалы на основе цемента, древесных отходов и полиэтилентерефталата для промышленного строительства / Т.Н. Стородубцева, Э.А. Черников, О.И. Шакирова, В.А. Бондарев // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15, № 4 (60). – С. 343-355. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2025.4/20.

12. Бондарев, Б.А. Ползучесть композиционных материалов и математическая интерпретация результатов экспериментальных исследований / Б.А. Бондарев, Т.Н. Стородубцева // Строительные материалы. – 2019. – № 9. – С. 76-82. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-774-9-76-82.

13. Патент № 2739888 Российская Федерация, МПК C08L 97/02, B27N 3/00. Способ получения композиционного материала из коры березы : № 2020119811 : заявл. 08.06.2020 : опубл. 29.12.2020 / Черных А. С., Сысоев А. С. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – 7 с. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44699454 (дата обращения: 20.03.2026).

14. Черных, А.С. Проблемы переработки древесных отходов в виде коры березы / А.С. Черных, И.Ю. Рублев // Энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса : материалы Международной научной конференции ученых и студентов, Воронеж, 2024 г. – Воронеж : ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, 2024. – С. 208-212. – DOI 10.58168/E-SEFTFI2024_208-212.

REFERENCES

1. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution / K. Schwab; translated from English. – Moscow: Eksmo, 2021. – 208 p.

2. Industrial Production in Russia – 2024: Statistical Digest / Federal State Statistics Service (Rosstat). – Moscow: Rosstat, 2024. – 347 p.

3. Pulse of Digitalization: Technological Development Index of Russian Companies by the End of 2024: [report] / IT Holding T1. – Moscow: T1, 2025. – 88 p.

4. IoT Market in Russia: Trends and Prospects – 2024: [report] / Rosatom Infrastructure Solutions (RIR). – Moscow: RIR, 2024. – 64 p.

5. AI Readiness Index for Priority Economic Sectors: 2024 Report / National Center for Artificial Intelligence Development under the Government of the Russian Federation. – Moscow: NCRII, 2024. – 112 p.

6. Prashar, G. Additive Manufacturing: Expanding 3D Printing Horizon in Industry 4.0 / G. Prashar, H. Vasudev // International Journal of Interactive Design and Manufacturing. – 2022. – Vol. 16, No. 3. – P. 1229-1243. – DOI 10.1007/s12008-022-00956-4.

7. Forecast for the Development of the Russian Additive Technology Market until 2027: [Analytical Report] / Association for the Development of Additive Technologies (ARAT). – Moscow: ARAT, 2024. – 56 p.

8. Wohlers Report 2023: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry / Wohlers Associates. – Fort Collins : Wohlers Associates, 2023. – 390 p.

9. Additive Technologies in Russia: Rapid Evolution in 2022–2023 // Industry3D : industry portal. – 2024. – URL: industry3d.ru (date of access: March 20, 2026).

10. 3D Printing: Results of 2024 and Trends for 2025 // Twize : [website]. – 2025. – URL: https://twize.ru/articles/additive-manufacturing-2024-results/ (date of access: March 20, 2026).

11. Innovative composite materials based on cement, wood waste and polyethylene terephthalate for industrial construction / T.N. Storodubtseva, E.A. Chernikov, O.I. Shakirova, V.A. Bondarev // Forestry journal. – 2025. – Vol. 15, No. 4 (60). – P. 343-355. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2025.4/20.

12. Bondarev, B.A. Creep of composite materials and mathematical interpretation of the results of experimental studies / B.A. Bondarev, T.N. Storodubtseva // Construction materials. – 2019. – No. 9. – P. 76-82. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-774-9-76-82.

13. Patent No. 2739888 Russian Federation, IPC C08L 97/02, B27N 3/00. Method for producing composite material from birch bark: No. 2020119811: declared 06/08/2020: published 12/29/2020 / Chernykh A.S., Sysoev A.S.; applicant and patent holder FSBEI HE "VSTU". – 7 p. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44699454 (accessed: 03/20/2026).

14. Chernykh, A.S. Problems of processing wood waste in the form of birch bark / A.S. Chernykh, I.Yu. Rublev // Energy-saving and environmentally friendly technologies of the forest industry complex: materials of the International scientific conference of scientists and students, Voronezh, 2024. – Voronezh: VSUFT named after G.F. Morozov, 2024. – P. 208-212. – DOI 10.58168/E-SEFTFI2024_208-212.