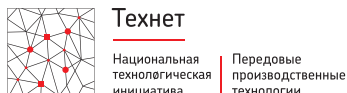


Тенденции и перспективы развития новых материалов

(включая цифровые технологии
моделирования изделий из композиционных
материалов на основе инструментов
разработки и применения цифровых
двойников композиционных материалов)

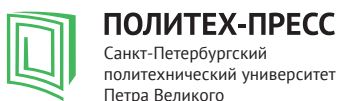
Экспертно-
аналитический
доклад





ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ВКЛЮЧАЯ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ИНСТРУМЕНТОВ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ
ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ)
ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

Монография



Санкт-Петербург
2026

Рецензенты:

Член-корреспондент Российской академии наук, доктор химических наук, профессор,
проректор по научно-исследовательской работе,
руководитель Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий
Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х. М. Бербекова
С. Ю. Хаширова

Доктор физико-математических наук, профессор,
директор Научно-образовательного центра «Суперкомпьютерное инженерное
моделирование и разработка программных комплексов» (НОЦ «СИМПЛЕКС»),
заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика»
Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана
Ю. И. Димитриенко

Авторы:

А. И. Боровков, Е. Р. Мартынец, Л. А. Щербина, Ю. А. Рябов, Е. Р. Хуторцова,
И. И. Поняева, Е. П. Чхеидзе, Д. Д. Ожгибесова

Тенденции и перспективы развития новых материалов (включая цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов). Экспертно-аналитический доклад : монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2026. – 172 с.

Содержит результаты исследования, посвященного тенденциям и перспективам развития рынка новых материалов, в том числе композиционных материалов, а также технологий цифрового моделирования изделий из композиционных материалов. В монографии рассмотрены общие характеристики изучаемого рынка, основные игроки и их новые крупные проекты, а также ключевые технологии, применяемые мировыми лидерами, и направления научных исследований и разработок. Кроме того, представлен анализ нормативного правового регулирования развития рынка новых материалов, соответствующего национального и международного нормативно-технического ландшафта.

Подготовлена Инфраструктурным центром «Технет» (передовые производственные технологии) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.



Technet
National
Technology
Initiative

Advanced
Manufacturing
Technologies



WCRC
ADVANCED DIGITAL
TECHNOLOGIES



POLYTECH
Advanced Manufacturing
Technologies Center
National Technology Initiative



SPbPU COMPUTER-AIDED
ENGINEERING CENTRE
OF EXCELLENCE

NTI TECHNET'S ADVANCED MATERIALS MARKET: TRENDS AND PROSPECTS. A CASE STUDY OF SOFTWARE TOOLS FOR SIMULATING ENGINEERED COMPOSITE PRODUCTS AND DEVELOPING COMPOSITE MATERIALS DIGITAL TWINS

AN EXPERT AND RESEARCH REPORT

Monograph



POLYTECH PRESS
Peter the Great
St. Petersburg Polytechnic
University

Saint Petersburg
2026

Reviewed by:

S. Yu. Khashirova, Vice-Rector for Research of Berbekov Kabardino-Balkarian State University,
Head of the Berbekov Kabardino-Balkarian State University Center for Advanced Materials
and Additive Technology, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,
Doctor of Sciences in Chemistry, Professor

Yu. I. Dimitrienko, Director of the SIMPLEX (Supercomputer Engineering Modeling
and Software Development) Scientific and Educational Center
at Bauman Moscow State Technical University,
Chair of the Bauman Moscow State Technical University Computational Mathematics and
Mathematical Physics Department, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor

Authored by:

A. I. Borovkov, E. R. Martynets, L. A. Shcherbina, Yu. A. Ryabov, E. R. Khutortsova,
I. I. Ponyaeva, E. P. Chkheidze, D. D. Ozhgibesova

NTI Technet's Advanced Materials Market: Trends and Prospects. A Case Study of Software Tools for Simulating Engineered Composite Products and Developing Composite Materials Digital Twins. An Expert and Research Report : monograph / A. I. Borovkov [et al.] ; ed. by A. I. Borovkov. – St. Petersburg : POLYTECH-PRESS, 2026. – 172 p.

This monograph provides analysis and insight on the advanced materials market, with a particular focus on software tools for simulating composite materials in manufacturing. It outlines the market landscape by highlighting key players, detailing their product and service offerings, and profiling significant projects. A separate section explores R&D activities in advanced materials, showcasing core technologies employed by leading global companies. The authors also examine the relevant legislative and regulatory framework together with national and international standards.

This monograph has been prepared by the National Technology Initiative's Technet Infrastructure Center at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

Approved for printing by the Publishing Council of the
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Academic Council.

ISBN 978-5-7422-9532-7

doi:10.18720/SPBPU/2/id26-451

© Borovkov A. I., scientific editing, 2026

© Peter the Great

St. Petersburg Polytechnic University, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК РИСУНКОВ	6
СПИСОК ТАБЛИЦ.....	8
ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1. ОБЗОР МИРОВОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫНКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	12
ГЛАВА 2. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ИГРОКОВ РЫНКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	35
ГЛАВА 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	61
ГЛАВА 4. ОБЗОР НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	83
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ИЗДЕЛИЯ И ПЛАТФОРМЕННЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК	92
5.1. Подходы к интеграции технологий моделирования материалов при создании цифровых двойников изделий.....	94
5.2. Платформенные решения, их роль и возможности для создания технологических цепочек от исследований и разработок цифрового двойника материала до инжиниринга изделий.....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СВОДНАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕМА МИРОВОГО РЫНКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ЕГО СЕГМЕНТОВ	110
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ИГРОКОВ МИРОВОГО РЫНКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО СЕГМЕНТАМ	112
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ЗАПРОСЫ ДЛЯ ПОИСКА ПАТЕНТОВ И ПУБЛИКАЦИЙ В ОБЛАСТИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	117
БИБЛИОГРАФИЯ.....	119

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Объем мирового рынка новых материалов в 2025 и 2035 гг., млрд долл.....	13
Рисунок 2. Объем мирового рынка новых материалов по годам, 2023–2035 гг., млрд долл., и среднегодовой темп роста рынка, %	14
Рисунок 3. Сегментация мирового рынка новых материалов, объем рынка по годам, 2023–2035 гг., млрд долл.....	15
Рисунок 4. Доля и объем сегментов мирового рынка новых материалов, 2025 и 2035 гг., млрд долл., %.....	16
Рисунок 5. Доли подсегментов рынка новых материалов: сегменты передовых металлов и сплавов, передовых стекол, передовых композиционных материалов, передовых полимеров	17
Рисунок 6. Региональная сегментация рынка новых материалов: сегменты передовых стекол, передовых керамических материалов, передовых композиционных материалов, %	18
Рисунок 7. Отраслевая сегментация мирового рынка новых материалов: сегменты передовых керамических материалов, передовых стекол, %	19
Рисунок 8. Объем мирового рынка программного обеспечения моделирования композиционных материалов, 2023–2035 гг., млрд долл.	21
Рисунок 9. Региональная сегментация рынка программного обеспечения моделирования композиционных материалов, 2025, %	21
Рисунок 10. Объем отечественного рынка композиционных материалов по годам, 2023–2035 гг., млрд руб.....	22
Рисунок 11. Сегментация отечественного рынка композиционных материалов по типу волокна по годам, 2024–2030 гг., млрд руб.....	23
Рисунок 12. Сегментация отечественного рынка композиционных материалов по типу волокна, 2024 и 2030 гг., %.....	23
Рисунок 13. Отраслевая сегментация отечественного рынка композиционных материалов на основе углеволокна в натуральном выражении, 2026 и 2030 гг., тыс. тонн.....	24
Рисунок 14. Отраслевая сегментация отечественного рынка композиционных материалов на основе углеволокна, 2026 и 2030 гг., %	25
Рисунок 15. Тренды и драйверы развития рынка передовых материалов в соответствии с уровнем влияния в разрезе сегментов: передовые стекла, передовые керамические материалы, 2025, условные ед.	31
Рисунок 16. Барьеры и ограничения развития рынка передовых материалов в соответствии с уровнем влияния в разрезе сегментов: передовые композиционные материалы, передовые стекла, передовые керамические материалы, 2025, условные ед.	33
Рисунок 17. Бизнес-модель деятельности основных игроков рынка новых материалов.....	44

Рисунок 18. Технологический ландшафт компаний НТИ в области новых материалов	57
Рисунок 19. Общая выручка компаний НТИ, специализирующихся в области новых материалов, по годам, 2020–2025 гг., млн руб.	57
Рисунок 20. Среднее и медианное значение выручки компаний НТИ, специализирующихся в области новых материалов, по годам, 2020–2025 гг., млн руб.	58
Рисунок 21. Международный и национальный нормативно-технический ландшафт в области материалов, включая новые материалы, в разрезе типов материалов, %.....	81
Рисунок 22. Международный и национальный нормативно-технический ландшафт в области материалов, включая новые материалы.....	82
Рисунок 23. Динамика изменения количества патентных документов в мире, 2016–2025 гг., ед.	83
Рисунок 24. Количество патентных документов по направлениям новых материалов, принадлежащих ТОП-5 компаниям-лидерам, 2016–2025 гг., ед.	85
Рисунок 25. Наиболее часто встречающиеся коды международной патентной классификации в области передовых материалов, 2016–2025 гг., ед.	86
Рисунок 26. Динамика изменения количества научных публикаций в области передовых материалов, 2016–2025 гг., ед.	88
Рисунок 27. Количество научных публикаций в области передовых материалов по аффилиации в России (ТОП-5 организаций), 2016–2025 гг., ед.....	89
Рисунок 28. Количество научных публикаций в области передовых материалов по аффилиации в мире (ТОП-5 организаций), 2016–2025 гг., ед.....	90
Рисунок 29. Принципы разработки изделий из композиционных материалов	93
Рисунок 30. Диаграмма Эшби «Модуль Юнга – Плотность» для решения задачи поиска материала минимальной массы и достаточной жесткости	95
Рисунок 31. Концепция подхода к созданию цифрового двойника композиционного материала.....	97
Рисунок 32. Архитектура ВИП ЦДКМ	98
Рисунок 33. Технологическая цепочка цифрового двойника материала – Инжиниринг изделий (с учетом цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов)	106

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Сегментация рынка новых материалов (Advanced Materials).....	12
Таблица 2. Тренды и драйверы развития мирового и отечественного рынка новых материалов	27
Таблица 3. Барьеры и риски развития мирового и отечественного рынка новых материалов	31
Таблица 4. Описание деятельности основных игроков мирового рынка новых материалов	35
Таблица 5. Сделки по слиянию и поглощению компаний в области новых материалов.....	46
Таблица 6. Кооперации, партнерства и сотрудничества в области новых материалов.....	47
Таблица 7. Инвестиционные проекты в области новых материалов	49
Таблица 8. Новые проекты в области новых материалов	51
Таблица 9. Обзор отечественных игроков рынка новых материалов	55
Таблица 10. Обзор отечественных компаний, специализирующихся в области новых материалов и вовлеченных в реализацию направления НТИ	58
Таблица 11. Государственные меры поддержки и программы развития в области новых материалов в различных странах, включая страны БРИКС	61
Таблица 12. Результаты анализа международного и национального нормативно-технического ландшафта в области материалов, включая новые материалы.....	72
Таблица 13. Количество действующих патентных документов по странам, 2016–2025 гг., ед. ..	84
Таблица 14. Количество научных публикаций в области передовых материалов по странам (ТОП-10), 2016–2025 гг., ед.	88
Таблица 15. Процессы разработки и постановки на производство изделий из композиционных материалов	100
Таблица 16. Перечень цифровых платформ, применяемых при разработке цифровых моделей материалов и изделий.....	102
Таблица 17. Сводная оценка объема мирового рынка новых материалов, сегментов и подсегментов рынка, 2023–2035 гг., млрд долл.	110
Таблица 18. Сводный перечень основных игроков мирового рынка новых материалов по сегментам	112
Таблица 19. Запросы для поиска патентов и публикаций в области новых материалов	117

ВВЕДЕНИЕ

Аналитическое исследование рынка и сегментов рынка **«Тенденции и перспективы развития новых материалов (включая цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов)»** подготовлено Инфраструктурным центром «Технет» (передовые производственные технологии), созданным в 2024 году на базе Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (далее – ИЦ «Технет» СПбПУ).

Новые материалы (передовые материалы, Advanced Materials) – один из важнейших **технологических сегментов направления «Технет»** (передовые производственные технологии) НТИ. Данный сегмент выделен в качестве одного из ключевых направлений для реализации национальных проектов технологического лидерства, что было отмечено первым заместителем Председателя Правительства Д.В. Мантуровым на съезде Союза машиностроителей России в 2026 году [1].

Под новыми материалами понимают класс наукоемких материалов и веществ, физико-механические и эксплуатационные свойства которых превосходят традиционные (базовые) аналоги по ряду характеристик. Как правило, новые материалы обладают улучшенной функциональностью для решения конкретных задач в соответствии с областью применения и конкретными условиями эксплуатации, что требует специальных условий производства и методов испытаний.

Физико-механические свойства и структура таких материалов обеспечивают высокие показатели в части прочности, жесткости, трещиностойкости, усталостной долговечности, легкости, пластичности, устойчивости к высоким температурам, экстремальным условиям эксплуатации и коррозии, способности к деформации без разрушения, химической стойкости к агрессивным средам или другим внешним факторам. К новым материалам также относятся вещества и компоненты, способные восстанавливать форму, реагировать на внешние раздражители, обладающие электропроводностью, магнитными, оптическими, биофункциональными (включая биологическую активность, биосовместимость, биоразлагаемость, способность к вторичной переработке) и другими уникальными функциональными свойствами, а также сложной многокомпонентной структурой.

Разработка новых материалов в современных реалиях носит сложный инновационный и междисциплинарный характер. Ключевым подходом в данном направлении выступает формирование «функциональности» материала: требуемые эксплуатационные свойства конечного изделия (а следовательно, и свойства материала) задают рецептуру, структуру материала и применяемые технологии обработки еще на этапе проектирования, то есть происходит разработка материала с заранее заданными потребителем или разработчиком свойствами.

Реализация данного подхода разработки материалов с заданными свойствами невозможна без внедрения и интеграции сквозных технологий цифрового проектирования и моделирования, а также интеллектуальных систем анализа и управления, включая искусственный интеллект и машинное обучение. Использование цифровых двойников материалов, методов машинного обучения для прогнозирования структуры и свойств материала позволяет:

- анализировать поведение материала (деформацию, разрушение, усталость, устойчивость, фазовые переходы) до начала его физического изготовления;
- выявлять возможности для улучшения структуры и / или состава материала (включая оптимизацию армирования, пористости и др.);
- определять и корректировать параметры технологического процесса (температурные режимы, скорость охлаждения, давление, траектории печати) с учетом конкретного оборудования и технических условий;

- обеспечивать ускоренный вывод материала и конечного изделия на рынок за счет сокращения этапа проектирования и перепроектирования, минимизации затрат на дорогостоящие испытания образцов материалов.

Таким образом, цифровая трансформация материаловедения становится необходимым условием конкурентоспособности в условиях создания новых материалов следующего поколения.

Исследование в области новых материалов носит актуальный характер по ряду причин. Так, глобальная повестка фокусирует внимание на новых материалах как **критически важных ресурсах** для обеспечения прогресса и технологического лидерства в промышленности и других отраслях, включая авиастроение, энергетику, микроэлектронику, в силу их улучшенных характеристик. Безусловно, развитие и внедрение новых материалов невозможно без современных технологий разработки и цифрового моделирования свойств, инновационных стандартов и государственной поддержки направлений, а также активной вовлеченности ключевых игроков, в том числе в научные исследования, что и является предметом изучения в экспертно-аналитическом докладе.

Не менее важное влияние на формирование тенденций в развитии материалов оказывают **национальные приоритеты**. Реализация в России национального проекта «Новые материалы и химия», комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства», дорожной карты «Технологии новых материалов и веществ» определяют направления государственной поддержки в данной области, критически важные для достижения национальной цели технологического лидерства и обеспечения лидирующих позиций России на мировой арене с высоким уровнем суверенности и независимости от зарубежных решений и продукции с учетом имеющегося в стране потенциала для создания опережающих разработок.

На **мировой арене** тематика новых материалов также находится в центре внимания во многих развитых странах, включая страны, входящие в межгосударственное объединение БРИКС. Среди государств, активно поддерживающих фундаментальные и прикладные исследования в области новых материалов, находятся США, страны Европейского союза, Китай и некоторые другие государства.

Экспертно-аналитический доклад сфокусирован на тематике новых материалов, в том числе аспектах применения технологий цифрового проектирования и моделирования материалов, а также цифровых двойников материалов, и является продолжением серии исследований в области новых материалов, проводимых в рамках деятельности Инфраструктурного центра «Технет» на базе СПбПУ (в частности, [2–4] и др.). Содержание доклада представлено в пяти главах, каждая из которых отражает ключевые аспекты развития рынка новых материалов.

Первая глава доклада посвящена анализу рынка новых материалов, включая объем и темпы роста рынка, тренды, барьеры и риски развития, зрелость рынка. В рамках анализа рынка новых материалов рассмотрены пять ключевых сегментов рынка – передовые композиционные материалы, передовые керамические материалы, передовые полимеры, передовые стекла, передовые металлы и сплавы.

При этом, учитывая фундаментальную роль цифрового проектирования и моделирования (одного из ключевых сегментов направления «Технет» НТИ) в создании композиционных материалов с заданными свойствами, отдельные части отчета сфокусированы на сегменте программного обеспечения моделирования композиционных материалов.

Вторая глава экспертно-аналитического доклада содержит анализ деятельности ключевых игроков рынка в разрезе основных сделок слияний и поглощений, соглашений о сотрудничестве и кооперации, реализуемых инвестиционных и научно-исследовательских проектов, бизнес-моделей, неудавшихся проектов. Рассмотрены лидеры рынка новых материалов из таких стран, как США, Китай, Россия, Германия, Япония, Великобритания, Саудовская Аравия, Франция, Швеция, Бельгия.

Также проведен анализ деятельности российских компаний, специализирующихся на тематике новых материалов и вовлеченных в реализацию направления «Технет» НТИ.

Третья глава доклада содержит результаты анализа мер государственной поддержки исследований в области новых материалов в США, Великобритании, Европейском союзе, а также некоторых странах, входящих в межгосударственное объединение БРИКС – Китае, России, Индии, Бразилии и Иране. Также в главе представлен международный и национальный нормативно-технический ландшафт в области материалов, включая новые материалы, на основе анализа деятельности международных, региональных и национальных организаций по стандартизации, включая организации США, Великобритании, Японии, Китая и России.

В четвертой главе доклада представлены результаты библиометрического и патентного анализа в области новых материалов, выделены ключевые разработки и научные направления исследований в данной области.

Пятая глава доклада посвящена обзору научных разработок и направлений развития в области цифрового проектирования и моделирования материалов с фокусировкой на цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов.

Таким образом, рассматриваемая в экспертно-аналитическом докладе «Тенденции и перспективы развития новых материалов (включая цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов)» тематика новых материалов является одним из ключевых приоритетов инновационной, научно-технологической и промышленной политики как в России, так и в ведущих зарубежных странах.

Данное направление лежит на стыке фундаментального материаловедения и цифрового инжиниринга, в связи с чем формируется способность разрабатывать новые материалы с заданными свойствами и масштабировать области их применения, что определяет глобальную конкурентоспособность ключевых игроков рынка и стран-лидеров. Результаты анализа, представленные в докладе, могут стать основой для формирования согласованной комплексной национальной политики в области новых материалов, что будет способствовать укреплению технологического суверенитета в высокотехнологичных отраслях и повышению конкурентоспособности отечественных производств.

ГЛАВА 1. ОБЗОР МИРОВОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫНКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В главе рассмотрен рынок новых материалов в разрезе основных сегментов рынка, объема и темпов роста, стадии зрелости рынка, ключевых технологических, нормативно-правовых и других стратегически значимых трендов развития рынка, барьеров и рисков развития рынка. Анализ сфокусирован на пяти ключевых сегментах рынка новых материалов, каждый из которых формирует отдельный крупный рынок – композиционные, керамические, полимерные материалы, стекла, металлы и сплавы.

Дополнительно рассмотрен рынок программного обеспечения моделирования композиционных материалов, активно развивающийся как с точки зрения технологической основы и функциональных возможностей, так и со стороны расширения спектра охватываемых материалов и областей отраслевого применения.

Мировой рынок новых материалов

Мировой рынок новых материалов (Advanced Materials) обладает фрагментарной структурой, что вызвано разнообразием материалов, физические свойства которых позволяют отнести их к группе новых (передовых, улучшенных) материалов, обладающих более совершенными свойствами.

Согласно анализу данных аналитических и экспертных отчетов, представленных в открытом доступе, можно выделить 5 крупных сегментов рынка новых материалов, которые в незначительной степени могут пересекаться, однако физико-механические свойства и способы обработки данных материалов позволяют отнести их к конкретным сегментам – типам или классам материалов: **передовые композиционные материалы, передовые керамические материалы, передовые полимеры, передовые стекла, передовые металлы и сплавы.**

При этом сегменты полимеров, металлов и сплавов также следует разделить на соответствующие подсегменты в связи с многообразием веществ, составляющих основу материала. Сегментация полимеров, металлов и сплавов рассмотрена с точки зрения функционального назначения материала и его функциональных особенностей, обеспечивающих специализированные свойства в сравнении с традиционными материалами. Стоит отметить, что данная сегментация не является исчерпывающей и может быть расширена, однако для целей настоящего исследования сегментация является достаточно комплексной и отражает основные направления развития рынка новых материалов в части придания им уникальных и специфических свойств.

Таблица 1. Сегментация рынка новых материалов (Advanced Materials)

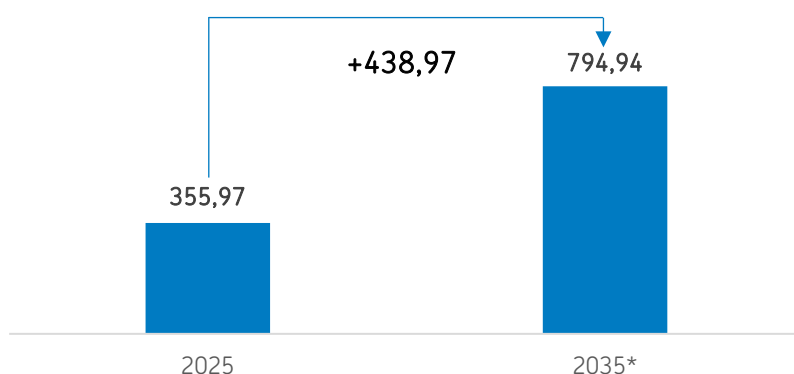
№ п/п	Сегменты рынка новых материалов
1	Передовые металлы и сплавы (Advanced Metals & Alloys) [5; 6] 1.1. Высокоэффективные сплавы (High Performance Alloys) [7–14] 1.2. Функциональные металлы и сплавы 1.2.1. Магнитные сплавы (Magnetic Alloys) [15] 1.2.2. Сверхпроводящие сплавы ниобий-титан (NbTi Superconducting Alloys) [16–19] 1.2.3. Термоэлектрические сплавы (Thermoelectric Alloys) [20–22] 1.2.4. Сплавы с регулируемым расширением (Controlled-expansion Alloys) [23; 24] 1.2.5. Высокочистые металлы (High Purity Metals) [25–27] 1.3. Стимул-чувствительные металлы и сплавы (Stimuli-responsive Metals & Alloys) 1.3.1. Сплавы с памятью формы (Shape Memory Alloys) [28–34] 1.3.2. Магнитострикционные сплавы (Magnetostriuctive Alloys) [35] 1.3.3. Аморфные металлы, включая металлические стекла (Amorphous Metals, including Metallic Glasses) [36; 37] 1.4. Металлопорошки для аддитивного производства (Metals Powders) [38–46] 1.5. Прочие металлы и сплавы
2	Передовые стекла (Advanced Glasses) [47–56]

№ п/п	Сегменты рынка новых материалов
3	Передовые керамические материалы (Advanced Ceramics ¹) [57–68]
4	Передовые полимеры (Advanced Polymer Materials) [69–72] 4.1. Проводящие полимеры (Conductive Polymers) [73–82] 4.2. Стимул-чувствительные полимеры (Stimuli-responsive Polymers) 4.2.1. Полимеры с памятью формы (Shape Memory Polymers) [83–90] 4.2.2. Самовосстанавливающиеся полимеры (Self-healing / Self-repairing Polymers) [91–98] 4.2.3. Электроактивные полимеры (Electroactive Polymers) [99–103] 4.3. Полимеры для экстремальных условий и барьерных применений 4.3.1. Высокотемпературные полимеры (High-temperature Polymers) [104; 105] 4.3.2. Полимеры с высокими барьерными свойствами (High-barrier Polymers) [106] 4.4. Полимеры для аддитивного производства (Polymers for Additive Manufacturing / 3D Printing Plastics) [107–116] 4.5. Прочие полимеры
5	Передовые композиционные материалы (Advanced Composite Materials) [117–129]

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Представленный анализ рынка новых материалов на основании совокупности рассмотренных сегментов позволяет определить объем и темпы роста рынка.

Рисунок 1. Объем мирового рынка новых материалов в 2025 и 2035 гг., млрд долл.



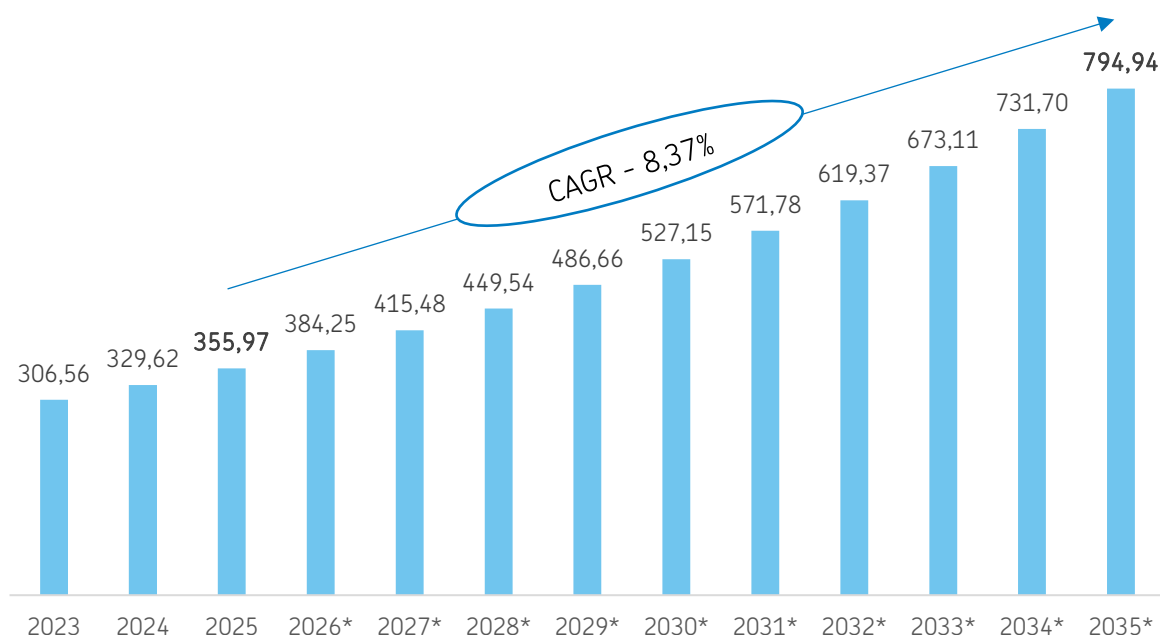
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

Так, **объем мирового рынка новых материалов**, который включает 5 сегментов, рассмотренных в отчете, составил 355,97 млрд долл. в 2025 году и, согласно прогнозу, увеличится до 794,94 млрд долл. к 2035 году. Важно отметить, что здесь и далее представлены результаты совокупного анализа информации, представленной в открытом доступе, на основе усредненной оценки данных аналитических и консалтинговых агентств, при этом открытые данные по некоторым сегментам и/или подсегментам рынка могут отсутствовать.

Среднегодовые **темпы роста мирового рынка новых материалов** в период с 2025 по 2035 год составят 8,37%, что демонстрирует умеренный рост рынка. Темпы роста отдельных сегментов и подсегментов рынка варьируются от 4,74% (рынок высокоэффективных сплавов) до 21,76% (рынок самовосстанавливающихся полимеров), что нивелирует совокупный темп роста рассматриваемого рынка новых материалов.

¹ В профессиональной среде термины «инженерная» (engineered), «техническая» (technical) и «тонкая керамика» (fine) зачастую являются взаимозаменяемыми синонимами «передовой керамики» (Advanced Ceramics), что в общем случае обозначает инновационный класс материалов с заданными эксплуатационными свойствами и функциональной спецификой, а также подчеркивает высокотехнологичное применение данного типа материала.

Рисунок 2. Объем мирового рынка новых материалов по годам, 2023–2035 гг., млрд долл.,
и среднегодовой темп роста рынка, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

Так, рынок металлов и сплавов будет увеличиваться со среднегодовым темпом роста около 9,42% в период 2025–2035 гг., рынок передовых стекол – со среднегодовым темпом роста рынка, равным 6,66%. Рынок передовых керамических материалов, в свою очередь, будет увеличиваться с темпами 6,78% в год.

Наибольший рост рынка ожидается для сегмента передовых полимеров – 9,88% в рассматриваемый период. Рынок передовых композиционных материалов будет расти с темпами 9,16% в год за период 2025–2035 гг.

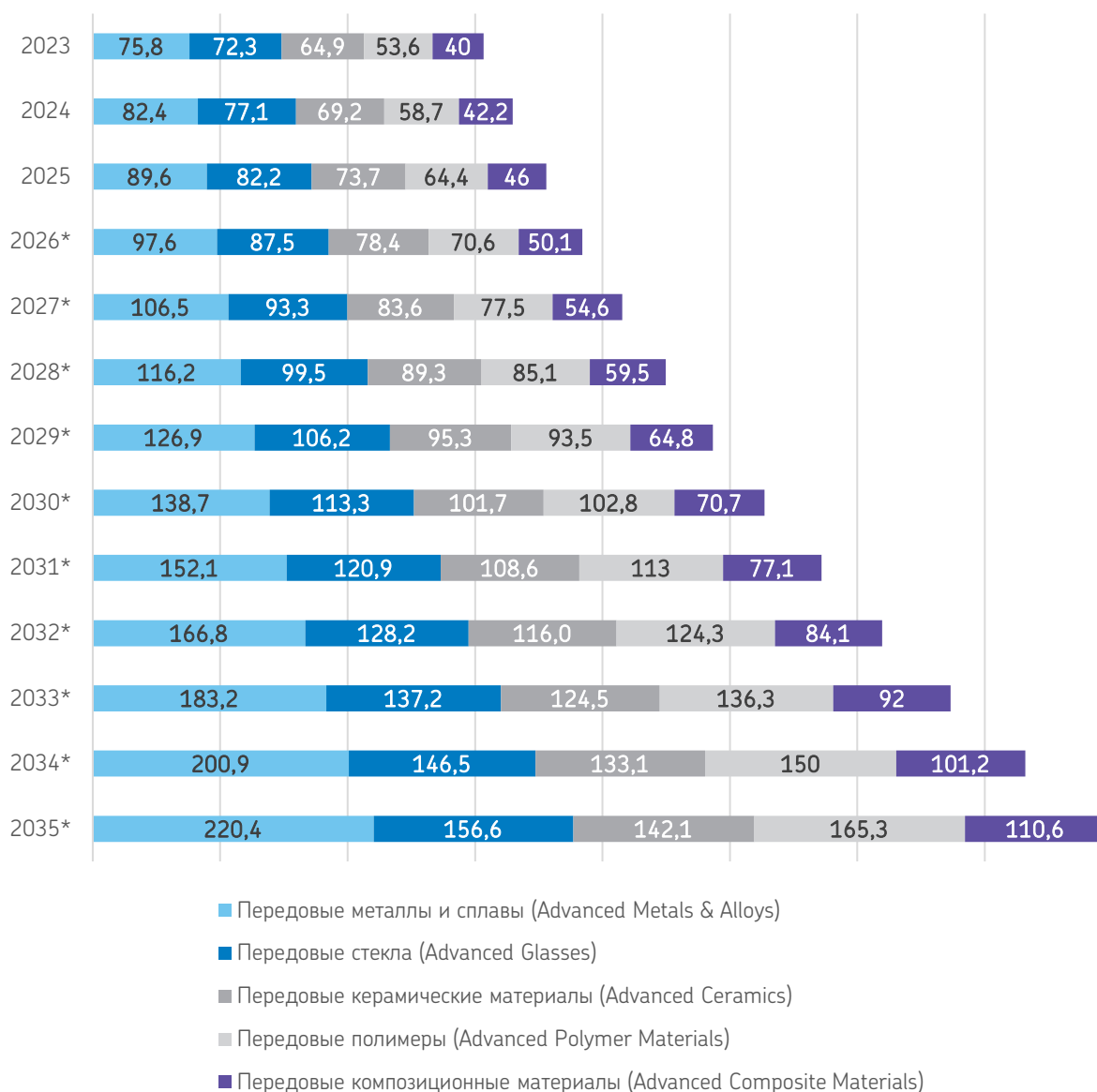
Анализ мирового рынка новых материалов в 2025 году демонстрирует примерно равнозначное распределение сегментов рынка. **Наибольшую долю рынка** занимает сегмент передовых металлов и сплавов (89,64 млрд долл., что составляет 25% рынка) и сегмент передовых стекол (82,17 млрд долл., 23%). Сегмент передовых керамических материалов составляет 73,74 млрд долл. и занимает 21% рынка, сегмент передовых полимеров – 64,39 млрд долл. (18% рынка). Сегмент передовых композитов, в свою очередь, занимает **наименьшую долю рынка** – 46,03 млрд долл., что от общего объема рынка новых материалов составляет около 13%.

При этом к 2035 году ожидается перераспределение долей рынка – наибольший объем рынка займет сегмент передовых металлов и сплавов (28%, объем рынка составит более 220 млрд долл.), затем сегмент передовых полимеров (увеличение до 21%, что составит 165,3 млрд долл.).

Снизится доля рынка передовых стекол до 19% (суммарно 156,6 млрд долл.) и передовой керамики до 18% (объем рынка более 142 млрд долл.). Передовые композиты так же будут занимать наименьшую долю рынка, которая незначительно увеличится до 14%, объем рынка композитов составит 110,6 млрд долл. в 2035 году.

Несколько иная оценка объема рынка новых материалов дана в материалах 12 аналитических и консалтинговых агентств, таких как Market Data Forecast, Research Nester, Credence Research, Market.U.s, Zion Market Research, 360iResearch™, Global Insight Services, The Business Research Company, Verified Market Research, Precedence Research, Market Research Future и OG Analysis, при этом компании сходятся в оценках.

Рисунок 3. Сегментация мирового рынка новых материалов, объем рынка по годам, 2023–2035 гг., млрд долл.



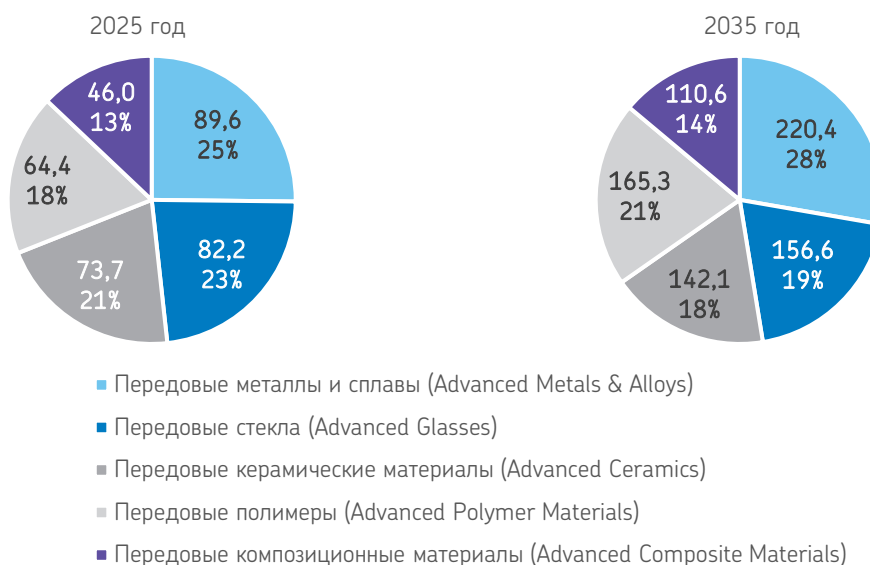
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

Усредненная оценка мирового рынка новых материалов, согласно данным аналитических компаний, составила 79,26 млрд долл. в 2025 году. Прогнозируется объем рынка, равный 154,92 млрд долл. в 2035 году при среднегодовом темпе роста рынка 6,93% [130–141].

Данное расхождение в оценке рынка (примерно в 4,5 раза) объясняется в первую очередь различием в применяемой методологии расчета рынка и отсутствием единого подхода к расчету глобального рынка новых материалов, отсечением некоторых сегментов при анализе рынка отдельными агентствами, а также возможным пересечением рассматриваемых сегментов рынка, в связи с чем может возникнуть повторный учет отдельно взятых типов новых материалов и сегментов рынка.

Тем не менее комплексный подход к оценке отдельных сегментов рынка новых материалов, представленный в текущем докладе, демонстрирует масштабы рынка и позволяет выявить наиболее существенные направления развития рынка, а также отдельные ниши рынка.

Рисунок 4. Доля и объем сегментов мирового рынка новых материалов, 2025 и 2035 гг., млрд долл., %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

Анализ отдельных сегментов рынка новых материалов свидетельствует о многообразии используемых в промышленности материалов и веществ. Так, среди **сегментов передовых металлов и сплавов** наибольшую долю рынка в 2025 году занимали стимул-чувствительные металлы и сплавы (сплавы с памятью формы, магнитострикционные сплавы, аморфные металлы, включая металлические стекла) – около 38% рынка. Ожидается, что к 2035 году этот сегмент мирового рынка передовых металлов и сплавов продолжит занимать лидирующие позиции на рынке, доля сегмента при этом увеличится до 50%.

Сегментация мирового рынка передовых стекол по типу продукции, согласно данным Future Market Insights, демонстрирует наибольший спрос на ламинированные (многослойные) стекла – доля данного сегмента составляла 40,5% в 2025 году [47]. На втором месте – закаленные стекла с долей рынка 36%. Наименьшую долю мирового рынка передовых стекол занимают стекла с функциональным покрытием – 23,5%.

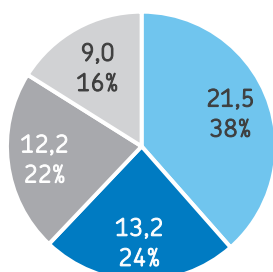
Большую часть **мирового рынка передовых композиционных материалов** составляют полимерные композиты (около 75% рынка [142]), которые сегментируются, как правило, по типу используемой полимерной матрицы (связующего компонента, смолы). Наибольшую часть рынка полимерных композитов традиционно занимают термореактивные композиты (64%), термопластичные композиционные материалы, в свою очередь, занимают 36% рынка согласно оценке Precedence Research [119].

Сегментация рынка композиционных материалов по типу волокна приведена в аналитическом обзоре Future Market Insights – лидирующие позиции занимает углеродное волокно (54,7%), оставшиеся 45,3% занимают арамидное и стекловолокно [118]. Несколько иную оценку рынка композиционных материалов по типу волокна приводит Vantage Market Research & Consultancy Services, согласно которым углеволокно занимало 64,5% рынка в 2023 году, арамидное волокно – около 20%, стекловолокно – 15,5% [123].

Схожие оценки представлены в отчете Polaris Market Research and Consulting – доля углеволокна оценивалась в 2024 году в 69,3% рынка передовых композиционных материалов [126]. Research Nester, в свою очередь, прогнозирует долю углеволокна на рынке композиционных материалов, равную 66,2% к 2035 году [128]. Таким образом, все рассмотренные агентства сходятся в оценке, что углеродное волокно является лидером на рынке передовых композитов и повсеместно применяется в производстве композитов.

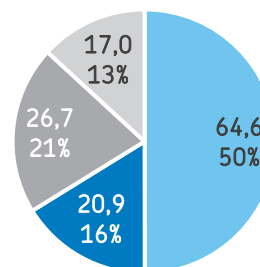
Рисунок 5. Доли подsegmentов рынка новых материалов: сегменты передовых металлов и сплавов, передовых стекол, передовых композиционных материалов, передовых полимеров

Сегментация мирового рынка передовых металлов и сплавов, 2025, млрд долл., %

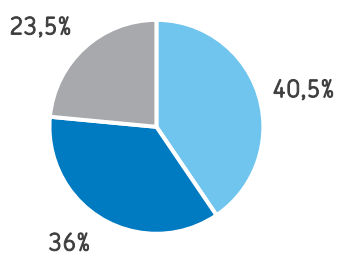


- Стимул-чувствительные металлы и сплавы (Stimuli-Responsive Metals & Alloys)
- Высокоэффективные сплавы (High Performance Alloys)
- Функциональные металлы и сплавы
- Металлопорошки для аддитивного производства (Metals Powders)

Сегментация мирового рынка передовых металлов и сплавов, 2035, млрд долл., %

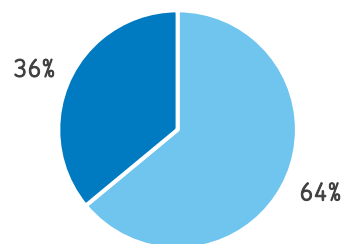


Сегментация мирового рынка передовых стекол по типу продукта, 2025, %



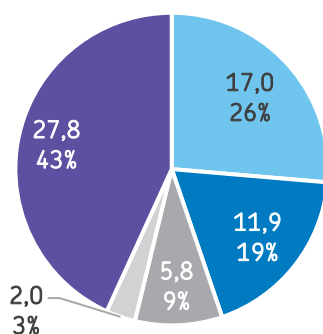
- Ламинированное (многослойное) стекло
- Закаленное стекло
- Стекло с функциональным покрытием

Сегментация мирового рынка передовых композиционных материалов по типу полимерной матрицы, 2025, %



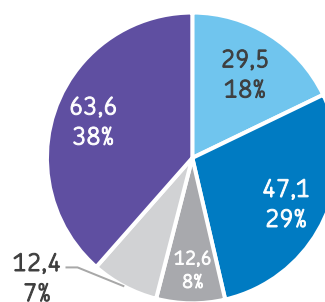
- Термореактивные композиционные материалы
- Термопластичные композиционные материалы

Сегментация мирового рынка передовых полимеров, 2025, млрд долл., %



- Полимеры для экстремальных условий и барьерных применений
- Стимул-чувствительные полимеры (Stimuli-responsive Polymers)
- Проводящие полимеры (Conductive Polymers)
- Полимеры для аддитивного производства (Polymers for additive manufacturing / 3D Printing Plastics)
- Прочие полимеры

Сегментация мирового рынка передовых полимеров, 2035, млрд долл., %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Future Market Insights [47], Precedence Research [119] и другим материалам открытых источников, 2026

Компания Global Insight Services приводит оценку мирового рынка передовых композиционных материалов в натуральном выражении – в 2024 году объем рынка составил 320 млн тонн, к 2028 году ожидается рост объема рынка до 500 млн тонн, прирост составит 56% [125].

Согласно анализу **мирового рынка передовых полимеров**, лидирующее положение на рынке в 2025 году занимал сегмент полимеров для экстремальных условий и барьерных применений (высокотемпературные полимеры и полимеры с высокими барьерными свойствами) – 26% рынка, 17 млрд долл. При этом ожидается, что к 2035 году распределение сегментов на рынке изменится и наибольшую долю (29%, 47,1 млрд долл.) займут стимул-чувствительные полимеры, к которым относятся полимеры с памятью формы, самовосстанавливающиеся и электроактивные полимеры.

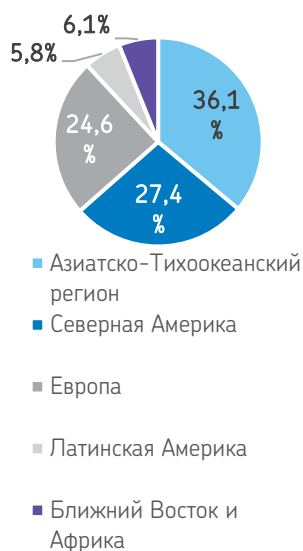
В ходе анализа **сегментов мирового рынка передовых керамических материалов**, в свою очередь, определено, что лидирующим подсегментом рынка по типу материала выступает алюминия (оксид алюминия, Al_2O_3). Оценка доли данного подсегмента на рынке варьируется от 35% до 37,7% в 2025 году [58–61; 64].

Важно отметить существенное развитие **мирового рынка материалов для аддитивного производства**. Так, в 2023 году 37,8% мирового рынка материалов для аддитивного производства занимали полимерные порошки, 19,7% – металлопорошки, согласно данным экспертного агентства в области аддитивных технологий Wohlers Report [143]. В 2024 году была дана иная оценка рынка – металлы занимали 54% рынка, в то время как полимеры были на втором месте по доле рынка, согласно данным компании «Деловой профиль» [144]. В 2025 году аналитические компании оценивают, что объем рынка полимеров для аддитивного производства составил 2 млрд долл., в то время как объем рынка металлопорошков – 9 млрд долл., что демонстрирует имеющиеся различия в методологиях и подходах к оценке рынка.

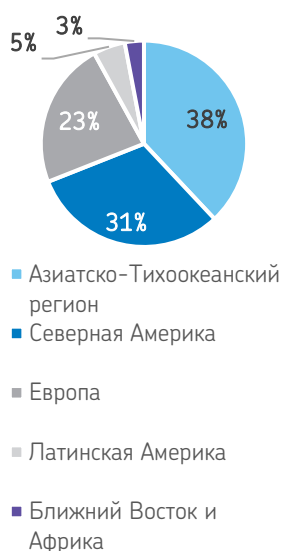
Сводная оценка объема мирового рынка новых материалов, включая входящие в него сегменты и подсегменты, за период 2023–2035 гг., а также среднегодовые темпы роста рынка даны в Приложении 1.

Рисунок 6. Региональная сегментация рынка новых материалов: сегменты передовых стекол, передовых керамических материалов, передовых композиционных материалов, %

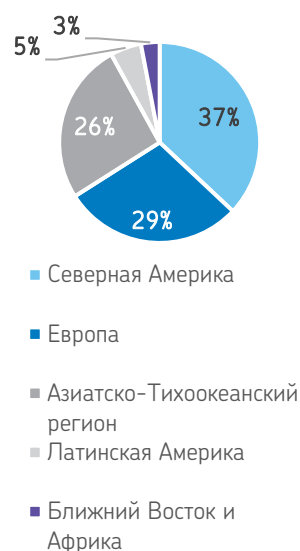
Региональная сегментация рынка передовых стекол, 2024, %



Региональная сегментация рынка передовых керамических материалов, 2025, %



Региональная сегментация рынка передовых композиционных материалов, 2025, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Credence Research [51], Precedence Research [65; 119], 2026

Региональная сегментация рынка передовых стекол за 2024 год представлена лидирующим Азиатско-Тихоокеанским регионом (доля рынка – более 36%), Северной Америкой (27,4%), Европейским регионом (24,6%). Малую долю рынка передовых стекол занимают Латинская Америка, Ближний Восток и Африка (примерно по 6% рынка). При этом, согласно оценке Research Nester, к 2035 году ожидается смена лидирующего региона на данном рынке – долю рынка в размере 45% будет занимать Северная Америка [53].

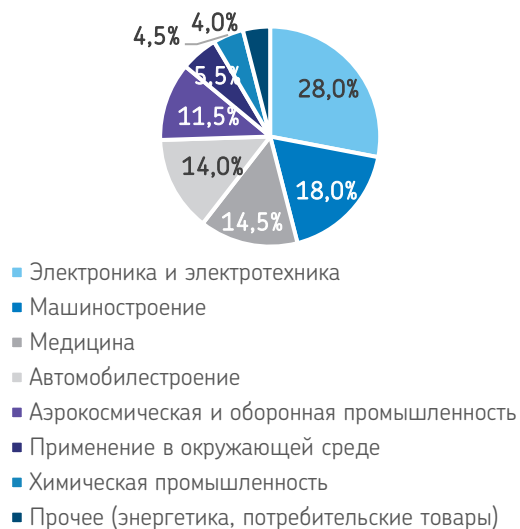
Аналогичная сегментация наблюдается на рынке **передовых керамических материалов** в 2025 году – Азиатско-Тихоокеанский регион занимает наибольшую долю рынка (38%), на втором месте – Северная Америка с долей рынка 31%, третье место занимает Европейский регион (23%). Латинская Америка, Ближний Восток и Африка также мало представлены на рынке (3–5%) [65].

Иное распределение представлено на рынке **передовых композитов**. Лидирующее положение в 2025 году занимала Северная Америка (37%), на втором месте – Европа с долей рынка 29%. Азиатско-Тихоокеанский регион занимает 26% на рынке передовых композиционных материалов. Латинская Америка, Ближний Восток и Африка занимают 3–5% на рынке [119].

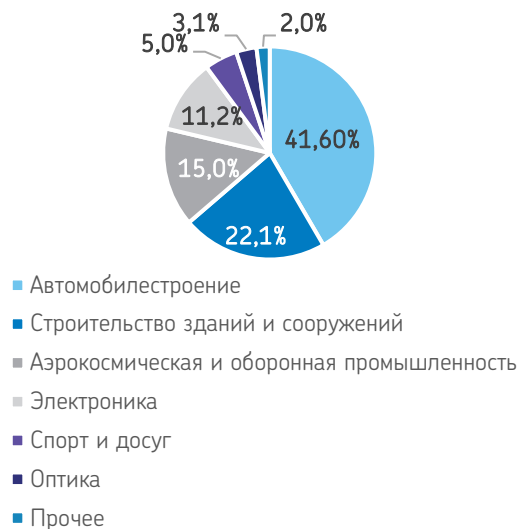
В отраслевом разрезе сегментация рынка передовых керамических материалов представлена электроникой и электротехникой (28%), машиностроением (18%), медициной (14,5%), а также другими отраслями, согласно оценке Global Market Insights [61]. При этом другие консалтинговые агентства, такие как Verified Market Research [58], Data Bridge Market Research [59], Coherent Market Insights [60], также выделяют электротехнику и электронику лидирующим сегментом рынка – оценки доли данного сегмента рынка варьируются от 38% до 55%.

Рисунок 7. Отраслевая сегментация мирового рынка новых материалов: сегменты передовых керамических материалов, передовых стекол, %

Отраслевая сегментация мирового рынка передовых керамических материалов, 2024, %



Отраслевая сегментация мирового рынка передовых стекол, 2024, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Global Market Insights [61], IMARC Group [50], 2026

На рынке **передовых стекол** в 2024 году наблюдалось иное распределение отраслей применения – наибольшим спросом передовые стекла пользовались в автомобилестроении, что составило 41,6% рынка согласно данным IMARC Group [50]. На втором месте по частоте применения стекол – сегмент строительства зданий и сооружений (22,1%), на третьем месте с долей рынка 15% – аэрокосмическая и оборонная промышленность.

Также компании Future Market Insights [118] и Verified Market Research [122] приводят отраслевую оценку рынка **передовых композиционных материалов**. Лидирующей отраслью применения композиционных материалов обе компании выделяют аэрокосмическую и оборонную промышленность с долей рынка в раз-
мере 30–39%.

Таким образом, рынок новых материалов, включающий передовые композиционные материалы, передовые полимеры, передовые стекла, передовые керамические материалы, передовые металлы и сплавы, демонстрирует **устойчивый рост и планомерное развитие**. Важно отметить, что развитие рынка новых материалов связано не только с разработкой и производством самих изделий, но и с процессами моделирования свойств новых материалов, а также моделирования изделий с использованием этих материалов.

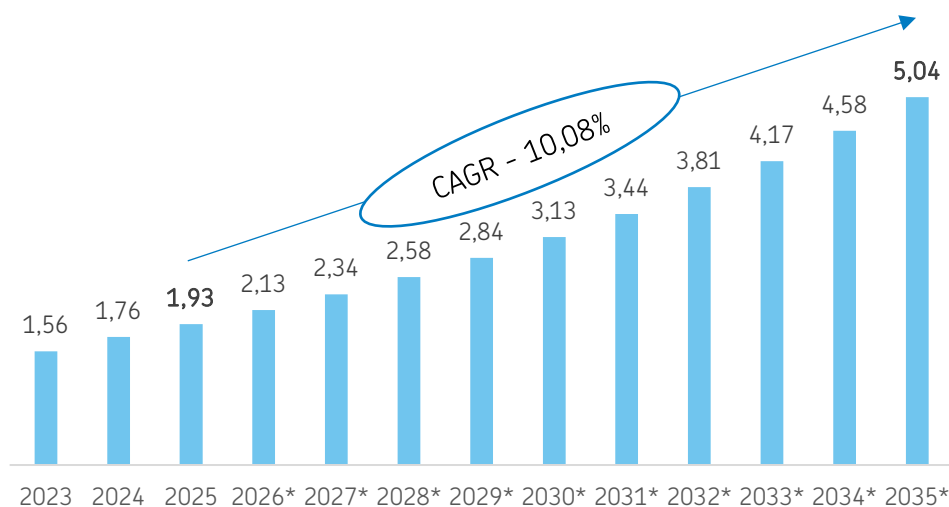
Для обеспечения комплексности и полноты анализа в рамках экспертно-аналитического доклада особое внимание уделено **сегменту программного обеспечения моделирования композиционных материалов**. Это связано с тем, что композиционные материалы обладают высокой наукоемкостью, уникальностью и фундаментальной сложностью (анизотропией, неоднородностью, многофазностью, многослойной структурой, микромеханическими взаимодействиями, разрушениями и другими параметрами). Кроме того, их разработка происходит параллельно процессу разработки самого изделия, в цепочке создания стоимости критическую роль играет моделирование, а на развитие и внедрение композитов в высокотехнологичных отраслях (включая применение в высоконагруженных узлах и критически ответственных элементах продукции авиастроения, ракетно-космической отрасли, энергетики) значительно влияет рынок программного обеспечения моделирования. Программное обеспечение выступает неотъемлемой частью технологии создания композиционного материала, поскольку поведение композитов невозможно описать традиционными аналитическими методами без применения программных продуктов, в связи с чем многоуровневое компьютерное моделирование становится обязательным этапом разработки изделий из композитов и самих композитов. Выбор программного обеспечения моделирования композитов в качестве объекта анализа обусловлен также влиянием применяемого моделирования на сокращение цикла разработки изделий из композитов, повышение их конкурентоспособности, инновационности и экономической эффективности разработки и производства.

В отличие от гомогенных материалов, для которых программное обеспечение служит преимущественно средством поверочного расчета и верификации, для композиционных материалов моделирование является инструментом исследования микро-, мезо- и макроуровней структуры, а следовательно, инструментом создания (конструирования) материала с заданными свойствами. В связи с этим анализ рынка программного обеспечения моделирования композитов представляет наиболее репрезентативный срез среди программных продуктов для передовых материалов.

Так, часть аналитических агентств, таких как WiseGuy Reports, Verified Market Reports, Dataintel Consulting, Market Research Intellect, Future Market Report [145–149], проводят анализ рынка программного обеспечения моделирования композиционных материалов (Composite Material / Composite Simulation Software), при этом компании Market Report Analytics и 360iResearch [150; 151] проводят оценку рынка программного обеспечения численного анализа / расчетного моделирования композиционных материалов (Composite Material Simulation Analysis Software). Поскольку оба понятия основаны на моделировании свойств композитов с применением передовых численных методов, таких как метод конечных элементов, мультифизический анализ и др., в рамках данного аналитического отчета и в соответствии с целями исследования будем считать данные рынки идентичными.

Так, усредненный **объем рынка программного обеспечения моделирования композиционных материалов** в 2025 году составил 1,93 млрд долл., при этом прогнозируется увеличение объема рынка до 5,04 млрд долл. к 2035 году при среднегодовом темпе роста рынка, равном 10,08%. Оценки, представленные консалтинговыми компаниями, в целом схожи – объем рынка в 2025 году варьировался от 1,07 млрд до 2,76 млрд долл.

Рисунок 8. Объем мирового рынка программного обеспечения моделирования композиционных материалов, 2023–2035 гг., млрд долл.

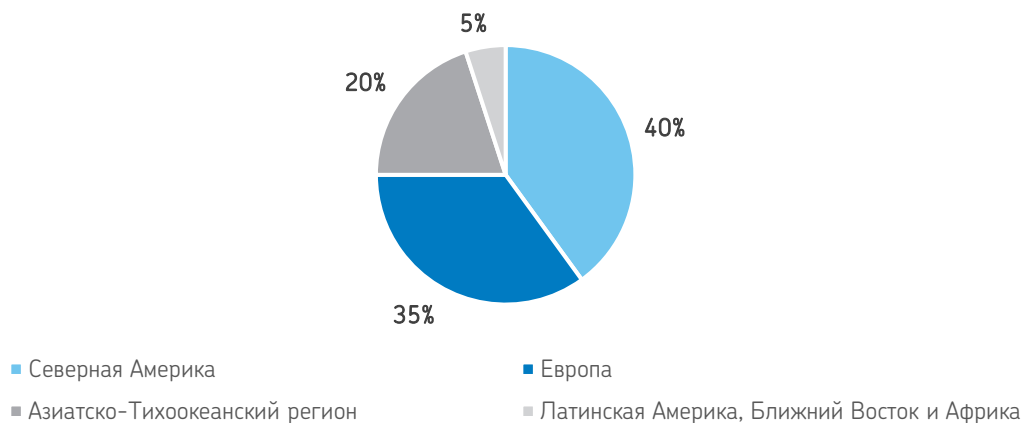


Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

Региональная сегментация рынка программного обеспечения моделирования композиционных материалов демонстрирует преобладание Северной Америки с долей 40% на рынке. На втором месте с долей рынка 35% находится Европейский регион. Азиатско-Тихоокеанский регион занимает 20% рынка программного обеспечения моделирования композитов. Оставшиеся 5% рынка суммарно занимают Латинская Америка, Ближний Восток и Африка согласно оценке Market Report Analytics [151].

Схожая оценка представлена компанией Future Market Report – согласно данным компании, Северная Америка является лидирующим регионом по доле рынка программного обеспечения моделирования композитов (38,5% в 2024 году), а также самым быстрорастущим регионом. Наибольшую долю рынка занимают США (22,3% суммарного объема мирового рынка). Также, согласно оценке компании Future Market Report, ведущим отраслевым сегментом на рынке программного обеспечения моделирования композиционных материалов является аэрокосмическая отрасль с долей рынка, равной 44,7% в 2024 году [149].

Рисунок 9. Региональная сегментация рынка программного обеспечения моделирования композиционных материалов, 2025, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Market Report Analytics [151], 2026

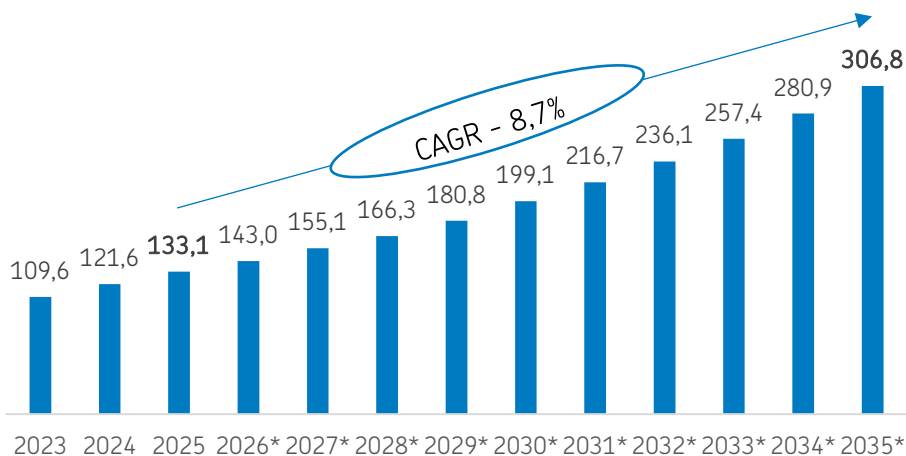
Таким образом, **мировой рынок новых материалов находится в стадии роста** – наблюдается достаточно высокий темп роста рынка, при этом рынок достаточно консолидирован, поскольку на рынке присутствует ряд ведущих (доминирующих) игроков, которые специализируются как на традиционных, так и передовых материалах. Так, например, сегмент передовых керамических материалов, согласно оценке агентства Fact.MR, представлен 15–20 компаниями-лидерами. На долю 5 крупнейших компаний приходится около 45% выручки мирового рынка передовой керамики [63]. При этом на рынке новых материалов возникают молодые игроки и новые продукты, что связано с инновационностью разрабатываемых материалов и формированием специализированных решений в материаловедении. На развитие рынка также оказывает влияние технологии цифрового проектирования и моделирования, что способствует росту рынка и приближению к стадии зрелости.

Отечественный рынок новых материалов

Анализ отечественного рынка новых материалов демонстрирует существенные различия с глобальным рынком, что вызвано более ранней стадией развития отечественного рынка и отсутствием единых сформированных методик оценки рынка.

Наиболее зрелым сегментом отечественного рынка новых материалов является **рынок композиционных материалов**, который, согласно оценкам, составляет 133,1 млрд руб. в 2025 году [152–155]. Прогнозируется рост отечественного рынка композитов до 306,8 млрд руб. к 2035 году при среднегодовом темпе роста рынка 8,71%.

Рисунок 10. Объем отечественного рынка композиционных материалов по годам, 2023–2035 гг., млрд руб.²



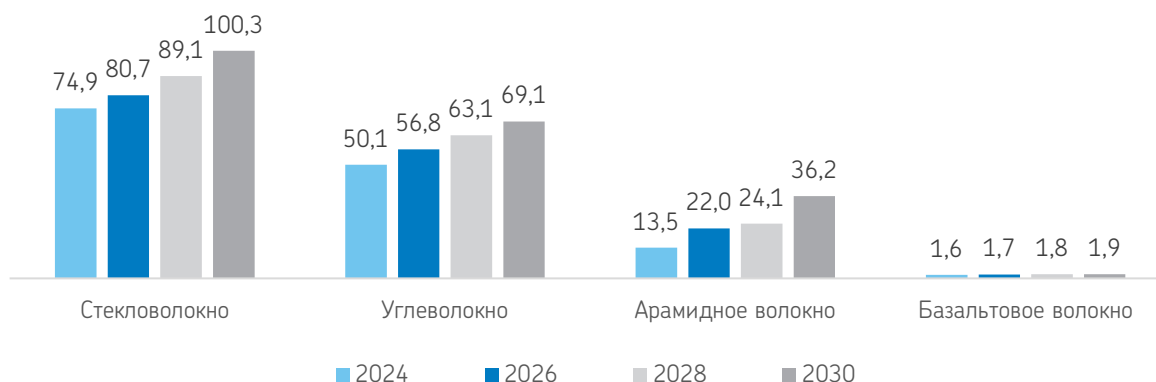
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [152–155], 2026

Согласно оценке «Росатом Композитные технологии» (Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом»), представленной в 2025 году, наибольшую долю отечественного рынка занимает **сегмент композиционных материалов на основе стекловолокна**, объем которого составил 74,9 млрд руб. в 2024 году. Прогнозируется увеличение объема данного сегмента рынка до 100,3 млрд руб. к 2030 году. **Композиты на основе углеволокна**, в свою очередь, являются вторым по объему сегментом отечественного рынка – в 2024 году объем рынка составил 50,1 млрд руб., прогнозируется увеличение объема рынка до 69,1 млрд руб.

² Расчет данных осуществлен по среднегодовому курсу: 1 долл. США = 92,5652 руб. за 2024 год.

Наибольший рост рынка (более чем в 2,5 раза) прогнозируется для сегмента **композитов на основе арамидного волокна** – с 13,5 млрд руб. в 2024 году до 36,2 млрд руб. в 2030 году, что составит среднегодовой темп роста в размере 18% с 2024 по 2030 год.

Рисунок 11. Сегментация отечественного рынка композиционных материалов по типу волокна по годам, 2024–2030 гг., млрд руб.



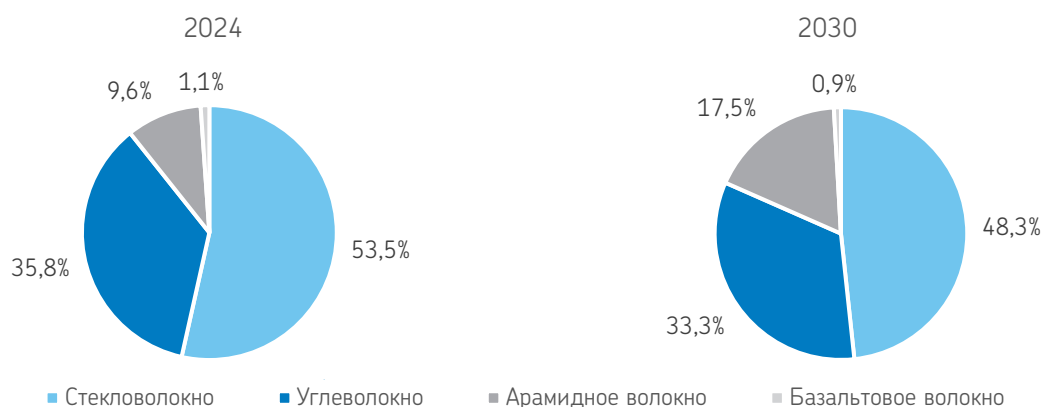
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [152], 2026

Как отмечают авторы отчета, данный прогноз роста рынка может существенно измениться вследствие развития рынка сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности, что формирует значимый технологический тренд и будет рассмотрен далее.

Наименее существенный рост ожидается на отечественном рынке **композитов из базальтового волокна** – с 1,6 млрд руб. (2024 год) до 1,9 млрд руб. (2030 год).

Сегментация отечественного рынка композиционных материалов по типу армирующего наполнителя (волокна) в процентном соотношении демонстрирует уменьшение доли рынка композитов из стекловолокна – с 53,5% в 2024 году до 48,3% в 2030 году, при этом данный сегмент продолжит занимать лидирующие позиции по объему рынка. Аналогично уменьшится доля отечественного рынка композиционных материалов на основе углеродного волокна относительно всего объема рынка – с 35,8% (2024 год) до 33,3% (2030 год).

Рисунок 12. Сегментация отечественного рынка композиционных материалов по типу волокна, 2024 и 2030 гг., %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [152], 2026

Как было отмечено ранее, ожидается существенный рост рынка композитов на основе арамидного волокна – доля данного сегмента увеличится почти в два раза в процентном соотношении, с 9,6% в 2024 году до 17,5% в 2030 году. Доля композиционных материалов на основе базальтового волокна, которая составила 1,1% в 2024 году, наоборот уменьшится до 0,9% к 2030 году.

В натуральном выражении отраслевая сегментация отечественного рынка **композиционных материалов на основе углеродного волокна** демонстрирует ожидаемый рост более чем в 2 раза за период с 2026 по 2030 год. Так, суммарно прогнозируется увеличение объема рынка в натуральном выражении с 3 тыс. тонн в 2026 году до 6,2 тыс. тонн в 2030 году согласно оценкам ключевых потребителей продукции из композиционных материалов на основе углеволокна по данным «Росатом Композитные технологии».

Рисунок 13. Отраслевая сегментация отечественного рынка композиционных материалов на основе углеволокна в натуральном выражении, 2026 и 2030 гг., тыс. тонн



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [152], 2026

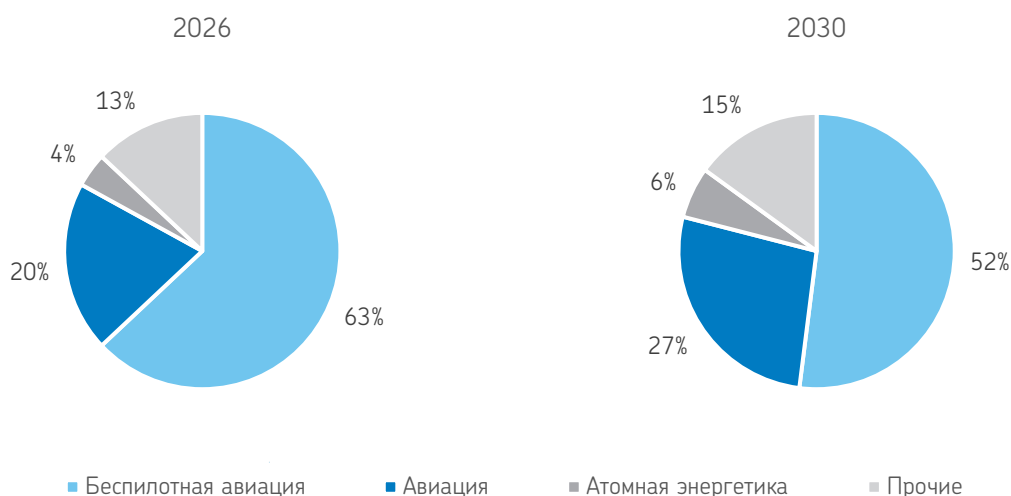
Наибольшую потребность в композиционных материалах на основе углеродного волокна отмечает отрасль беспилотной авиации (оценка объема рынка – 1,8 тыс. тонн в 2026 году и 3,2 тыс. тонн в 2030 году, что составит среднегодовой темп роста рынка в размере 30% с 2026 по 2030 год), а также пилотируемая (классическая) авиация (0,6 тыс. тонн в 2026 году и 1,7 тыс. тонн в 2030 году, среднегодовой темп роста рынка – 32% за период 2026–2030 гг.).

Также наблюдается спрос со стороны атомной энергетики – объем рынка прогнозируется на уровне 0,1 тыс. и 0,3 тыс. тонн в 2026 и 2030 году соответственно. На прочие отрасли прогнозируется 0,4 тыс. тонн в 2026 году и 1 тыс. тонн в 2030 году.

В процентном соотношении лидирующие позиции на рынке **композиционных материалов на основе углеволокна** займет беспилотная авиация с долей рынка 63% в 2026 году, при этом прогнозируется снижение доли беспилотной авиации на отечественном рынке композитов к 2030 году до 52%. Для классической авиации, в свою очередь, ожидается некоторое увеличение доли рынка в отраслевом разрезе с 20% в 2026 году до 27% в 2030 году. Атомная энергетика незначительно увеличит долю на рынке – с 4% до 6% за период 2026–2030 гг., как и прочие отрасли – их доля составит 15% в 2030 году против 13% в 2026 году.

Таким образом, наблюдается **планомерный рост** отечественного рынка композиционных материалов, прогнозируется значительное увеличение спроса со стороны отраслей промышленности, в связи с чем ожидается увеличение количества компаний-производителей на рынке, повышение конкуренции между игроками, увеличение рентабельности их деятельности, а также усиление консолидации, что свидетельствует о прогнозируемой структурной трансформации рынка.

Рисунок 14. Отраслевая сегментация отечественного рынка композиционных материалов на основе углеволокна, 2026 и 2030 гг., %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [152], 2026

Несколько иная ситуация наблюдается на рынках других сегментов новых материалов. Важно отметить, что в открытых источниках практически отсутствует информация о состоянии рынков выделенных технологических сегментов, однако наличие некоторых прорывных решений и разработок по данным направлениям позволяет сделать вывод о зарождении рынков передовой керамики, передовых стекол, передовых полимеров, передовых металлов и сплавов в стране.

В связи с отсутствием информации о рынке **передовой керамики в России** отметим, что рынок технической керамики (широко применяемая в промышленности техническая керамика, как правило, включает передовые керамические материалы как инновационный продукт и зачастую используется как синоним) в 2020 году составил примерно 22 млрд руб. (20,8 тыс. тонн в натуральном выражении) [156]. Вследствие этого можно сделать вывод о нишевости рынка и наличии широкого потенциала для развития рынка передовой керамики в стране при соответствующем спросе со стороны промышленности.

Данные об отечественном рынке **передовых стекол** аналогично не представлены в открытом доступе, при этом в некоторых источниках приведено, что технологический фокус в России смещен в сторону функциональной обработки стекла. Так, наиболее востребованным является производство безопасных и энергоэффективных стекол с использованием технологий закалки и нанесения специализированных покрытий и пленок. В 2024 году данный сегмент отечественного рынка стекла в натуральном выражении оценивался в 14,6 млн м² [157].

Рынок передовых полимеров в России, в свою очередь, представлен преимущественно инженерными полимерами, которые составляют фундамент для передовых полимеров и обладают высокими физико-механическими характеристиками, термостойкостью, химической стабильностью. Объем потребления инженерных полимеров в России, согласно различным источникам, варьировался от 219 тыс. до 231,6 тыс. тонн в 2023 году [158; 159].

Сегмент **передовых металлов и сплавов в России** представлен преимущественно продукцией специальной металлургии. Эксперты отмечают, что ключевым барьером в металлургии остается дефицит мощностей для малотоннажного производства. Существующие технологические линии металлургических предприятий ориентированы на массовый выпуск базовых сплавов, что делает неэффективным изготовление малых партий уникальных и передовых металлов и сплавов [160; 161].

В связи с этим отечественный рынок передовых металлов носит дискретный характер и представлен локальными разработками даже при наличии спроса на передовые материалы. Объективные данные об объеме данного сегмента отечественного рынка новых материалов в открытом доступе отсутствуют.

При этом важно отметить, что активно развивается **отечественный рынок материалов для аддитивного производства**. В частности, в 2023 году объем рынка металлопорошков для аддитивного производства составил 1,6 млрд руб. (51,6% объема рынка материалов для аддитивного производства), полимеры при этом занимали 0,9 млрд руб. (29% объема рынка) [143].

Как отмечают в Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ), локальное аддитивное производство составляет около 59% (по состоянию на 2025 год), большая часть приходится на производство материалов для аддитивных технологий [162].

Объективные данные об объеме **отечественного рынка программного обеспечения цифрового проектирования и моделирования композиционных материалов** также отсутствуют, что объясняется новизной рынка, высокой наукоемкостью рассматриваемого направления, имеющимися методологическими ограничениями оценки рынка. При этом приблизительные оценки объема рынка в экспертно-аналитических материалах Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ составляли 0,65–1,25 млрд руб. в 2024 году [4], что позволяет судить о порядке величин и масштабе рынка в России относительно глобального рынка программного обеспечения моделирования композиционных материалов. Несколько иная оценка дана в исследовании НКК «Машиностроение», согласно которой объем российского рынка САПР для композиционных материалов составил 1,4 млрд руб. в 2024 году, при этом ожидается увеличение объема рынка до 7 млрд руб. к 2035 году [163]. Также стоит отметить, что в исследовании НКК «Машиностроение» дана оценка объема российского рынка композитов, который составляет 1,5% от мирового рынка.

Таким образом, рынки передовых материалов, за исключением передовых композитов, и рынок программного обеспечения моделирования композитов в России только проходят **этап формирования**. Они характеризуются дефицитом открытых статистических данных, что следует из отсутствия единой методологии оценки и нехватки данных о масштабах рынка. При этом ожидается некоторый рост исследований в данной области, что будет способствовать развитию рынка и формированию единых подходов к описанию сегментов рынка новых материалов в стране, а также развертыванию программно-технологической инфраструктуры для развития инновационных решений в области передового материаловедения. Рынок композиционных материалов, в свою очередь, демонстрирует значимый рост, что также поддерживается спросом со стороны промышленности и формирует направления развития отечественного рынка новых материалов.

Тренды и барьеры развития рынка новых материалов

В области передовых материалов отмечают существующий тренд на развитие и масштабирование применения конкретных типов материалов с улучшенными свойствами, в их числе – наноматериалы, термопластичные и проводящие полимеры, перерабатываемые материалы, суперсплавы, «умные» материалы, передовые композиты [164; 165], специализированные материалы, изготовленные с применением аддитивных технологий [166; 167], материалы на основе графена [168] и др. В соответствии с этим формируются сопутствующие специфические технологические тренды, связанные с генерацией свойств конкретных типов материалов, включая экономические тренды, связанные с возрастанием спроса на отдельные типы материалов; а также общие технологические тренды рынка, обеспечивающие высокую эффективность процесса разработки и изготовления всех типов новых материалов. Кроме того, возрастает число отраслей и способов применения передовых материалов в промышленности, особый спрос наблюдается в автомобилестроении (в первую очередь за счет развития электротранспорта), авиастроении, что объясняется спросом на облегченные материалы с улучшенными свойствами, а также в медицине, энергетике и других отраслях [165; 167].

Таблица 2. Тренды и драйверы развития мирового и отечественного рынка новых материалов

Тренд	Краткое описание тренда
Общие тренды мирового рынка новых материалов	
Внедрение технологий искусственного интеллекта	Искусственный интеллект (ИИ) способствует анализу баз данных химических соединений, выявлению новых химических веществ и потенциальных материалов за счет моделирования молекулярных структур с заданными свойствами. ИИ упрощает маршруты синтеза материалов, оптимизирует условия химических реакций, прогнозирует возникновение потенциальных рисков. Кроме того, ИИ обеспечивает оптимизацию производственных процессов, минимизацию отходов, выявление узких мест, что также повышает эффективность процесса поиска новых составов, разработки материала и его дальнейшего изготовления, а также внедрения в отрасль [166; 167]. Согласно оценке Precedence Research, в 2025 году объем рынка технологий ИИ в химической промышленности (включая материаловедение) составил 2,3 млрд долл., при этом прогнозируется рост рынка до 28 млрд долл. к 2034 году при среднегодовом темпе роста рынка 32,05% [169], что подтверждает высокий потенциал технологий ИИ в рассматриваемой отрасли, а также активное внедрение в процессы разработки и производства материалов.
Возрастание спроса на биоразлагаемые материалы, экологически чистые материалы и материалы, пригодные для вторичной переработки	Внедрение экологически чистых материалов, биоразлагаемых и переработанных материалов, а также природных материалов (на основе натурального сырья животного и растительного происхождения) снижает воздействие на окружающую среду, соответствует целям устойчивого развития и способствует формированию экономики замкнутого цикла [164; 166; 167; 170; 171]. Передовые методы переработки материалов (в частности, пиролиз, газификация) дополняют традиционную механическую переработку, что повышает экологическую безопасность и расширяет ассортимент перерабатываемых материалов, в первую очередь полимеров. Формируются экологичные инженерные решения в части процессов производства материалов с целью уменьшения выбросов, минимизации отходов и повышения энергоэффективности [172].
Вложение значительных средств в исследование, разработки и инновации	Ожидается, что рост рынка будет в значительной мере поддержан капитальными вложениями в развитие новых продуктов и инновации со стороны ключевых игроков рынка в целях удовлетворения спроса отраслей. Наибольшая востребованность в данном направлении ожидается со стороны аэрокосмической промышленности, автомобилестроения, электротранспорта, энергетической и электронной промышленности. Кроме того, ожидается приток капитала и инвестиций, в том числе в рамках поддержки со стороны государства, направленный на ускорение реализации научно-исследовательских инициатив и разработку прогрессивных решений [135]. Значимый толчок на развитие рынка окажет разработка «умных» и наноматериалов.
Специфические тренды сегментов мирового рынка новых материалов	
<i>Рынок композиционных материалов</i>	
Возрастание спроса со стороны промышленности, включая авиастроение и энергетику	Во многих отраслях промышленности наблюдается рост спроса на композиционные материалы в связи с их улучшенными свойствами в сравнении с традиционными материалами (малый вес, повышенная коррозионная стойкость, топливная эффективность и др.). Композиты активно внедряют в ветроэнергетике, производстве самолетов и деталей, автомобилестроении и проч.
Развитие рынка на Ближнем Востоке	Также одним из глобальных трендов развития композиционных материалов выступает активное формирование рынка на Ближнем Востоке за счет увеличения потребления со стороны Саудовской Аравии, Турции, Израиля, ОАЭ, Ирана и Египта (около 80% потребления композиционных материалов на Ближнем Востоке в 2024 году пришлось на данные страны). Тем самым на рынке композиционных материалов масштабируется зона охвата и открываются потенциальные для экспорта композитов регионы [173; 174]. Аналогично наблюдается вовлечение Индии в масштабирование рынка композиционных материалов, что способствует трансформации цепочки поставок и формированию стратегических партнерств [175].
Производство высокоэффективных компонентов и создание композитов с улучшенной структурой	Создание передовых композитов требует улучшения свойств всех компонентов, составляющих основу композита. Наблюдается развитие решений в области высокоэффективных смол, обеспечивающих более прочную межслойную адгезию, а также различных упрочняющих веществ, которые снижают риск внезапного разрушения материала [176]. Возрастает спрос на композиты с углеродным волокном, облегченные композиты (в частности, уменьшение веса достигается за счет внедрения сложных геометрических и топологически оптимизированных решений: пористых, ячеистых, сотовых, решетчатых структур [177]), улучшенную полимерную матрицу, биокомпозиты, гибридные композиты и др. Также на развитие рынка влияние оказывает разработка термореактивных композитов с 3R-функциональностью (3R resin), предполагающей восстановление при повреждении (Repairable), пригодность к вторичной переработке (Recyclable), способность повторной обработки / формования (Reprocessability / Reshapable) ³ [178].

³ Такие композиты также могут называть витримерами (Vitrimers).

Тренд	Краткое описание тренда
Внедрение мониторинга состояния конструкций (Structural Health Monitoring, SHM)	Интеграция технологий мониторинга в структуру композита обеспечивает контроль состояния конструкций в режиме реального времени для своевременного выявления повреждений и проведения профилактического обслуживания. В частности, все более широкое применение в промышленности находят оптоволоконные и пьезоэлектрические датчики, датчики акустической эмиссии, интегрированные в конструкцию, а также передовые методы анализа данных, в том числе на базе технологий искусственного интеллекта [177].
<i>Рынок передовых керамических материалов</i>	
Внедрение цифровых и автоматизированных методов обработки	В целях повышения точности обработки и масштабируемости производства деталей из керамики, в том числе керамических композитов, в промышленности активно внедряют передовые методы обработки керамики [179]. К ним относятся многоосевая обработка на станках с ЧПУ, аддитивное производство (цифровая печать), использование автоматизированных печей с цифровым программным управлением и др.
<i>Рынок передовых полимеров</i>	
Появление и внедрение уникальных типов полимеров	Передовые полимеры как сегмент рынка новых материалов включает широкий спектр типов материалов, развитие которых объясняется формирующимся спросом на полимеры с уникальными, улучшенными свойствами в сравнении с базовыми полимерами. К числу полимеров с уникальными характеристиками относятся биоразлагаемые полимеры, создание которых обусловлено принципами устойчивого развития; «умные» полимеры, которые реагируют на внешние факторы, включая температуру, свет, механическое воздействие и другие параметры; гибридные полимеры, в основе которых органическая полимерная матрица и неорганические компоненты, объединенные на молекулярном уровне, и другие типы полимеров [165; 180].
<i>Рынок передовых металлов и сплавов</i>	
Появление и внедрение уникальных типов металлов и сплавов	Ключевым трендом развития рынка передовых полимеров и сплавов может выступать разработка и изготовление усовершенствованных титановых сплавов (предполагающих улучшенные характеристики прочности, коррозионной стойкости, топливной эффективности, а также предназначенных для применения в экстремальных условиях), алюминий-литиевых сплавов (предполагающих снижение веса и повышение энергоэффективности), высокотемпературных и жаропрочных сплавов (для применения в экстремальных условиях), а также материалов, изготовленных с применением аддитивных технологий [181], и др.
<i>Рынок программного обеспечения моделирования композитов</i>	
Развитие интеллектуальных алгоритмов проектирования	Сочетание передовых вычислительных инструментов с алгоритмами машинного обучения позволяет оптимизировать композитные конструкции, адаптировать и улучшать их свойства, а также учитывать различные факторы в процессе моделирования (нагрузки, концентрации напряжений, взаимодействие материалов и компонентов и проч.), что положительно сказывается как на свойствах самого материала, так и на процессе его разработки, в том числе в рамках исследования поведения конструкции при различных условиях нагрузки на протяжении всего жизненного цикла. Кроме того, наблюдается внедрение в процессы разработки материалов и изделий методов генеративного проектирования, которые позволяют анализировать множество проектных решений (вариантов исполнения конструкций) с варьированием типов связующего и армирующего вещества, способов укладки волокон (армирования), количества слоев и других параметров химической структуры композитов. Данный подход обеспечивает многомасштабную топологическую оптимизацию материала (на микро- и макроуровнях), что способствует определению оптимальной структуры с заданными физико-механическими свойствами материалов, обладающих экстремальными эксплуатационными характеристиками [176].
Разработка и применение цифровых двойников композиционных материалов, в том числе с применением платформенных решений	В процессе анализа композиционных материалов и композитных структур необходимо эффективно реализовать многоуровневый подход (два взаимосвязанных процесса): • μ-уровень $\rightarrow$ m-уровень $\rightarrow$ M-уровень – гомогенизацию (Homogenization – определение эффективных макроскопических физико-механических свойств композитных структур), • M-уровень $\rightarrow$ m-уровень $\rightarrow$ μ-уровень – гетерогенизацию (Heterogenization – локализация, определение локальных полей на μ-уровне, концентрации микронапряжений, решения задач микромеханики и прочности композита) [3; 182]. В связи с этим в процессе разработки как композита, так и изделия из него наиболее эффективной является технология разработки цифровых двойников композитов и композитных структур с применением цифровых платформ (в том числе облачных) [183]. Цифровые двойники предполагают разработку верифицированных и валидированных математических и компьютерных моделей композиционных материалов, обладающих высоким уровнем адекватности, которые лежат в основе цифрового двойника изделия / композитной структуры, что позволяет учитывать специфические особенности физико-механических свойств материалов в изделии, технологические процессы изготовления, определять физико-механические, технологические и эксплуатационные параметры (законы эволюции и деградации свойств) моделей и др. Данный подход находит все большее применение в материаловедении и отраслях промышленности, что обусловлено ускорением процесса разработки композитов и высокотехнологичных изделий из них.

Тренд	Краткое описание тренда
Общие тренды отечественного рынка новых материалов	
Разработка и внедрение материалов на основе технологий моделирования, внедрение искусственного интеллекта в проектирование материалов и изделий, процессы изготовления, включая развитие платформенных решений	Объединение теоретических, вычислительных и экспериментальных исследований позволяет влиять на длительность и стоимость поиска и разработки новых материалов, в том числе для перспективных областей применения в промышленности. Разработка цифровых технологий моделирования направлена на совершенствование методов прогнозирования структуры материалов, их свойств и характеристик при внешних воздействиях, а также разработку материалов с улучшенными или уникальными свойствами [184; 185]. Данный тренд обусловлен потребностью отечественных предприятий в импортозамещении критически важных материалов и веществ, включая композиты. Искусственный интеллект стал неотъемлемой частью современного материаловедения за счет реализации модели описания корреляций материала через триаду «состав – структура – свойство» [184]. Накопленная информация о структуре и свойствах материала, математические модели материала, интеллектуальный анализ данных в совокупности позволяют в короткие сроки прогнозировать оптимальные варианты структуры материала, свойства кристаллов, аморфных веществ и композитов с учетом полезных характеристик материала (радиационная стойкость, механическая прочность, пластичность, трещиностойкость и др.). Кроме того, интеллектуальные сервисы обеспечивают масштабирование производства материалов и изделий из них, в связи с чем в России прорабатывается вопрос разработки комплексного платформенного решения, интегрированного с цифровой базой данных материалов, научным и инженерным программным обеспечением [184; 186]. На платформе будут взаимоувязаны все процессы проектирования материала, моделирования и прогнозирования его свойств, налаживания процесса изготовления как материала, так и изделия, и другие процессы.
Экологическая повестка в формировании чистых материалов и снижении воздействия на окружающую среду	Как мировая, так и отечественная экологическая повестка сфокусирована на развитии зеленой химии, в первую очередь за счет внедрения биоразлагаемых материалов в промышленность, а также на снижении энергопотребления процессов производства, что позволит минимизировать воздействие на окружающую среду за счет сокращения выбросов [185; 187]. Кроме того, выполняется поиск оптимальных решений, направленных на создание и внедрение безотходных и энергоэффективных технологий, систем рециклинга и вторичной переработки в целях устойчивого развития.
Расширение рынка экспорта материалов	Одно из значимых направлений развития рынка новых материалов в России – выход на новые рынки дружественных стран, включая Китай, Индию, Турцию, Бразилию, другие страны Азии и Ближнего Востока, в том числе страны, входящие в межгосударственное объединение БРИКС [185]. Потребность в импортозамещении химического сырья, материалов и веществ способствует расширению как внутреннего (за счет появления новых игроков и наращивания мощностей), так и внешнего рынка (за счет поиска новых оптимальных маршрутов и расширения круга потенциальных потребителей), а также диверсификации химической продукции.
Комплексная государственная поддержка	В качестве дополнительного стимула развития рынка выступает формирование стратегических инструментов развития рынка со стороны государства, в первую очередь за счет диверсификации экономики, импортозамещения и расширения производственных цепочек. Наблюдается смена отечественной государственной поддержки в сторону комплексного системного подхода с долгосрочным планированием и инвестициями в исследования и разработки химической промышленности [185; 188].
Инновации в области производства сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ)	Отечественный сверхвысокомолекулярный полиэтилен – один из инновационных материалов, обладающих перспективными свойствами для применения в отдельных отраслях промышленности, а также в экстремальных арктических условиях. Ожидается, что налаживание производства и последующее внедрение материала в медицинских целях обеспечит более эффективную адаптацию к человеческому организму изделий для протезирования [189; 190]. Применение в отрасли энергетики, добывающей промышленности и машиностроения, а также военно-промышленного комплекса, в свою очередь, обеспечит износостойкость и долговечность конструкций за счет высокой прочности, химической инертности и стойкости к низким температурам [191; 192].

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

Дополнительно следует отметить, что факторы, определяющие развитие мирового рынка новых материалов, обусловлены глобальными мегатрендами (экологичность, интеллектуальность, технологическая конвергенция) и оказывают в том или ином случае разную степень влияния на отдельные сегменты рынка.

Так, в частности, наибольшее влияние на рынок передовых стекол, согласно оценке Verified Market Research, оказывают факторы развития таких отраслей промышленности как автомобилестроение и электротранспорт, электроника и электротехника, энергетика, а также решения в области устойчивого развития, технологические инновации в разработке «умных» стекол [48] и др.

Рынок передовой керамики, в свою очередь, по оценке Verified Market Research и Fact.MR зависит от развития электроники и полупроводников, медицины, аэрокосмической промышленности, автомобилестроения, машиностроения [58; 63] и др. Также аналитические агентства выделяют, что факторы увеличения потребности применения керамики для водородных топливных элементов и расширение возможностей твердотельных аккумуляторов оказывают значимое влияние на рынок передовых керамических материалов [57].

К существенным возможностям дальнейшего развития рынка и формирования ключевых трендов сегмента относятся возможности развития нанокерамики, а также увеличение инвестиций на исследования и разработку в области передовых керамических материалов [60].

Таким образом, и мировые, и отечественные тренды рынка новых материалов связаны с двумя ключевыми группами факторов развития:

- Развитием смежных технологий (ИИ, экологичные решения, моделирование, биотехнологии), обеспечивающих масштабное влияние на динамику спроса, эволюционный прогресс и усиление тесной взаимосвязи с областью материаловедения. Такое междисциплинарное взаимодействие обеспечивает высокую эффективность как самих материалов, так и способов их разработки и изготовления, а также расширение границ применения материалов. Не менее значимый вклад оказывает и развитие технологий цифрового проектирования и моделирования, которые в сочетании с технологиями искусственного интеллекта и созданием цифровых двойников изделий и материалов направлены на высокоэффективный поиск оптимального химического состава материала для конкретной области применения;
- Запросом на усовершенствованные материалы со стороны отдельных отраслей промышленности, что обуславливает появление и внедрение новых типов материалов, применимых в различных отраслях. Рынок определяется формирующимся спросом, основу которого составляет потребность в заданных функциональных свойствах и уникальных характеристиках материалов, включая высокую эффективность материала, устойчивость к высоким температурам и внешним воздействиям, требования к весу, прочности и другим параметрам.

Мировые тренды в значительной степени пересекаются с отечественными трендами, при этом более низкая зрелость отечественного рынка и политика импортозамещения формируют дополнительный потенциал в отдельных отраслях конечного применения новых материалов.

В частности, в России ожидаются целенаправленные усилия со стороны государства и промышленности, направленные на наращивание производственных мощностей, внедрение экологичных и экономических решений, стратегическое расширение рынка, а также совершенствование технологической и инновационной инфраструктуры, что будет в значительной степени способствовать росту рынка в ближайшие десятилетия. Перспективными направлениями развития отечественного рынка новых материалов считают материалы для микроэлектроники и фотоники, композиты и полимеры (в первую очередь для авиастроения и транспорта), функциональные и «умные» материалы (для сенсоров, технологий интернета вещей, аддитивных технологий), биоматериалы (как биоразлагаемые, так и биосовместимые для медицинского применения), а также материалы для применения в энергетике (аккумуляторы, водородные и топливные технологии) [193–197]. Развитие «умных» и наноматериалов, а также технологий аддитивного производства также являются драйвером развития мирового рынка новых материалов.

Несмотря на выраженные позитивные тенденции, которые оказывают значительное влияние на развитие рынка новых материалов, существует и ряд сдерживающих факторов (системных барьеров), которые замедляют рост рынка, однако все больше приобретают статус стратегически значимых вызовов, относящихся к приоритетным направлениям исследований и инвестиций для промышленности и правительств отдельных стран.

Рисунок 15. Тренды и драйверы развития рынка передовых материалов в соответствии с уровнем влияния в разрезе сегментов: передовые стекла, передовые керамические материалы, 2025, условные ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Verified Market Research [48; 58], 2026

Анализ барьеров, рисков и ограничений рынка является критически важным, поскольку материаловедение представляет материально-технологическую рамку развития авиации, энергетики, медицины и других отраслей. Преодоление выявленных барьеров и создание инновационных решений в материаловедении расширит возможности проектирования и производства в отраслях, тесно связанных с химической промышленностью и применением новых материалов, и обеспечит условия для нивелирования рисков.

Таблица 3. Барьеры и риски развития мирового и отечественного рынка новых материалов

Барьер	Краткое описание барьера
Общие барьеры мирового рынка новых материалов	
Высокая сложность производственных процессов	Новые материалы обладают инновационной составляющей, вызванной в том числе сложностью структуры материалов и необходимостью обеспечивать стабильно высокую эффективность заданных свойств, что напрямую определяет сложность процессов изготовления материала и капиталоемкость производства [130; 177]. Создание материалов предполагает вариативность характеристик материала, которые, в свою очередь, определяют вариативность процессов производства. При этом процессы производства могут быть автоматизированы, что требует высоких первоначальных инвестиций и специализированных навыков. В связи с этим формируется сложность изготовления материала как с точки зрения самого физико-механического и технологического процесса, так и с точки зрения его развертывания и последующего масштабирования.

Барьер	Краткое описание барьера
Сложности вторичной переработки материалов	В условиях современной экологической повестки возникают тенденции, связанные с повышением устойчивости химической промышленности. Технология вторичной переработки материалов предполагает организацию и налаживание сложных процессов, требующих не только технологической и инфраструктурной оснащенности, но и инвестиций, подтвержденной экономической эффективности, соответствующего нормативного регулирования и др., при этом количество альтернативных методов переработки, как правило, ограничено. На текущий момент наблюдаются проблемы, связанные с перечисленными факторами, что не позволяет переходить к масштабированию решений по переработке химической продукции [198]. Также сдерживающим фактором являются сложности переработки некоторых типов материалов из-за их структуры и химических свойств, что имеет соответствующие экологические последствия для процессов производства и утилизации [130].
Высокая стоимость сырья и производства	Разработка и производство уникальных материалов требует значительных финансовых затрат, что определяется высокой стоимостью как самого сырья, так и конечных материалов. Высокая стоимость ограничивает сферу применения материалов, сужая ее до высокотехнологичных отраслей, где спрос на материалы может носить переменный характер. Производство материалов ограниченными партиями или под заказ также повышает стоимость, что препятствует разворачиванию производств и достижению рентабельности. На стоимость влияет и технология производства материала, поскольку требуется, как правило, сложное технологическое оборудование и высокочувствительное налаживание процесса, что доступно преимущественно развитым странам и крупным корпорациям [177]. Кроме того, ограниченное применение новых материалов обусловлено тем, что в ряде отраслей существуют более доступные по цене традиционные материалы, а также отработанные решения их использования [2].
Нормативное регулирование	Одним из значимых барьеров на рынке новых материалов выступает отсутствие универсальных стандартов, обеспечивающих эффективность и безопасность процессов разработки, производства, испытания и внедрения новых материалов в промышленность. Это связано в первую очередь с новизной рынка, поскольку некоторые типы новых материалов только начинают внедрять в отдельные отрасли промышленности и области применения. Кроме того, отдельной проработке подлежат вопросы нормативно-правового регулирования воздействия процессов производства материалов на окружающую среду, сертификации как самих материалов, так и изделий из них, безопасности их внедрения в критически важные отрасли и сферы применения, что в настоящий момент приводит к увеличению сроков вывода на рынок новых материалов и изделий [177].
Ограниченная доступность сырья материалов	Основу некоторых новых материалов составляют редкоземельные элементы, обработка которых является чрезвычайно ресурсоемкой. Высокая доля концентрации редкоземельных ресурсов приходится на Китай (доля Китая в мировом производстве оксидов редкоземельных металлов составляет около 70%), что создает потенциальные проблемы с поставками, нестабильность цен, уязвимость и высокую зависимость от единичных поставщиков сырья [132; 137; 199; 200].
Общие барьеры отечественного рынка новых материалов	
Высокий уровень импортозависимости	Несмотря на повышение объема экспорта отечественного сырья и материалов в страны Ближнего Востока, в России все же наблюдается сохранение высокой доли импорта химической продукции, что объясняется структурной зависимостью от зарубежных технологий, экспортным контролем стран – производителей сырья и санкционным давлением [185; 201]. Преимущественно к товарам импорта относятся катализаторы и реагенты, специализированное оборудование и комплектующие, некоторые виды сырья, полимерных добавок и прочих веществ. При этом наблюдается удорожание перевозок за счет поиска альтернативных маршрутов и стран-посредников, через которые осуществляется логистика на рынке новых материалов и химической промышленности. Также значимым барьером в данном контексте выступают таможенные барьеры, что требует адаптации к требованиям новых рынков (в том числе сертификации, маркировки и проч.).
Дефицит высококвалифицированных кадров	В условиях перехода химической промышленности от сырьевой модели к технологически насыщенной и устойчивой модели отрасли, ориентированной на производство продукции с высокой добавленной стоимостью, возникает потребность в подготовке кадров, обладающих квалификацией в области инноваций, инженерных и технологических дисциплин. В последние годы наблюдается нехватка подходящих кандидатур, в связи с чем отрасль реализует меры, направленные на привлечение кадров, включая повышение заработной платы, увеличение расходов на обучение и переподготовку сотрудников, а также создание дополнительных обучающих центров и проведение мероприятий [185]. Как отмечают эксперты, дефицит кадров в химической отрасли в России в 2025 году составил 25 тыс. человек, при этом к 2030 году он может увеличиться до 150 тыс. [201]

В разрезе отдельных сегментов рынка новых материалов и в соответствии с уровнем влияния барьеров на развитие рынка можно выделить, что ключевыми ограничениями в области композиционных материалов является высокая стоимость сырья и изготовления самого материала, что связано также с высокими требованиями к обработке и производству как материала, так и изделия из него [122].

Рисунок 16. Барьеры и ограничения развития рынка передовых материалов в соответствии с уровнем влияния в разрезе сегментов: передовые композиционные материалы, передовые стекла, передовые керамические материалы, 2025, условные ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Verified Market Research [48; 58; 122], 2026

Важными ограничениями для данного сегмента рынка также выступают ограничения переработки и утилизации материалов, ограничения цепочек поставок, нестабильность параметров и нехватка нормативного регулирования.

Наиболее значимыми барьерами для развития рынка передовых стекол, в свою очередь, выступают высокая стоимость производства и установки, ограничения цепочек поставок, а также высокая конкуренция с другими альтернативными по свойствам материалами [48].

В разрезе сегмента передовой керамики высокое влияние на развитие рынка оказывают высокая стоимость производства и обработки, в том числе по причине технической сложности и высокого энергопотребления производства, ограничения переработки материалов по причине сложности и высокой стоимости, а также высокая конкуренция с альтернативными материалами, в частности пластиками и металлами [58].

Дополнительными рисками, возникающими на рынке новых материалов, выступают вопросы возникновения и проявления побочных эффектов при внедрении новых материалов, в том числе в связи с нехваткой знаний о материалах, возможные риски потери стабильности механических, физических и химических свойств материалов и др. [202] Возникновение данных рисков замедлит рост рынка новых материалов и структурно повлияет на реализуемые на рынке подходы к разработке и внедрению новых материалов и веществ.

Таким образом, существующие на рынке барьеры и риски свидетельствуют о сдерживающих факторах развития рынка. Наиболее значимым является высокая стоимость изготовления материала и последующего внедрения в отрасль, что связано со сложностью и инновационностью структуры материала. Мировой и отечественный рынок новых материалов обладают схожими барьерами, среди них, помимо высоких затрат, можно выделить нехватку нормативно-правового регулирования, сложность развертывания производства, дефицит кадров, а также зависимость от импорта некоторых типов сырья и материалов.

Анализ динамики роста рынка новых материалов и составляющих его основу сегментов в совокупности с выявленными трендами свидетельствуют о значительном потенциале расширения данной отрасли. Выявленные направления развития указывают на наличие предпосылок снижения влияния существующих на рынке барьеров и рисков, что подтверждает перспективность масштабирования рынка и его перехода в более зрелую стадию.

ГЛАВА 2. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ИГРОКОВ РЫНКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В главе рассмотрены ключевые игроки рынка новых материалов в соответствии с сегментами рынка. Проанализированы основные направления деятельности игроков рынка и рассмотрены ключевые продукты и решения, предлагаемые на рынке. Рассмотрены значимые сделки слияний и поглощений компаний на рынке, реализуемые соглашения о сотрудничестве и кооперации основных игроков рынка, вложения в новые проекты или инфраструктуру. Также проанализирована основная бизнес-модель деятельности компаний на рынке новых материалов и основные причины закрытия неудавшихся проектов.

Особое внимание в главе уделено отечественным игрокам рынка новых материалов, включая компании, вовлеченные в реализацию направления НТИ «Технет» и специализирующиеся на разработке новых материалов и веществ.

Сегментация и обзор игроков рынка и предлагаемых продуктов

Ключевые игроки рынка представляют обширный ландшафт компаний, специализирующихся на различных типах материалов. В рамках анализа выделены ключевые игроки, деятельность которых охватывает несколько направлений в соответствии с сегментами рынка (Таблица 4), и ключевые игроки, специализирующиеся на отдельных продуктовых направлениях.

Полный сводный перечень ключевых игроков на рынке новых материалов приведен в Приложении 2. Перечень игроков формировался на основе результатов анализа экспертных и аналитических отчетов о рынке новых материалов [203], а также по результатам анализа официальных сайтов компаний, представленных в открытом доступе.

Таблица 4. Описание деятельности основных игроков мирового рынка новых материалов

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
1	3M Company (США) [204]	✓	✓	✓	–	–	Многопрофильная технологическая корпорация, осуществляющая разработку и производство материалов и технологических решений в рамках деятельности более чем 15 брендов. Ключевые разработки и продуктовые направления [205]: • адгезивные системы, • абразивные материалы, • керамика, композиты, • функциональные пленки, • ленточные материалы, • покрытия и функциональные составы, • материалы для электроники, • метаматериалы, нанотехнологии и др.	• Автомобильная промышленность • Обработывающая промышленность и машиностроение • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Потребительские товары • Строительство и инфраструктура • Транспорт • Энергетика

⁴ Сегменты рынка новых материалов включают:

КМ – передовые композиционные материалы (Advanced Composite Materials);

К – передовые керамические материалы (Advanced Ceramics);

П – передовые полимеры (Advanced Polymers Materials);

С – передовые стекла (Advanced Glasses);

МиС – передовые металлы и сплавы (Advanced Metals & Alloys).

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
2	Advanced Technology & Materials Co., Ltd. (Antai Technology, AT&M, входит в China Iron and Steel Research Institute Group (CISRI), Китай) [206]	✓	–	–	–	✓	Специализированное предприятие в области металлических и композиционных материалов (в рамках деятельности дочерней компании Antai Composite Inc. [207]), осуществляющее разработку, производство и поставку материалов, в первую очередь передовых сплавов и изделий порошковой металлургии. Компания функционирует в структуре Китайского исследовательского института черной металлургии (China Iron and Steel Research Institute Group, CISRI), имеет статус высокотехнологичного предприятия, одобренного Министерством науки и технологий КНР, а также Китайской академией наук. Ключевые разработки и продуктовые направления: • магнитные материалы, • специальные сплавы, • металлопорошки, в том числе для аддитивного производства, • жаропрочные металлы и композиты, • материалы для электроники, • инженерные разработки в области охраны окружающей среды и др.	• Автоматизация и системы приводов • Автомобильная промышленность • Аэрокосмическая промышленность • Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика • Железнодорожный транспорт • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Судостроение и морская техника • Управление водными ресурсами и экологией • Энергетика
3	ATI Inc. (США) [208]	–	–	–	–	✓	Специализированная металлургическая компания, осуществляющая разработку, производство и поставку высокоэффективных сплавов и компонентов для эксплуатации в экстремальных условиях (высокие температуры, механические нагрузки, коррозионные среды). Деятельность охватывает полный производственный цикл от проектирования сплавов и вакуумной плавки до прокатки,ковки, порошковых и аддитивных технологий, а также финишной механической обработки, в том числе в рамках совместных предприятий со STAL и Uniti Titanium [209]. Ключевые разработки и продуктовые направления: • жаропрочные сплавы, • специальные и коррозионностойкие стали, • прокатная продукция из специальных сплавов, • продукция из титана, никеля, стали, циркония и др., • поковочные и обработанные компоненты, • порошковые металлические материалы, в том числе для аддитивного производства, • специализированные листы из нержавеющей стали для промышленного применения и др.	• Аэрокосмическая промышленность • Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика • Оборонная промышленность • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Энергетика
4	BASF SE (Германия) [210]	✓	–	✓	–	✓	Многопрофильная химическая компания, осуществляющая разработку, производство и поставку широкого спектра химических продуктов, функциональных материалов и технологических решений.	• Автомобильная промышленность • Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
							Ключевые разработки и продуктовые направления: • инженерные пластмассы и эластомеры, композиты, • биополимеры, • полиамиды, неорганические химикаты, полиуретаны, • материалы для литий-ионных батарей, катодные материалы, • специальные химикаты для электроники, • специализированные металлопорошки для аддитивного производства, • покрытия, катализаторы и др.	• Горнодобывающая промышленность • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Потребительские товары • Сельское хозяйство • Строительство и инфраструктура • Транспорт • Энергетика
5	Carpenter Technology Corporation (США) [211]	–	–	–	–	✓	Специализированная металлургическая компания, осуществляющая разработку, производство и поставку высокоэффективных специальных сплавов и инженерных решений для критически важных областей применения [212]. Ключевые разработки и продуктовые направления: • жаропрочные сплавы, • специальные марки нержавеющей стали, • легированные и специальные стали, • никель-медные сплавы, • титановые сплавы, • магнитомягкие материалы, • металлопорошки, в том числе для аддитивного производства, • готовые компоненты и детали и др.	• Аэрокосмическая промышленность • Медицинское приборостроение • Оборонная промышленность • Обрабатывающая промышленность и машиностроение • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Потребительские товары • Строительство и инфраструктура • Транспорт • Энергетика
6	CeramTec GmbH (Германия) [213]	✓	✓	–	–	–	Специализированный производитель передовой керамики, осуществляющий разработку, производство и поставку керамических материалов, деталей и компонентов для промышленного и медицинского применения. Ключевые разработки и продуктовые направления: • керамические материалы (оксидная керамика, неоксидная керамика, силикатная керамика, пьезокерамика, керамические композиты), • продуктовая категория (автомобильные компоненты, режущие инструменты, компоненты для полупроводниковой и электронной промышленности, химически стойкие компоненты, медицинские имплантаты, компоненты для медоборудования, аддитивные решения, пьезоэлектрические устройства и др.).	• Автомобильная промышленность • Медицинское приборостроение • Обрабатывающая промышленность и машиностроение • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Приборостроение • Управление водными ресурсами и экологией • Химическая промышленность • Энергетика
7	Corning Incorporated (США) [214]	–	✓	–	✓	–	Специализированная компания в области материаловедения, осуществляющая разработку, производство и поставку функциональных материалов на основе стекла, керамики и оптического волокна. Ключевые продуктовые направления: • передовая оптика и оптические компоненты, • химически упрочненное защитное стекло,	• Автомобильная промышленность • Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика • Информационно-коммуникационные технологии и связь • Полупроводниковая промышленность,

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
							• стекло для экранов, покрытия, • оптические волокна и компоненты для телекоммуникаций, • фильтрующие изделия и др. [215]	• электроника и электротехника • Потребительские товары
8	DuPont de Nemours, Inc. (США) [216]	✓	–	✓	–	✓	Многопрофильная компания в области специализированных материалов и химических решений, осуществляющая прикладные исследования в области химии полимеров и материаловедения, разработку, производство и поставку материалов. Ключевые разработки и продуктовые направления: • высокопроизводительные полимеры и инженерные пластмассы для экстремальных условий, • защитные материалы, покрытия и пленки, • специальные химикаты, добавки, • инновационные системы для подготовки и очистки воды, мембранные технологии, • специализированные химические продукты и функциональные материалы для электроники, • строительные материалы, • медицинские решения и др.	• Автомобильная промышленность • Аэрокосмическая промышленность • Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика • Обработывающая промышленность и машиностроение • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Потребительские товары • Строительство и инфраструктура • Управление водными ресурсами и экологией • Энергетика
9	Fuyao Glass Industry Group Co., Ltd. (Китай) [217]	–	–	–	✓	–	Специализированный производитель автомобильного стекла и сопутствующих компонентов, осуществляющий полный цикл деятельности от проектирования и прикладных НИОКР до производства, логистики и сервисной поддержки. Деятельность сфокусирована на поставке решений для оригинальных производителей автомобильной техники (ОЕМ) и рынка послепродажного обслуживания. Ключевые разработки и продуктовые направления: • автомобильное остекление, • функциональное остекление с интегрированными системами, • энергоэффективные и экологичные решения из стекла с пониженным коэффициентом теплопередачи, • компоненты для интеграции остекления в конструкции и др.	• Автомобильная промышленность • Железнодорожный транспорт
10	Hexcel Corporation (США) [218]	✓	–	✓	–	–	Специализированный производитель передовых композиционных материалов, осуществляющий разработку, производство и поставку высокоэффективных решений на основе углеродного волокна, сотовых структур и полимерных матриц. Ключевые продуктовые направления: • углеродное волокно и материалы на его основе, • сотовые структуры из различных материалов, • композиционные материалы и решения для облегчения конструкций, • препреги, адгезивные пленки и связующие смолы для композитов, • оснастка для производства деталей из композитов и др.	• Аэрокосмическая промышленность • Оборонная промышленность • Обработывающая промышленность и машиностроение

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
11	KYOCERA Corporation (Япония) [219]	✓	✓	–	–	✓	Многопрофильная технологическая компания, осуществляющая разработку, производство и поставку передовых материалов, компонентов и устройств на основе керамики и смежных функциональных материалов. Ключевые разработки и продуктивные направления: • передовые материалы, в первую очередь техническая (тонкая) керамика, • электронные компоненты и устройства, • пьезоэлектрическая керамика, • специализированные компоненты для автомобильной и медицинской промышленности, энергетики и др.	• Автомобильная промышленность • Аэрокосмическая промышленность • Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика • Информационно-коммуникационные технологии и связь • Обработывающая промышленность и машиностроение • Управление водными ресурсами и экологией • Энергетика
12	Mitsubishi Group (включая компании AGC Inc., Mitsubishi Chemical Group (включая дочернюю компанию Mitsubishi Chemical Advanced Materials), Mitsubishi Materials Corporation, Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc., Mitsubishi Electric Corporation, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. и др., Япония) [220]	✓	✓	✓	✓	✓	Компании, входящие в Mitsubishi Group, в соответствии с моделью «кэйрэцу» являются независимыми от головной корпорации и осуществляют деятельность в различных секторах промышленности и сферы услуг, в том числе в области разработки и производства новых материалов. Компании группы функционируют автономно, при этом координируют отдельные направления через обмен технологиями, совместные инвестиции и использование общих брендов. Перечень компаний включает, в частности: • Mitsubishi Chemical Group (ранее – Mitsubishi Chemical Holdings Corporation) [221] и дочернюю компанию Mitsubishi Chemical Advanced Materials, специализируется в области химии, высокоэффективных инженерных полимеров, композитов, в том числе на основе углеволокна; • AGC Inc. [222], специализируется в области стекла, керамики, фторполимеров и др.; • Mitsubishi Materials Corporation [223], специализируется на металлах и сплавах, в частности медной продукции, твердосплавных инструментов, материалах для электроники, высокочистых металлах, керамических подложках для электроники и проч.; • Mitsubishi Steel Mfg. [224], производит специализированные и высокопрочные стали, металлопорошки, в том числе для аддитивного производства; • Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc. [225], специализируется на материалах для электроники, полиимидах, поликарбонатах, ВТ-смолах для многослойных печатных плат и др.; • Mitsubishi Electric Corporation [226], специализируется на полупроводниковых материалах, компонентах на основе карбида кремния (SiC), магнитных материалах, оптоэлектронных компонентах и др.;	• Автомобильная промышленность • Аэрокосмическая промышленность • Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика • Медицинское приборостроение • Обработывающая промышленность и машиностроение • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Потребительские товары • Строительство и инфраструктура • Транспорт • Управление водными ресурсами и экологией • Энергетика

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
							Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. [227], разрабатывает композиционные материалы для аэрокосмической промышленности, жаропрочные сплавы и др.	
13	Morgan Advanced Materials plc (Великобритания) [228]	–	✓	–	✓	✓	Специализированный производитель передовых материалов на основе углерода, графита, карбида кремния (SiC) и технической керамики, осуществляющий разработку, производство и поставку решений для высокотемпературных и критических применений. Ключевые разработки и продуктовые направления: - изделия из углерода, графита и карбида кремния, - расходные материалы для полупроводниковой промышленности, - конструкционные керамические компоненты, - инженерные покрытия, - металлокерамические сборки, - лазерные продукты, - обрабатываемая стеклокерамика, - керамические изделия для теплоизоляции в условиях высоких температур, - графитовые порошки, - паяные сплавы и материалы для пайки и др.	- Аэрокосмическая промышленность - Автомобильная промышленность - Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика - Двигателестроение - Железнодорожный транспорт - Медицинское приборостроение - Оборонная промышленность - Обрабатывающая промышленность и машиностроение - Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника - Судостроение и морская техника - Энергетика
14	Murata Manufacturing Company, Ltd. (Япония) [229]	✓	✓	✓	✓	–	Специализированный производитель электронных компонентов и модулей на основе функциональных неорганических, органических и металлических материалов, осуществляющий разработку, производство и поставку пассивных компонентов в электронике, высокочастотных устройств и сенсорных систем [230]. Ключевые разработки и продуктовые направления в области новых материалов: - многослойные керамические конденсаторы, - диэлектрическая, пьезоэлектрическая, магнитная, полупроводниковая керамика, - материалы для радиочастотных модулей, - многослойные подложки на основе жидкокристаллических полимеров, - литий-ионные аккумуляторные батареи, каталитические материалы, - металлокомпозиты, - материалы для сенсоров, датчиков, функциональных устройств и др.	- Автомобильная промышленность «Интернет вещей» и сенсорные системы - Информационно-коммуникационные технологии и связь - Медицинское приборостроение - Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника - Промышленная автоматизация и робототехника - Электромобильность - Энергетика
15	Proterial, Ltd. (панель – Hitachi Metals, Ltd., Япония) [231; 232]	–	✓	–	–	✓	Многопрофильная металлургическая и материаловедческая компания, осуществляющая разработку, производство и поставку специализированных материалов, функциональных сплавов и компонентов для промышленного применения. Ключевые разработки и продуктовые направления: специальные стали, жаропрочные, коррозионностойкие и аморфные сплавы,	- Автомобильная промышленность - Аддитивное производство - Аэрокосмическая промышленность - Железнодорожный транспорт - Медицинское приборостроение

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
							- металлопорошки для аддитивного производства, - магнитные и магнитомягкие материалы, - керамические компоненты, - электрические провода и кабели, - автомобильные компоненты, - компоненты силовой электроники и др.	- Обрабатывающая промышленность и машиностроение - Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника - Строительство и инфраструктура - Энергетика
16	Saudi Basic Industries Corporation (SABIC, входит в Saudi Aramco, Саудовская Аравия) [233]	✓	–	✓	–	–	Крупнейшая интегрированная нефтехимическая компания, осуществляющая разработку, производство и поставку базовых химических продуктов, полимеров и специализированных материалов на основе углеводородного сырья. Деятельность охватывает полный производственный цикл от переработки природного газа и нефтепродуктов до синтеза полимеров, компаундирования и выпуска готовых материалов с функциональными добавками. Ключевые разработки и продуктовые направления: - базовые нефтехимические продукты, - полимерные материалы, - инженерные термопласты и специализированные полимерные компаунды, - функциональные добавки и составы для полимеров, - материалы для аддитивного производства, - покрытия и пигменты для лакокрасочной промышленности и др.	- Автомобильная промышленность - Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика - Обрабатывающая промышленность и машиностроение - Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника - Потребительские товары - Промышленная автоматизация и робототехника - Сельское хозяйство - Строительство и инфраструктура - Транспорт
17	Compagnie de Saint-Gobain S.A. (Франция) [234]	✓	✓	✓	✓	–	Многопрофильная компания в области материалов для строительства и промышленности, осуществляющая разработку и производство широкого спектра материалов, в том числе на основе стекла, полимеров и керамики. Ключевые разработки и продуктовые направления: - строительное, архитектурное, аэрокосмическое и автомобильное остекление, «умное» (электрохромное) стекло, - огнезащитное и безопасное стекло, - стеклокерамические поверхности, - технический текстиль, в том числе на основе стекловолокна, - строительные химикаты и добавки, - абразивные материалы и инструменты, - огнеупорные керамические изделия, и техническая высокоэффективная керамика, - функциональные пленки для остекления, - полимерные изделия и композиты, - адгезивы и герметики и др.	- Автомобильная промышленность - Обрабатывающая промышленность и машиностроение - Строительство и инфраструктура - Энергетика
18	Sandvik AB (Швеция) [235]	–	✓	–	–	✓	Многопрофильная инжиниринговая группа [236], осуществляющая в том числе разработку, производство и поставку инструментальных материалов, металлопорошка и технологических решений для промышленности. Ключевые продуктовые направления в области новых материалов:	- Автомобильная промышленность - Аэрокосмическая промышленность - Горнодобывающая промышленность

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
							- металлопорошки для аддитивного производства, - сплавы с контролируемым термическим расширением, - технологии добычи и переработки горных пород, - сверхтвердые материалы, - вольфрам и др.	- Обрабатывающая промышленность и машиностроение - Строительство и инфраструктура - Энергетика
19	Solvay S.A. (Бельгия) [237]	–	–	✓	–	–	Специализированная химическая компания, осуществляющая разработку, производство и поставку базовых и функциональных химических продуктов на основе процессов неорганического и тонкого органического синтеза. Ключевые разработки и продуктовые направления: - кальцинированная сода и ее производные, - пероксид водорода и органические пероксиды, - осажденный диоксид кремния, - фторированные химикаты, - оксиды металлов, в том числе редкоземельных, - специализированные химические составы и функциональные добавки, - технологические решения для снижения углеродного следа производства и др.	- Автомобильная промышленность - Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика - Горнодобывающая промышленность - Обрабатывающая промышленность и машиностроение - Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника - Потребительские товары - Строительство и инфраструктура - Управление водными ресурсами и экологией - Энергетика
20	Syensqo (Бельгия) [238]	✓	–	✓	–	–	Независимая компания, выделенная в 2023 году из структуры Solvay, специализирующаяся на высокопроизводительных полимерах и композитах. Ключевые разработки и продуктовые направления: - термореактивные и термопластичные препреги, - смолы и углеродные волокна, - материалы для литий-ионных аккумуляторов, - функциональные пленки и покрытия, - фторполимеры, эластомеры, жидкокристаллические полимеры, - амины, антиоксиданты и стабилизаторы, фенолы, - прочие специальные химикаты и полимеры.	- Автомобильная промышленность - Аэрокосмическая промышленность - Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика - Горнодобывающая промышленность - Обрабатывающая промышленность и машиностроение - Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника - Потребительские товары - Сельское хозяйство - Строительство и инфраструктура - Управление водными ресурсами и экологией
21	Teijin Ltd. (Япония) [239]	✓	–	✓	–	–	Многопрофильная компания в области передовых материалов, высокоэффективных волокон, композитов, функциональных пленок и специализированных химических продуктов. Ключевые разработки и продуктовые направления: - арамидное волокно, стекловолокно, углеродное волокно и композиционные материалы на их основе, - инженерные термoplastы, - функциональные пленки,	- Автомобильная промышленность - Аэрокосмическая промышленность - Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика - Информационно-коммуникационные технологии и связь - Обрабатывающая

№ п/п	Название компании, страна	Сегменты рынка новых материалов ⁴					Описание основной деятельности компании, основные разработки	Перечень отраслей
		КМ	К	П	С	МиС		
							• полимерные нановолокна, • сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), • сепараторы для литий-ионных аккумуляторов, • добавки, смолы и антипирены, • функциональные химикаты и др.	• промышленность и машиностроение • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Потребительские товары • Строительство и инфраструктура • Управление водными ресурсами и экологией • Энергетика
22	Toray Industries, Inc. (Япония) [240]	✓	✓	✓	–	–	Многопрофильная компания в области передовых материалов, осуществляющая разработку, производство и поставку функциональных полимеров, углеродных волокон, мембранных систем и специализированных химических продуктов. Ключевые разработки и продуктовые направления: • синтетические и углеродные волокна, • полимеры, смолы, • нетканые материалы и ультратонкие микроволокна, • инженерные термопласты и покрытия, • композиционные материалы, • мембраны для водоподготовки, высокофункциональные катализаторы, • тонкая керамика, • функциональные химикаты и др.	• Автомобильная промышленность • Биотехнологии, здравоохранение, медицина, фармацевтика • Информационно-коммуникационные технологии и связь • Медицинское приборостроение • Полупроводниковая промышленность, электроника и электротехника • Потребительские товары • Строительство и инфраструктура • Транспорт • Управление водными ресурсами и экологией

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

Таким образом, рассмотренные игроки рынка покрывают широкий спектр отраслей конечного применения разрабатываемых и производимых материалов, охватывают полный производственный и инновационный цикл, включая фундаментальные и прикладные исследования, разработку материалов, промышленный выпуск готовой продукции, логистическую поддержку, оказание услуг по технической поддержке внедрения продукции, инжинирингу, изготовлению продукции и партий материала под заказ.

Описание бизнес-модели основных игроков рынка новых материалов

Деятельность на рынке новых материалов, как правило, охватывает различные сегменты и группы игроков – производителей сырья, производителей отдельных химических компонентов (например, смол), интеграторов и разработчиков деталей, поставщиков оборудования, разработчиков программных решений и др. [2; 241].

Выделенные ключевые игроки рынка новых материалов являются многопрофильными корпорациями, осуществляющими разнообразную деятельность в области материаловедения. Бизнес-модель деятельности ключевых игроков может быть представлена в разрезе четырех основных характеристик – полный охват жизненного цикла, диверсификация деятельности, глобальное присутствие на рынке и масштаб деятельности, ориентация на мировые технологические тенденции.

Рисунок 17. Бизнес-модель деятельности основных игроков рынка новых материалов



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

1. Полный охват жизненного цикла.

В разрезе жизненного цикла продукта (материала) ключевые игроки, как правило, ориентированы на полный охват цикла [242–244], в том числе при взаимодействии с рынком [245], включая проведение фундаментальных и прикладных исследований в рамках деятельности сети исследовательских, инновационных и технологических центров [245–253], организацию процессов создания новых материалов и изготовления изделий с применением материалов, оказание услуг и сервисов в области материаловедения, осуществление поставок материалов, управление интеллектуальной собственностью (включая патентование разработок и инновационных продуктов) [254–257], осуществление финансовой поддержки прорывных технологий в рамках венчурных инвестиций [258–260].

Кроме того, масштабы деятельности ключевых игроков и особенности конечных изделий предполагают повышенные требования к составу материалов и тщательное соблюдение стандартов, в связи с чем в структуре материаловедческих компаний, например, Carpenter Technology, функционируют подразделения контроля качества [261].

2. Диверсификация деятельности.

В части диверсификации деятельности следует отметить три ключевых показателя, которые демонстрируют широту охвата процессов основными игроками рынка:

- диверсификация продукции подразумевает, что ключевые игроки не фокусируются на исключительно одном типе новых материалов – в портфель компаний входит, как правило, несколько типов материалов и некоторые сопутствующие продукты [262], при этом производственные мощности компаний обеспечивают широкий спектр процессов для обработки материалов и компонентов, что позволяет им удерживать лидирующие позиции на рынке и расширять отраслевой охват;
- диверсификация услуг и сервисов предполагает осуществление дополнительных работ по заказам потребителей, что способствует профессиональному удовлетворению запросов;
- диверсификация отраслей на рынке новых материалов связана с охватом широкого спектра высокотехнологичных секторов промышленности, включая как обрабатывающие производства, так и медицину, строительство, производство потребительских товаров и проч.

Как правило, масштабы деятельности ключевых игроков рынка предполагают предоставление широкой линейки различных типов материалов для различных отраслей промышленности и оказание сопутствующих услуг, что обеспечивает прибыль, устойчивое положение компании на рынке и перспективы для расширения охвата.

Диверсификация услуг предполагает широкий портфель сервисов, в частности, подбор химического состава материалов, интерпретацию технических чертежей, быстрое прототипирование для отработки гипотез и проведения испытаний, контрактное производство по изготовлению преформ, деталей и компонентов, осуществление технологических операций по механической и финишной обработке компонентов, внедрение новых материалов в технологическую цепочку и др. [263–266]. Так, примерно 70% заказов Carpenter Technology на поставку материалов включают также оказание дополнительных услуг, преимущественно в части технологической обработки металлов и сплавов [267].

3. Глобальное присутствие на рынке и масштаб деятельности.

Данная характеристика основных игроков рынка также может быть представлена тремя ключевыми показателями:

- региональный охват предполагает присутствие компании во всех крупных регионах мира – Северная и Латинская Америка, Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион, Ближний Восток, Африка, Австралия, при этом доли охвата по регионам могут быть примерно равны, что подтверждает мировой статус рассмотренных компаний [268; 269];
- партнерская сеть ключевых игроков также демонстрирует масштабный охват и реализацию долгосрочного сотрудничества как в сфере материаловедения, так и в части сопутствующих технологий [270];
- сеть поставщиков ключевых игроков рынка подразумевает заключение множества соглашений с различными компаниями-дистрибьюторами материалов, которые осуществляют продажи продукции по всему миру [271–273].

Проанализированные ключевые игроки рынка новых материалов, как правило, имеют представительство в разных регионах, что также поддерживается активным сотрудничеством с дистрибьюторами и другими заинтересованными сторонами. Производственные площадки, исследовательские лаборатории, офисы продаж и другие элементы экосистемы, расположенные по всему миру, способствуют снижению зависимости от местных производителей, созданию стабильных цепочек поставок, быстрому реагированию на потребности рынка и отсутствию задержек заказов [274].

Morgan Advanced Materials, в свою очередь, в рамках стратегии на ближайшие годы одним из приоритетов определил расширение присутствия в Китае для увеличения производства карбида кремния в интересах полупроводниковой промышленности [275].

4. Ориентация на мировые технологические тенденции.

В разрезе мировых технологических тенденций ключевые игроки рынка не только следуют трендам, выделенным в Главе 1, но и широко заявляют об ориентации на два ключевых аспекта. Аспект, связанный с поддержанием устойчивости компании и экономики замкнутого цикла, реализован в части проведения исследований и разработок безопасных, биоразлагаемых, перерабатываемых материалов, снижения воздействия на климат, снижения затрат на энергопотребление и других направлений деятельности, в том числе разработки экологических решений [276–278].

Вторым глобально значимым аспектом выступает повышение эффективности ключевых процессов деятельности компаний, в первую очередь за счет цифровой трансформации бизнес-процессов, внедрения передовых цифровых и производственных технологий и инноваций.

Данный комплекс технологий направлен на автоматизацию процессов разработки и производства материалов, внедрение программных систем для проектирования, моделирования поведения материала (CAE-систем), анализа данных (в том числе с применением интеллектуальных систем [279–281]), компьютерного зрения, развертывание промышленных роботов, «умных» фабрик и технологии цифровых двойников, налаживание системы датчиков и внедрение облачных технологий для контроля измерений и проч. [205; 276; 282–286].

Примеры сделок по слиянию и поглощению компаний, сотрудничеству и кооперации, инвестиционным и исследовательским проектам

Одним из ключевых элементов бизнес-деятельности лидеров рынка выступает осуществление сделок по слиянию и поглощению компаний, а также заключение соглашений о долгосрочном сотрудничестве и совместных исследовательских проектах, осуществление вложений в инфраструктуру и приоритетные направления деятельности. Ниже представлены примеры данных сделок и соглашений на рынке новых материалов, а также приведен обзор некоторых стратегических решений о закрытии проектов и направлений деятельности.

Таблица 5. Сделки по слиянию и поглощению компаний в области новых материалов

№ п/п	Участники сделок по слиянию и поглощению	Описание сделок по слиянию и поглощению
1	Покупатель: Arclin Продавец: Du Pont	В сентябре 2025 года компания Arclin подписала соглашение о приобретении бизнеса арамидных волокон у <i>DuPont</i> , сумма сделки составила около 1,8 млрд долл. Сделка включает права на торговые марки Kevlar® и Nomex®, производственные площадки и штат сотрудников. Компания осуществляла деятельность в области высокопрочных синтетических волокон в интересах аэрокосмической отрасли, электротехнической промышленности, производства электромобилей, оборонного сектора и др. Для Arclin сделка означает расширение продуктового портфеля, усиление позиций в существующих сегментах и выход на новые географические рынки [287].
2	Покупатель: Stratasys Продавец: MarkForged	В мае 2026 года компания Stratasys, специализирующаяся на аддитивном производстве, объявила о приобретении MarkForged, специализирующейся на непрерывной печати углеродным волокном и разработке специализированных программных платформ для моделирования, управления деталями, автоматизации и оптимизации печати. Сумма сделки составляет 42,5 млн долл. (36,5 млн евро), сделка будет завершена во второй половине 2026 года. Тем самым Stratasys расширяет дистрибьюторскую сеть и укрепляет позиции на рынке в таких отраслях как аэрокосмическая, оборонная, автомобильная и др. [288]

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Кооперации, партнерства и сотрудничества в области передовых материалов формируются в рамках совместной разработки технологий для полупроводниковой, аэрокосмической и оборонной промышленности, внедрении специализированных материалов в конечные системы, переработки материалов, а также локализации производств.

Таблица 6. Кооперации, партнерства и сотрудничества в области новых материалов

№ п/п	Участники коопераций, партнерств и сотрудничеств	Описание коопераций, партнерств и сотрудничеств
1	3M, консорциумы US-JOINT и JOINT3 под руководством Resonac	3M в 2025 году последовательно присоединилась к консорциумам US-JOINT и JOINT3 под руководством Resonac для совместной разработки технологий передового корпусирования полупроводников и органических интерпозеров. Партнерства направлены на ускорение создания комплексных решений для систем искусственного интеллекта, высокопроизводительных вычислений и автономного транспорта на базе новой исследовательской площадки в Кремниевой долине [289; 290].
2	Университет штата Пенсильвания и компания <i>Morgan Advanced Materials</i>	Университет штата Пенсильвания и компания <i>Morgan Advanced Materials</i> в апреле 2024 года заключили соглашение о сотрудничестве в области разработки карбида кремния для применения в полупроводниковой промышленности. Партнерство предусматривает также поставку специализированных графитовых материалов для процессов выращивания кристаллов и создание пилотной производственной площадки для отработки технологий, критически важных для высоковольтной электроники электромобилей и энергетической инфраструктуры [291].
3	<i>SABIC</i> и <i>Cybershield</i>	<i>SABIC</i> и поставщик гибридных металлополимерных компонентов <i>Cybershield</i> в апреле 2024 года начали сотрудничество по развитию технологии электрохимического нанесения покрытий на высокотемпературные смолы ULTEM™ для применения в аэрокосмической промышленности. Партнерство направлено на расширение возможностей литья и обеспечение качества металлизации для компонентов, требующих защиты от электромагнитных помех [292].
4	<i>Syensqo</i> , <i>Terma</i> , <i>Toray Composite Materials America</i>	Компания <i>Syensqo</i> в июле 2025 года заключила соглашение с <i>Terma</i> для интеграции высокоэффективных адгезивов и композиционных материалов в аэрокосмические и оборонные системы, а в январе 2026 года подписала пятилетнее стратегическое соглашение с подразделением <i>Toray Composite Materials America</i> (входит в <i>Toray Group</i>) о долгосрочных поставках высокопрочного углеродного волокна и волокна со средним модулем упругости. Партнерства направлены на повышение устойчивости цепочки поставок, расширение портфеля композитных решений и обеспечение стабильного производства компонентов для авиации и систем безопасности [293–295].
5	<i>Hyundai Motor Group</i> и <i>Toray</i>	<i>Hyundai Motor Group</i> и <i>Toray</i> в ноябре 2025 года заключили соглашение о совместной разработке высокопроизводительных композиционных материалов, включая углепластики, для транспортных средств, специальных мобильных платформ и робототехники [296].
6	<i>Pinette PEI</i> и консорциум <i>Composites TP Team</i>	Компания <i>Pinette PEI</i> в марте 2025 года вошла в консорциум <i>Composites TP Team</i> , объединяющий французских производителей и технические центры (в том числе <i>Coriolis Composites</i>) для формирования комплексной цепочки создания термопластичных композитов, а в июле 2025 года заключила соглашение о партнерстве с KVE (дочернее предприятие <i>Daher</i>) для совместной разработки оборудования и интегрированных решений по штамповке и индукционной сварке. Деятельность в рамках соглашения с KVE направлена на ускорение промышленного внедрения высокопроизводительных методов сборки композитов, обеспечение улучшенной переработки материалов и снижение производственных затрат [297; 298].

№ п/п	Участники коопераций, партнерств и сотрудничества	Описание коопераций, партнерств и сотрудничества
7	<i>Syensqo</i> и <i>Vartega</i> ; <i>Composite Recycling</i> и <i>Owens Corning</i>	Компания <i>Syensqo</i> совместно с переработчиком углеродного волокна <i>Vartega</i> в марте 2025 года начала сотрудничество по созданию замкнутого цикла для композиционных материалов, предусматривающее переработку производственных отходов во вторичное сырье [299]. По аналогичному направлению вторичного использования отходов композитного производства сотрудничают <i>Composite Recycling</i> и <i>Owens Corning</i> [300]. Данные партнерства поддерживают формирование замкнутых циклов использования композиционных материалов.
8	<i>Syensqo</i> и <i>Aramco</i>	В ноябре 2025 года <i>Syensqo</i> и <i>Aramco</i> подписали меморандум о создании совместного предприятия для локализации производства углеродного волокна и передовых композитов в Саудовской Аравии. Партнерство направлено на формирование региональной цепочки создания композиционных материалов для промышленного и энергетического секторов [301].
9	<i>Toray</i> и <i>Convergent</i>	Сотрудничество <i>Toray</i> и <i>Convergent</i> направлено на продвижение технологий цифрового инжиниринга. В частности, компании сотрудничают в части выполнения моделирования процессов отверждения композитов на базе смол <i>Toray</i> с применением программного продукта <i>Convergent</i> для применения в аэрокосмической промышленности [302].
10	<i>Saint-Gobain</i>	В рамках стратегии открытых инноваций компания <i>Saint-Gobain</i> с 2006 года развивает партнерскую экосистему через венчурное подразделение NOVA (общий объем инвестиций в стартапы составил почти 100 млн долл.) и международную университетскую сеть SUN. В частности, одним из направлений реализации стратегии стало открытие международной исследовательской Лаборатории инновационных ключевых материалов и структур (<i>Laboratory for Innovative Key Materials and Structures, LINK</i>) совместно с Французским национальным научно-исследовательским центром (CNRS) и Национальным институтом материаловедения Японии (<i>National Institute for Materials Science, NIMS</i>) для разработки новых материалов в области керамики, порошков, абразивов и др. [260].

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Инвестиции в области передовых материалов ориентированы на расширение производственных мощностей, локализацию производства критически важных компонентов и разработку технологий для высокотехнологичных отраслей.

Представленные ниже проекты отражают основные направления капитальных вложений в технологические решения для микроэлектроники, энергетики, транспорта и других отраслей промышленности. В частности, развитие микроэлектроники и инфраструктуры центров обработки данных определяет спрос на новые материалы и производственные технологии для полупроводниковой отрасли и оптических систем.

Таблица 7. Инвестиционные проекты в области новых материалов

№ п/п	Наименование инвестиционного проекта	Описание инвестиционного проекта
1	Технический центр <i>Toray</i> на Тайване	<i>Toray</i> в марте 2025 года открыла технический центр на Тайване для проведения НИОКР в области передовых полупроводниковых технологий и материалов. Инициатива направлена на укрепление позиций <i>Toray Industries</i> в цепочке поставок материалов [303].
2	Завод <i>BASF</i> в Людвигсхафене	Строительство завода <i>BASF</i> в Людвигсхафене (Германия), о котором компания объявила в октябре 2025 года [304]. Инвестиции направлены на локализацию поставок высокочистых химических материалов для европейской полупроводниковой отрасли в интересах автомобилестроения, создания систем искусственного интеллекта и др. Отдельным проектом, анонсированным в апреле 2025 года, предусмотрено расширение производства серной кислоты для полупроводниковой промышленности в том же регионе [305]. Ввод обоих предприятий в эксплуатацию запланирован на 2027 год.
3	Расширении производственных мощностей <i>BASF</i> в Людвигсхафене	Аналогично <i>BASF</i> в ноябре 2024 года объявила о расширении производственных мощностей для технологии аддитивного формования катализаторов X3D® на площадке в Людвигсхафене. Запуск промышленной линии запланирован на 2026 год [306].
4	Расширении производственных мощностей <i>SABIC</i> в Берген-оп-Зоме	<i>SABIC</i> в декабре 2025 года объявила о расширении производственных мощностей по выпуску специализированных олигомеров на основе полифениленэфира (PPE) на площадке в Берген-оп-Зоме (Нидерланды). Завершение проекта по расширению производства запланировано на вторую половину 2026 года. Инвестиции обусловлены ростом спроса на специализированные полимерные материалы со стороны производителей электроники для систем искусственного интеллекта и телекоммуникационного оборудования [307].
5	Расширение производственных мощностей <i>3M</i> в США	<i>3M</i> в марте 2026 года также объявила о расширении производственных мощностей в США для выпуска компонентов оптических соединений на основе технологии расширенного пучка (Expanded Beam Optical, EBO) более чем в 2 раза за счет установки дополнительного оборудования и увеличения производственной площадки. Технология EBO обеспечивает высокоскоростную оптическую связь с повышенной надежностью соединений и устойчивостью к загрязнению, что критически важно для вычислительных сред и центров обработки данных, в том числе искусственного интеллекта [308].
6	Строительство нефтехимического комплекса <i>SABIC</i> в Китае	<i>SABIC</i> в январе 2024 года приняла решение о строительстве нефтехимического комплекса в провинции Фуцзянь (Китай). Объем вложений составит около 6,4 млрд долл., запуск предприятия запланирован на первый квартал 2027 года. Производственная мощность комплекса достигнет 1,8 млн тонн этилена в год. Инвестиции направлены на расширение производственного присутствия <i>SABIC</i> в Азии и диверсификацию цепочек поставок сырья [309].
7	Запуск производств <i>SABIC</i>	В рамках стратегии по снижению углеродного следа продукции к 2050 году <i>SABIC</i> в сентябре 2024 года также запустила производство сертифицированных низкоуглеродных химических продуктов [310]. Дополнительно в ноябре 2024 года <i>SABIC</i> запустила производственную площадку по выпуску смолы ULTEM™ (полиэфиримид) в Сингапуре. Объем инвестиций составил 170 млн долл. Проект направлен на увеличение глобальных мощностей по выпуску данного

№ п/п	Наименование инвестиционного проекта	Описание инвестиционного проекта
		высокотемпературного термопласта более чем на 50% и удовлетворение спроса на термопласты в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Проект реализован при поддержке Совета экономического развития Сингапура [311].
8	Строительство нового завода <i>BASF</i> в Индии	Компания <i>BASF</i> в феврале 2025 года начала строительство нового завода в Индии по выпуску материалов Cellasto® из микропористого полиуретана, ввод в эксплуатацию запланирован на вторую половину 2026 года. Проект направлен на удовлетворение растущего локального спроса со стороны автомобильной промышленности [312].
9	Строительство завода Sinopec Shanghai Petrochemical	Компания Sinopec Shanghai Petrochemical в январе 2026 года запустила строительство завода по крупнотоннажному производству углеродного волокна мощностью 30 тыс. тонн в год в Китае, общий объем инвестиций составит 400 млн евро. Проект направлен на создание крупнейшей в Китае производственной базы углеродного волокна с использованием собственной запатентованной технологии и источников возобновляемой энергетики региона для обеспечения растущего спроса в отраслях промышленности [313].
10	Инвестиции <i>3M</i> в Ohmium International	<i>3M</i> в июле 2024 года осуществила стратегическое вложение в компанию Ohmium International, разработчика электролизерных систем на основе протонообменных (полимерно-электролитных) мембран (Proton Exchange Membrane, PEM) для производства зеленого водорода, что ориентировано на декарбонизацию энергоемких промышленных производств [314].
11	Инвестиции <i>Advanced Technology & Materials</i> в Хэфэйский научно-исследовательский институт редкоземельных постоянных магнитных материалов	<i>Advanced Technology & Materials</i> в июне 2025 года осуществила стратегическое вложение в Хэфэйский научно-исследовательский институт редкоземельных постоянных магнитных материалов (Hefei Steel Research Rare Earth Permanent Magnet Materials Institute, входит в Группу Института исследования стали, CISRI). Вложение в объеме 500 тыс. юаней направлено на расширение направлений НИОКР и мощностей опытного производства спеченных неодимовых магнитов (неодим-железо-бор, NdFeB). Проект ориентирован на развитие технологий редкоземельных магнитных материалов в контексте обеспечения устойчивости цепочек поставок для высокотехнологичных отраслей [315].
12	Строительство производственной площадки <i>Proterial</i> в Индии	<i>Proterial</i> в феврале 2026 года объявила о строительстве производственной площадки по выпуску аморфного металлического материала Metglas™ в Индии для применения в строительстве энергетической инфраструктуры. Инвестиции обусловлены ростом спроса на электроэнергию в Индии и необходимостью модернизации инфраструктуры в условиях развития центров обработки данных и электрификации транспорта [316].
13	Строительство промышленной теплонасосной установки <i>BASF</i> в Людвигсхафене	В апреле 2026 года <i>BASF</i> реализовала ключевой этап инвестиционного проекта по строительству промышленной теплонасосной установки на ключевой производственной площадке в Людвигсхафене (Германия), на которой производится широкий перечень базовых химических материалов и промежуточных веществ, в том числе мономеры и материалы для производства полимеров, композиционных материалов и др. Установка использует электроэнергию из возобновляемых источников и генерирует безуглеродный технологический пар, проектная производительность установки составит 500 тыс. тонн пара в год. После ввода в эксплуатацию технология позволит сократить

№ п/п	Наименование инвестиционного проекта	Описание инвестиционного проекта
		выбросы парниковых газов на данной площадке до 98%, что эквивалентно снижению углеродного следа на 100 тыс. тонн ежегодно. Ввод установки в эксплуатацию запланирован на середину 2027 года [317; 318].
14	Открытая исследовательская площадка Национального центра композитов Великобритании	В июне 2025 года Национальный центр композитов Великобритании объявил о создании открытой исследовательской площадки по разработке технологий производства углеродного волокна в графстве Чешир. Проект финансируется Министерством науки, инноваций и технологий Великобритании (Department for Science, Innovation and Technology, DSIT) и предусматривает запуск двух опытных линий по производству углеволокна, интегрированных с цифровым пространством [319]. Полный ввод в эксплуатацию запланирован на вторую половину 2026 года [320].
15	Запуск автономного производства композиционных деталей компанией Holy Technologies в Гамбурге	Holy Technologies в сентябре 2025 года привлекла 4,3 млн евро на запуск автономного производства композиционных деталей в Гамбурге (Германия). В основе производственного процесса лежит собственная запатентованная технология Infinite Fiber Placement, которая обеспечивает прецизионную укладку непрерывного углеродного волокна по заданной траектории [321]. В настоящий момент производственная линия запущена, предприятие находится на стадии масштабирования до серийного производства [322].
16	Расширение выпуска углеродного волокна компанией <i>Mitsubishi Chemical</i>	<i>Mitsubishi Chemical</i> в декабре 2025 года объявила о расширении выпуска углеродного волокна для высокотехнологичных отраслей на площадках в Японии и США. Проект до 2027 года предусматривает постепенное удвоение объемов производства для удовлетворения растущего спроса на легкие конструкционные материалы [323].
17	Привлечение стартапом <i>Perseus Materials</i> финансирования	Стартап <i>Perseus Materials</i> по разработке аддитивных производственных систем для крупногабаритных композиционных деталей, который в феврале 2026 года привлёк стратегические инвестиции от Lockheed Martin [324].
18	Запуск нового производственного участка <i>Toray Industries</i>	В сегменте инженерных пластиков для транспорта и электроники компания <i>Toray Industries</i> в январе 2025 года объявила о запуске нового производственного участка по выпуску высокоэффективных полимерных компаундов в Китае в целях стабилизации поставок в регионе [325].

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Новые проекты на рынке передовых материалов охватывают создание специализированных полимеров для электротранспорта, материалов для приборов электроники, биокаталитических и низкоуглеродных технологий, цифровых инструментов разработки композитов.

Таблица 8. Новые проекты в области новых материалов

№ п/п	Наименование нового проекта	Описание нового проекта
1	Новая марка смолы EXTEM™ RH компании <i>SABIC</i>	<i>SABIC</i> в 2025 году представила новую марку смолы EXTEM™ RH с улучшенными свойствами для оптических межсоединений, используемых для инфраструктуры передачи данных. Материал выдерживает

№ п/п	Наименование нового проекта	Описание нового проекта
		пайку при 260 °C и позволяет выполнять высокоточное микролитье многолинзовых систем для совместно упакованной оптики (CPO) [326].
2	Смола ABS, фотолитографируемые полиимидные листы и фотолитографируемый полиимидный герметизирующий материал компании <i>Toray</i>	<i>Toray</i> в декабре 2025 года разработала смолу ABS для оборудования, применяемого в процессе обработки полупроводников и электронных компонентов. Материал снижает риск повреждения продукции от статического электричества и загрязнения в производственных процессах [327]. Кроме того, компания разработала фотолитографируемые полиимидные листы для стеклянных подложек в производстве полупроводников для снижения затрат [328]. Дополнительно в апреле 2026 года разработан фотолитографируемый полиимидный герметизирующий материал для МЭМС-устройств. Материал сочетает высокую термостойкость и низкие остаточные напряжения, что повышает надежность и позволяет миниатюризировать сенсорные компоненты [329].
3	Термопластичные материалы компании <i>SABIC</i>	<i>SABIC</i> в мае 2024 года подтвердила эффективность термопластов STAMAX™ с фазовым переходом для предотвращения теплового разгона в аккумуляторных системах электромобилей [330]. В июне того же года она вывела на рынок термопластичные материалы для высоковольтных компонентов, расширив специализированный продуктовый портфель [331].
4	Ультратонкий пленочный диэлектрик компании <i>SABIC</i>	В 2025 году <i>SABIC</i> также представила ультратонкий пленочный диэлектрик ELCRES™ HTV150 для конденсаторов, обеспечивающий стабильную работу при температурах до 150 °C [332; 333], и термостойкий композит из стекловолокна LNP™ THERMOCOMP™ для корпусов блоков управления электромобилей, позволяющий заменить металл и полимеры [334].
5	Полиэфиримидные смолы ULTEM™ и сополимеры компании <i>SABIC</i>	В 2024 году компания представила полиэфиримидные смолы ULTEM™ для конструктивных компонентов авиационной техники [335], сополимеры LNP™ ELCRES™ FST для железнодорожного транспорта [336], химически стойкие поликарбонатные сополимеры LNP™ ELCRES™ CXL для широкого промышленного применения [337]. В 2025 году был запущен проект MEGAMOLDING™, нацеленный на скорость, вариативность и экологичность изготовления крупногабаритных термопластичных деталей [338].
6	Смолы SILTEM компании <i>SABIC</i>	В 2025 году представлены смолы SILTEM для кабельной продукции, не содержащие фтора и призванные заменить традиционные фторполимеры в условиях ужесточения регулирования фторсодержащих поверхностно-активных веществ (ПФАС) [339], а в 2026 году – новые материалы с содержанием вторичного сырья для применения в автомобилестроении [340].
7	Эластичная смола и порошок полиамида компании <i>Toray</i>	<i>Toray</i> в феврале 2026 года разработала эластичную смолу на основе полифениленсульфида без содержания ПФАС, которая обладает огнестойкостью и термостойкостью. Материал предназначен для компонентов систем охлаждения и электропроводки в электромобилях и центрах обработки данных как альтернатива фторполимерам [341]. Также компания <i>Toray</i> представила порошок полиамида для 3D-печати методом порошкового сплавления. Материал обеспечивает повышенную гладкость поверхности и ударопрочность готовых изделий, расширяя возможности аддитивного производства функциональных деталей [342].
8	Центр разработки катализаторов компании	В декабре 2024 года <i>BASF</i> открыла Центр разработки катализаторов и переработки твердых веществ в Людвигсхафене. Объект

№ п/п	Наименование нового проекта	Описание нового проекта
	<i>BASF</i>	предназначен для ускоренного масштабирования инновационных каталитических технологий для промышленного применения [343].
9	Технология биоконверсии компании <i>Toray</i>	В декабре 2025 года <i>Toray</i> разработала технологию биоконверсии химических соединений с использованием иммобилизованных микроорганизмов. Технология позволяет снизить энергопотребление на предприятии на 80–90% по сравнению с традиционными процессами химической конверсии, требующими высокой температуры и давления [344].
10	ПО для конечно-элементного анализа анизотропных композиционных материалов компании <i>Continuous Composites</i>	Компания <i>Continuous Composites</i> с августа 2025 года разрабатывает программное обеспечение для конечно-элементного анализа анизотропных композиционных материалов с учетом ориентации волокон. Инструмент направлен на повышение точности прогнозирования структурного поведения деталей, изготовленных по технологии 3D-печати непрерывным волокном, и сокращение цикла разработки материалов [345].
11	Завершение программы ASCEND	Консорциум во главе с GKN Aerospace в марте 2025 года завершил программу ASCEND по развитию высокопроизводительного производства композиционных материалов для аэрокосмической и автомобильной отраслей. Проект с суммарным объемом финансирования 51,33 млн долл. объединил 16 партнеров (включая Airborne, Hexcel Composites, NCC, <i>Syensqo</i> и др.) для отработки автоматизированных процессов и цифровых методов изготовления материалов на примере автомобильной и аэрокосмической отрасли [346].

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Одним из инструментов адаптации бизнес-моделей лидеров рынка новых материалов выступает своевременное **завершение проектов**, продажа непрофильных активов и оптимизация структуры портфеля в пользу приоритетных направлений. Так, компании на рынке передовых материалов в 2023–2026 гг. проводили значимые сделки по перераспределению активов, закрывая второстепенные или узкие направления деятельности и освобождая дополнительные ресурсы.

Например, *Solvay* в 2023 году завершила разделение на две независимые компании – *Solvay (EssentialCo)*, специализирующуюся на производстве химических веществ, полимеров и волокон, и *Syensqo (SpecialtyCo)*, фокусирующуюся на высокотехнологичных разработках, термопластичных композитах и инновационных материалах. Реорганизация направлена на повышение финансовых показателей и производительности за счет узкой специализации структур и является стратегическим решением компании [2].

Также *SABIC* в 2023–2024 гг. завершила продажу 100%-й доли в дочерней компании Saudi Iron and Steel Company (Hadeed) Суверенному фонду Саудовской Аравии (PIF) за 12,5 млрд риалов (около 3,33 млрд долл.). Вырученные средства распределены на развитие основного химического направления SABIC, а передача сталелитейного актива способствовала диверсификации промышленного профиля экономики Саудовской Аравии [347; 348].

В свою очередь, *Dow* в июне 2025 года согласовала продажу 50%-й доли в совместном предприятии DowAksa Advanced Composites Holdings BV партнеру Aksa Akrilik Kimya Sanayii A.Ş. (входит в Akkök Holding) за 125 млн долл. Сделка позволила *Dow* направить капитал на развитие основного химического направления и высокомаржинальных активов [349].

Еще одним примером выступает сделка между *Owens Corning* и индийской компанией Praana Group, в

рамках которой Owens Corning продала свое подразделение стекловолокна в целях оптимизации портфеля и сосредоточения бизнеса на основном направлении в области строительных материалов. Сумма сделки составила 280 млн долл. [350]

Аналогично *Saint-Gobain* в феврале 2024 года завершила продажу Freeglass GmbH & Co. KG по производству полимерных деталей для автомобильной промышленности немецкой компании HF Opportunities GmbH (подразделение инвестиционного холдинга Hannover Finanz). Сделка позволила компании сконцентрировать ресурсы на производстве материалов для промышленности и строительства и оптимизировать продуктовый портфель [351].

Схожим образом поступила компания *Teijin* в апреле 2025 года, продав дочернюю компанию Teijin Automotive Technologies North America (TAT-NA) по производству передовых композиционных деталей для автомобильной и транспортной отраслей инвестиционной фирме Aurelius Private Equity Mid-Market Buyout. Передача бизнеса с годовой выручкой свыше 1 млрд долл. и 14 производственными площадками в США и Мексике позволяет Teijin сфокусироваться на своих приоритетных направлениях деятельности [352].

Несколько иной подход к оптимизации производственной географии и структуры собственности прослеживается в стратегии *Toray*. Так, компания в конце 2025 года завершила поэтапный выход из совместного предприятия по производству аккумуляторных сепараторов LG Toray Hungary Battery Separator Kft. в Венгрии, продав свою долю партнеру LG Chem. Сделка оценена приблизительно в 30 млрд иен (около 206,5 млн долл.) и направлена на консолидацию производства данной продукции на собственных площадках Toray в Японии и Южной Корее [353; 354].

Также важно привести пример масштабного закрытия подразделений по производству материалов и переориентации на разработку решений по цифровизации и автоматизации процессов. Так, консорциум во главе с Bain Capital в апреле 2021 года приобрел компанию *Hitachi Metals* у корпорации Hitachi за 7,5 млрд долл. В январе 2023 года предприятие было переименовано в Proterial. Сделка позволила Hitachi завершить выход из традиционных промышленных активов и сосредоточиться на цифровых сервисах, тогда как новый владелец сохранил производственную деятельность по выпуску специализированных сплавов и магнитов с планами развития в сегментах электротранспорта и передовых материалов [355–357].

Таким образом, рассмотренные стратегические решения и ключевые инвестиции игроков рынка новых материалов направлены на локализацию производств критически важных компонентов, наращивание мощностей по выпуску специализированных материалов, а также оптимизацию непрофильных активов. В свою очередь, среди приоритетных направлений сотрудничества и научно-исследовательских инициатив можно выделить формирование замкнутых циклов использования материалов, совместную разработку экологических альтернатив традиционным химическим продуктам, а также внедрение цифровых инструментов и методов машинного обучения в процессы разработки композитов. Указанные тренды формируют общую траекторию развития рынка, ориентированную на снижение углеродного следа, повышение устойчивости производственных цепочек и ускоренный вывод специализированных материалов для высокотехнологичных отраслей промышленности.

Обзор отечественных компаний в области новых материалов, включая компании НТИ, вовлеченные в реализацию направления НТИ

На основе проведенного обзора ключевых компаний выделены лидеры российского рынка новых материалов в разрезе сегментов рынка. Приведенный перечень не является исчерпывающим и содержит компании, исследования которых вносят существенный вклад в развитие рынка и создание высокотехнологичных продуктов с улучшенными физико-механическими характеристиками и соответствуют задачам исследования.

Таблица 9. Обзор отечественных игроков рынка новых материалов

№ п/п	Название компании	Описание основной деятельности компании, основные разработки
1	АО «АэроКомпозит» (входит в ПАО «Яковлев», ПАО «ОАК»)	Компания осуществляет инновационные разработки и производство элементов конструкций воздушных судов (в первую очередь МС-21) из полимерных композиционных материалов. Среди основных направлений деятельности компании – изготовление монолитных конструкций консолей крыла и центроплана МС-21 из полимерных композиционных материалов на основе инфузионной технологии, изготовление композиционных узлов механизации крыла, оперения, а также композиционных элементов носовой и хвостовой частей крыла МС-21 методом автоклавного формования на основе препрегов и др. [358]
2	АО «Государственный Орден Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химии и технологии элементо-органических соединений» (АО «ГНИИХТЭОС»)	Институт специализируется на разработке способов получения и создания конкурентоспособных промышленных технологий неорганических и органических соединений таких элементов, как кремний, алюминий, бор, свинец, германий, олово, железо, марганец и других веществ, материалов специального и общего назначения [359; 360]. Среди продукции института можно выделить: • катализаторы; • керамические материалы; • композиционные материалы на основе кремнийорганических жидкостей; • кремнийорганические компаунды, отвердители, стабилизаторы; • кремнийорганические связующие и смолы; • элементоорганическую продукцию и др.
3	АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина» (входит в Госкорпорацию «Ростех»)	ОНПП «Технология» серийно выпускает отечественное ударопрочное остекление для транспорта, включая птицестойкое остекление для кабин самолетов и скоростных пассажирских поездов, поставляет звукопоглощающие и прирабатываемые панели авиационных двигателей, создает уникальные материалы, защищающие от перегрева комические аппараты [361]. В частности, компания производит 20 марок стеклосотопластов для панелей шумопоглощения авиадвигателей, которые сохраняют свои свойства при повышенных механических и температурных (до 300°C) нагрузках и обеспечивают выполнение экологических требований ИКАО по уровню шумности двигателя [362].
4	ООО «НТЦ «Бакор»	Центр специализируется на таких направлениях как специальные керамические и композитные огнеупорные изделия, системы промышленной фильтрации, обогащение полезных ископаемых и др. [363] В 2025 году компания представила разработанную технологию по изготовлению крупноформатных керамических огнеупорных изделий разного состава и структуры методом 3D-печати, что будет способствовать внедрению керамических изделий для применения в высокотемпературных агрегатах металлургии, химической и атомной промышленности, аэрокосмической отрасли, ОПК и других отраслях [364].
5	ООО «Росатом Композитные технологии» (Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом»)	Композитный дивизион специализируется на производстве высокопрочного и высокомодульного углеродного волокна на основе ПАН-прекурсора и тканей широкого сортамента, что является одной из ключевых задач корпорации по импортозамещению. Среди продукции компании – препреги из углеволокна с термореактивным связующим, термопластичные полимерные композиты, полимерные композиты для строительства, композиты на основе стекловолокна и др. [365] В 2025 году «Росатом Композитные технологии» запустил одно из первых в России серийных производств термопластичных композитов. Производственные мощности позволяют выпускать 11 тысяч консолидированных пластин для термоштамповки, 50 тонн однонаправленных безутковых препрегов и тоупрегов для автоматической выкладки, 9 тонн филаментов из непрерывного углеродного волокна для 3D-печати в год в интересах авиастроения, ракетно-космической и нефтегазовой отрасли [366; 367].
6	ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»	Компания – ведущий производитель слитков и прокатов титановых сплавов для различных отраслей промышленности. Центр специализируется на поставке титановых сплавов, ферротитана, алюминия, легированных сталей, жаропрочных сплавов на никелевой основе для авиастроения, двигателестроения, химической промышленности, атомной энергетики, нефтегазовой отрасли, медицины и др. [368] В 2025 году компания презентовала планы по строительству нового экологичного комплекса по обработке титановой продукции [369]. Кроме того, компания в августе 2025 года выплавляла миллионный титановый слиток, что подтверждает производительность предприятия и востребованность на отечественном рынке [370].
7	ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ПАО «НЛМК»)	Один из крупнейших в России металлургических комбинатов. Компания специализируется на изготовлении стальных прокатов, различных полуфабрикатов, высокотехнологичных сталей (включая электротехнические) с функциональными свойствами и особыми прочностными характеристиками [371].

№ п/п	Название компании	Описание основной деятельности компании, основные разработки
		Мощности основных активов компании ориентированы на производство стали в объеме 14,3 млн тонн в год, общие мощности по производству горячего и холодного проката ориентированы на выпуск 14,8 млн тонн готовой продукции в год [372]. Кроме того, на предприятии осуществляется струйно-порошковая 3D-печать форм для изготовления деталей из меди, чугуна и стали, в первую очередь узлов и запчастей для доменных печей и конверторов, а также запчастей насосного оборудования, тележек и прочих деталей, что направлено на самообеспечение производственного процесса [373].
8	ПАО «Северсталь»	Одна из крупнейших в России и мире горно-металлургических компаний, специализирующаяся на комплексных решениях из стали, чугуна, изготовлении металлопродукции, огнеупорной продукции и др. [374] Согласно оценке компании, в 2025 году вклад компании в достижение национальных целей России (куда входит в том числе цель по достижению технологического лидерства) составил 25,6 млрд руб., что свидетельствует о существенной роли компании в различных отраслях экономики [375].
9	ПАО «СИБУР Холдинг»	Ведущая в России химическая компания, специализирующаяся на обработке химических веществ, синтетических материалов и полимеров, а также катализаторов. Решения компании представлены в различных отраслях промышленности, включая горнодобывающую промышленность и металлургию, добычу нефти и газа, транспорт, агропромышленный комплекс, потребительские товары и проч. Показатели производственных мощностей компании предполагают производство 3,2 млн тонн полиэтилена, 2 млн тонн полипропилена, 4,6 млн тонн пластиков и продуктов органического синтеза, 1,5 млн тонн эластомеров ежегодно и др. [376] В частности, компания отработала пусконаладку нового производства полипропилена и заранее воспроизвела ключевые сценарии запуска и работы оборудования, которое будет запущено в 2027 году и обеспечит выпуск 570 тыс. тонн полипропилена в год. Данное производство станет одним из крупнейших производств полипропилена в мире [377], что подтверждает стремление компании к масштабированию деятельности и реагирование на возникающий спрос на отечественные материалы в условиях формирования технологического суверенитета. Также компания совместно с КБГУ отрабатывает технологию получения полифталамида, суперконструкционного пластика с повышенной устойчивостью к температурам, агрессивным химическим воздействиям и механическим нагрузкам [378]. Кроме того, СИБУР создает блок катализаторной фабрики современных синтетических материалов в Казани, которая станет частью нового научно-производственного кластера в этом регионе [379].
10	ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ)	Ведущий материаловедческий центр, специализируется на исследованиях в области новых материалов, включая [380]: • Жаропрочные сплавы и стали; • Неметаллические материалы, металлические композиционные материалы и теплозащита; • Полимерные композиционные материалы и технологии их переработки; • Титановые, магниевые, бериллиевые и алюминиевые сплавы; • Функциональные материалы и технологии синтеза. В частности, среди разработок центра – рабочая лопатка вентилятора из полимерных композиционных материалов с защитной входной кромкой; элемент жаровой трубы с эмалевым покрытием, рассчитанный на рабочую температуру 1100–1150°C; лопатки газотурбинного двигателя с рабочей температурой до 1350°C; заготовки элементов тяги системы управления вертолетной техники, выполненные на основе объемно-армированной плетеной преформы из отечественного углеволокна [381] и др.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

В ходе анализа отечественного рынка новых материалов были рассмотрены в том числе компании «Технет» НТИ, специализирующиеся на разработке решений в рассматриваемой области. В обзоре представлена деятельность 46 компаний, которые разрабатывают и производят различные типы новых материалов, в соответствии с сегментами рынка. В обзор вошли некоторые крупные компании, представленные на сайте Единой витрины поиска компаний, экспертов, инвестиций и мер поддержки, объединяющей сервисы НТИ «RADAR», далее – Единая витрина НТИ «RADAR» [382].

Из 46 рассмотренных компаний 28 компаний специализируется в области композиционных материалов, 3 компании – в области аддитивных технологий, 15 компаний – в области стекла, полимеров, керамики, металлов и сплавов. Технологический ландшафт содержит компании, у которых логотип представлен в открытом доступе.

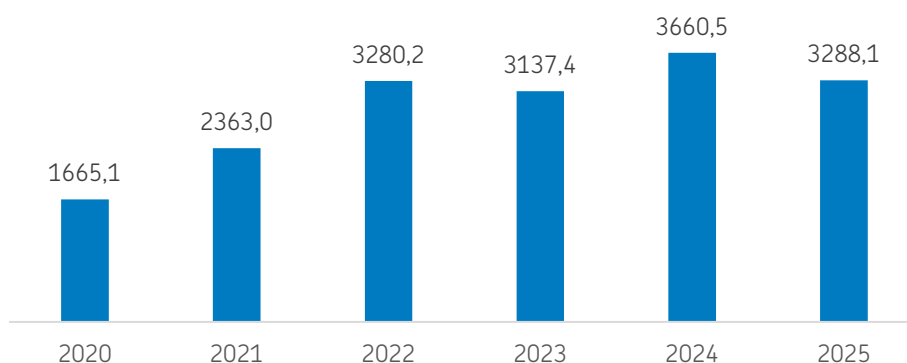
Рисунок 18. Технологический ландшафт компаний НТИ в области новых материалов



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Единой витрины поиска компаний, экспертов, инвестиций и мер поддержки, объединяющей сервисы НТИ «RADAR», сайтов компаний, 2026

В ходе поиска финансовых данных компаний НТИ по объемам выручки от продажи продуктов и услуг проанализированы сведения, опубликованные на государственном информационном ресурсе бухгалтерской отчетности (ресурс БФО, формируемый ФНС России [383]) и Единой витрине НТИ «RADAR». За весь анализируемый пятилетний период деятельности (2020–2025 гг.) были найдены данные по 24 организациям, которые учтены в дальнейшем анализе. Так, в 2025 году суммарная выручка по всем рассмотренным 24 компаниям составила почти 3,3 млрд руб.

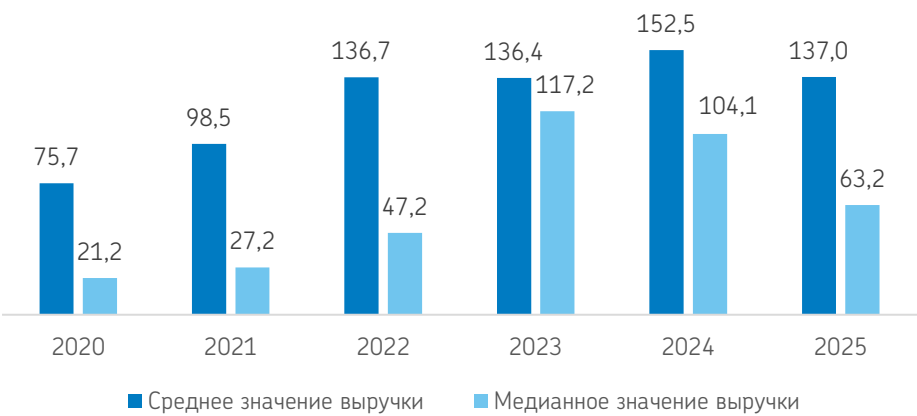
Рисунок 19. Общая выручка компаний НТИ, специализирующихся в области новых материалов, по годам, 2020–2025 гг., млн руб.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Единой витрины поиска компаний, экспертов, инвестиций и мер поддержки, объединяющей сервисы НТИ «RADAR», ресурса БФО, 2026

При этом наибольшее значение выручки как за 2025 год, так и за весь рассматриваемый период зафиксировано у ООО «Росатом Аддитивные технологии» – 843,4 млн руб., что объясняется диверсифицированной деятельностью центра.

Рисунок 20. Среднее и медианное значение выручки компаний НТИ, специализирующихся в области новых материалов, по годам, 2020–2025 гг., млн руб.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Единой витрины поиска компаний, экспертов, инвестиций и мер поддержки, объединяющей сервисы НТИ «RADAR», ресурса БФО, 2026

Наибольшее значение общей выручки наблюдалось в 2024 году – более 3,66 млрд руб. При анализе значений средней выручки и медианных значений выручки также прослеживается тенденция к росту за период с 2020 по 2024 год, в 2025 году наблюдается небольшое падение показателей. Так, наибольшее значение средней выручки по компаниям составило 152,5 млн руб. в 2024 году, при этом наибольшее медианное значение наблюдалось в 2023 году – 117,2 млн руб. В открытых источниках информации, а также в материалах Единой витрины НТИ «RADAR» отсутствует информация об экспортной выручке рассматриваемых компаний НТИ, осуществляющих деятельность в области новых материалов.

В числе рассмотренных 46 компаний у 31 компании зарегистрированы результаты интеллектуальной деятельности за период 2002–2026 гг. Суммарное число РИД составило 139 ед., наибольшее количество РИД зарегистрировано компанией ООО «Нанокерамикс» (ранее – АО «Нэвз-Керамикс») согласно данным платформы Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) [384].

Для дальнейшего анализа проектов отечественных компаний НТИ, специализирующихся в области новых материалов, отобраны топ-10 компаний по объему выручки за 2025 год.

Таблица 10. Обзор отечественных компаний, специализирующихся в области новых материалов и вовлеченных в реализацию направления НТИ

№ п/п	Название компании	Объем выручки, 2025 год, млн руб.	Описание основной деятельности компании	Описание проектов
1	ООО «Росатом Аддитивные технологии» (ранее – «РосАТ»)	843,4	«РосАТ» курирует проектирование и организацию производства оборудования, порошковых материалов, комплектующих, программного обеспечения, а также предоставляет услуги в области аддитивных технологий.	В 2025 году компания представила первый российский серийный 3D-принтер по технологии селективного лазерного сплавления (SLM) для крупногабаритной печати металлом – RusMelt 600M [385].

№ п/п	Название компании	Объем выручки, 2025 год, млн руб.	Описание основной деятельности компании	Описание проектов
2	ООО «НПО Гелар»	368,1	Компания является российским производителем композиционных материалов «Поликерамопласт» на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и модифицирующих добавок.	В 2025 году в НПО «Гелар» разработан эффективный материал для защиты от нейтронного ионизирующего излучения – борированный полиэтилен. Данный материал не впитывает влагу, химически стоек и легко поддается механической обработке [386].
3	ООО «Барренс Комплектация»	312,5	Компания выполняет работы по обслуживанию, модернизации, ремонту, изготовлению и поставке запчастей для компрессоров, поршневых машин высокого и среднего давления. Компания является лидером по производству и поставке бесшмазочных композиционных материалов для систем сухого трения (BARS серий 500, 600 и 700).	Н/д
4	ООО Научно-производственное объединение «РЭК»	274,6	Компания – один из ведущих разработчиков композиционных материалов на основе термопластов в области аддитивных технологий. Ключевые компетенции – химия полимеров, органическая химия, технологии экструзии и компаундирования.	В 2025 году компания расширила ассортимент «шелковых» филаментов разных цветов, которые не требуют сложного оборудования. Низкая температура экструзии и низкая усадка делают возможной качественную 3D-печать на бюджетных 3D-принтерах. Применение таких материалов скрывает слоистость за счет «глянцевитости» материала, благодаря чему можно обходиться без постобработки поверхностей [387].
5	ООО «МК-Полимер»	268,8	Компания специализируется на производстве полимерных компаундов для различных отраслей промышленности. В портфеле компании следующие готовые решения: термоэластопласты общего и специального назначения (негорючие, электропроводящие); термопластичные полиуретаны, в том числе негорючие в безгалогенном исполнении; силанольносшиваемые резины; погонажные изделия из электропроводящих материалов, полиуретанов, термоэластопластов.	Компания представила новую марку термоэластопласта ТЭП МК 120КИ(10), предназначенного для изготовления изоляции кабеля. Температура эксплуатации термоэластопласта от -50°C до +90°C. Новая разработка ТЭП МК 120КИ(10) содержит в своей структуре минеральный антипирен, в роли которого выступает гидроксид магния, а также антибактериальную добавку [388].
6	ООО «Полифем»	188,4	Компания производит изделия из композиционных материалов, металлов и сплавов, разрабатывает цифровые технологии производства изделий из композиционных материалов, совмещающих аддитивные технологии и LCM-процессы (Liquid Composite Molding, литьевое формование композитов).	Компания разрабатывает новую систему хранения водорода в сжатом виде, которая отличается повышенной безопасностью, за счет применения диссипативного (многополостного) баллона и повышенным давлением до 120 МПа. Системы позволят обеспечить безопасное использование водорода на транспорте и улучшить экономические показатели [389].
7	ООО «Термо Глас Трейд»	179,8	Компания занимается разработкой и продвижением на рынок композиционных материалов с использованием наноаддитивов, в частности углеродных нанотрубок. Основная разработка компании – композиционные материалы с электропроводящими свойствами. Среди применяемых технологических процессов при производстве изделий из термопластичных и реактопластичных полимеров – методы пул-трузии, экструзии и выдува.	Н/д

№ п/п	Название компании	Объем выручки, 2025 год, млн руб.	Описание основной деятельности компании	Описание проектов
8	ООО «Завод по переработке пластмасс имени „Комсомольской правды“»	157,5	Предприятие в области переработки различных видов полимерных материалов, а также разработки изделий и внедрения их в эксплуатацию.	В 2026 году на предприятии прошла презентация нового экспериментального участка по производству заготовок из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и фторопласта с интегрированной вакуумной камерой дегазации в безазотном исполнении для Арктики и медицины [390]. Данный участок является результатом систематической деятельности предприятия по созданию полного цикла производства СВМПЭ в России [391; 392].
9	ООО «Смартсервис»	144,7	Ведущее научно-производственное предприятие в области проектирования и изготовления объемно-армированных цельнотканых преформ из угле/стекло-волокну, которые используются для производства изделий из полимерных композиционных материалов.	Н/д
10	ООО «МЕТЭКЛЭЙ Исследования и Разработки»	142,8	Компания проводит испытания, разработку и производство полимерных композиционных материалов, пробных продуктов и готовых изделий из них.	Н/д

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

Также можно отметить реализуемые проекты компании ООО «НИЦ «СПМ» в области создания новых материалов. Так, компания разрабатывает материал пенопластового наполнителя для формования композитов из угле- и стеклопластиков «изнутри», без использования автоклава или прессы, под маркой «Синтерм»™. Другим проектом компании выступает разработка состава и технологии изготовления препрегов для композитной бронезащиты на основе арамидных тканей и термопластичного связующего. Еще одна разработка компании – составы высокопрочных эпоксидных клеев холодного отверждения с высокими физико-механическими характеристиками, предназначенных для склеивания металлических и композиционных материалов в различных областях техники [393].

Рассмотренные компании НТИ в области новых материалов ведут деятельность в таких направлениях, как разработка и создание композиционных материалов, исследования в области «умного» стекла, аддитивных технологий, функциональных полимеров, СВМПЭ, усовершенствованных металлопорошков и др. Продукты компаний НТИ широко применяются на различных рынках машиностроения, авиастроения, в сельском хозяйстве, строительстве, медицине, полупроводниковой промышленности. Большинство компаний специализируется в области полимерных композиционных материалов. Наличие обширного перечня компаний НТИ в данной области свидетельствует о значимом влиянии сегмента новых материалов на развитие рынка «Технет» НТИ, об имеющемся научно-технологическом заделе в области импортозамещения новых материалов, а также о формировании технологической платформы для осуществления полного цикла производства высокотехнологичной продукции, в рамках которой обеспечиваются конкурентные преимущества изделий, изготовленных из материалов с заданными свойствами, улучшенным составом и передовыми техническими характеристиками.

ГЛАВА 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной главе рассмотрены ключевые меры государственной поддержки в области новых материалов, направленные на реализацию научно-исследовательских работ, развитие инноваций и содействие коммерциализации разработок. Рассмотрены меры поддержки в США, Великобритании, Европейском союзе (ЕС), а также некоторых странах, входящих в межгосударственное объединение БРИКС – Китае, России, Индии, Бразилии и Иране.

Также в главе представлены результаты анализа нормативно-технического ландшафта в области материалов, включая новые материалы. Фокус исследования сосредоточен на обзоре международных и региональных организаций по стандартизации, национальных организаций по стандартизации (включая организации США, Великобритании, Японии, а также некоторых стран, входящих в БРИКС, в том числе Китай и Россию).

Государственная поддержка НИР и НИОКР в области новых материалов

Данный обзор представляет собой результаты исследования зарубежной и отечественной государственной политики в области поддержки разработки новых (передовых) материалов. Внимание сосредоточено на тех странах, где данное направление закреплено в качестве одного из приоритетов технологического развития в рамочных стратегических документах или специализированных программах. Анализ охватывает инициативы государств-лидеров на мировом рынке новых материалов (США, Китай, Великобритания, а также страны ЕС) и ряда стран-участниц межгосударственного объединения БРИКС.

В обзоре кратко рассмотрены меры поддержки, государственные программы и инициативы, проанализированные ранее более подробно в экспертно-аналитических докладах Инфраструктурного центра «Технет» НТИ на базе СПбПУ, таких как «Перспективы и сценарии развития новых материалов в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году» [2] и «Тренды и перспективы развития цифрового проектирования и моделирования (включая цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов)» [3], а также актуальные стратегические документы, напрямую или косвенно затрагивающие тематику новых материалов, принятые в 2024–2026 годах.

Таблица 11. Государственные меры поддержки и программы развития в области новых материалов в различных странах, включая страны БРИКС

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
США	Межведомственная инициатива «Геном материалов» (Materials Genome Initiative, MGI, 2011 г.) – проведение исследований и формирование инновационной инфраструктуры для разработки передовых материалов, используемых в промышленности [394]. Финансирование: Более 1 млрд долл. (с начала реализации до 2022 года, более поздние данные не представлены в открытом доступе) [395]	• Ускорение вывода новых материалов на рынок – сокращение срока разработки с традиционных 20 лет до 5–10 лет; • Развитие цифровой экосистемы отрасли, использование технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для предсказания свойств материалов; • Интеграция данных – создание единой среды, объединяющей методы компьютерного моделирования, экспериментальную базу и формирование цифровых библиотек данных; • Снижение критической зависимости от импорта и уменьшение рисков в цепочках поставок критически важных материалов; • Подготовка кадров [396].

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
США	Программа по разработке материалов для революционных изменений и проектирования будущего (Designing Materials to Revolutionize and Engineer our Future, DMREF, 2012 г.) [395], реализуется в соответствии с инициативой Materials Genome Initiative Финансирование: • 270 млн долл. (за период 2012–2022 гг. было профинансировано 250 проектов); • 1,5–2 млн долл. (финансирование проекта длительностью 4 года) [397]	• Поддержка решения фундаментальных задач в области открытия и разработки материалов с учетом приоритетов инициативы Materials Genome Initiative (в целях ускорить открытие материалов).
США	Программа инвестирования в производственные территории (Investing in Manufacturing Communities Partnership, IMCP, 2013 г.) [398] – поддержка региональных производственных кластеров, в том числе в области развития новых материалов (UAMMI [399]). Финансирование: 1,3 млрд долл. (гранты федеральных агентств) [398]	• Ускорение возрождения американской промышленности путем стимулирования регионов к разработке комплексных стратегий экономического развития; • Развитие регионов как более привлекательных для частных инвестиций, за счет выгодных условий для производственных компаний.
США	Manufacturing USA (2014 г.) [400] – сеть из 17 институтов передовых производственных технологий (в том числе в области передовых материалов – IACMI [401], аддитивного производства – America Makes [402]) Финансирование: 37 млн долл. на 2026 г. [403]	• Продвижение инноваций в обрабатывающей промышленности и ускорение коммерциализации; • Создание конкурентоспособной, эффективной и устойчивой инфраструктуры для развития научно-исследовательских и производственных процессов в американской промышленности и академических кругах [404].
США	Программа региональных технологических и инновационных центров (Regional Technology and Innovation Hubs Program, Tech Hubs, 2022 г.) – программа, запущенная в развитие IMCP в рамках принятого в 2022 году Закона о чипах и науке «CHIPS and Science Act» [405]. В рамках программы Tech Hubs создан технологический центр производства аэрокосмических материалов ААММС [406]. Финансирование: Планируемый бюджет программы Tech Hubs – 10 млрд долл. на период 2023–2027 гг. [407] По состоянию на август 2024 года программа была профинансирована на сумму 541 млн долл., размер грантов составил от 19 до 51 млн долл. [408]	• Tech Hubs продолжает поддержку регионов с целью превращения их в мировых лидеров в ключевых технологиях; • Программа стимулирует создание производств, коммерциализацию технологий и создание высокооплачиваемых рабочих мест, обеспечивая рост инновационных экосистем.

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
США	Программа тематических исследований материалов (Division of Materials Research: Topical Materials Research Programs, DMR-TMRP, 2023 г.) – программа по поддержке фундаментальных исследований и образования в области материаловедения в следующих направлениях: биоматериалы, керамика, физика конденсированных сред, электронные и фотонные материалы, металлы и металлические наноструктуры, полимеры, а также химия твердого тела и материалов [409]. Финансирование: Предполагаемый объем финансирования 66 млн долл. на реализацию 250 проектов [410]	• Формирование знаний об электронных, атомных и молекулярных структурах, механизмах и процессах, определяющих морфологию и свойства от наноразмерного до макроскопического масштаба; • Открытие новых явлений в материалах; • Создание новых стратегий проектирования, синтеза и обработки, которые способствуют созданию новых материалов с уникальными характеристиками, выходя за рамки традиционных научных и инженерных дисциплин; • Развитие технологий и отраслей промышленности, отвечающих потребностям общества, а также подготовка следующего поколения исследователей в области материаловедения.
США	Программа акселератора критически важных минералов и материалов (Critical Minerals and Materials Accelerator, CMM, 2025 г.) [411] Финансирование: Объем финансирования возможен на сумму до 50 млн долл. [411]	• Разработка альтернативных материалов и инновационных способов синтеза, технологических инноваций в области структуры вещества с целью снижения стратегической зависимости США от импорта сырья; • Поддержка прототипов и пилотного внедрения инновационных технологий обработки критически важных материалов, которые в настоящее время доказали свою эффективность только в лабораторных условиях, для решения задач в значимых областях; • Продвижение инновационных разработок на промежуточных этапах посредством валидации, сравнительного анализа, доступа к национальным лабораторным испытательным полигонам, тестирования в условиях, соответствующих отраслевым стандартам, технико-экономического анализа и оценки жизненного цикла; • Подготовка разработок к коммерческому внедрению в течение 3–7 лет; • Содействие развитию безопасных и устойчивых технологий производства критически важных материалов в США; • Создание механизма поддержки развития технологий для привлечения частных инвестиций [412].
Великобритания	Программа центров «Катапульта» (Catapult Centres, 2011 г.), в рамках которой создан Национальный центр композиционных материалов (National Composites Centre, NCC, 2011 г.) [413] и Научно-исследовательский центр передовых производственных технологий (Advanced Manufacturing Research Centre, AMRC, 2011 г.) [414] Финансирование: 1,9 млрд долл.⁵ (период 2023–2028 гг.) [415]	• Преодоление «долины смерти» (разрыва между академическими исследованиями и коммерческим рынком) для обеспечения долгосрочного экономического роста Великобритании; • Обеспечение мирового лидерства страны в области композитов, посредством их более доступного, дешевого и простого применения в производстве для широкого круга отраслей: авиации, автомобилестроения, энергетики и строительства (NCC); • Разработка сверхлегких и прочных материалов (NCC); • Помощь производственным компаниям во внедрении инновационных методов обработки и сборки изделий (деталей), чтобы повысить производительность, снизить затраты и уменьшить воздействие на окружающую среду (AMRC); • Разработка передовых технологий обработки металлов и сборки, цифровое производство и аддитивные технологии (AMRC).
Великобритания	Инициатива по созданию цепочки поставок для передовых производств (Advanced Manufacturing Supply Chain Initiative, AMSCI,	• Содействие созданию общенациональной сети поставщиков знаний и технологий в области композиционных материалов с целью устранения рыночных недостатков, с которыми сталкиваются производители композиционных материалов в интересах

⁵ Расчет данных осуществлен по среднегодовому курсу: 1 фунт стерлингов = 1,24 долл. США за 2023 год.

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
	2011 г.), в рамках которой создан Кластер в области композиционных материалов (Composites Innovation Cluster, CiC, 2012–2016 гг.) Финансирование: 34,7 млн долл.⁶ для реализации 13 проектов [416]	высокотехнологичного производства в Великобритании [417]; • Содействие подготовке квалифицированных кадров, обладающих навыками для поддержки кардинальных изменений в производственных технологиях, необходимых для выпуска новых термопластичных материалов, а также полимеров, армированных углеродным волокном [418].
Великобритания	Стратегия развития композиционных материалов в Великобритании (UK Composites Strategy, 2016 г.)	• Удовлетворение глобального спроса и обеспечение роста экономики Великобритании за счет многоотраслевого применения композиционных материалов; • Содействие проведению первичных и непрерывных исследований в области технологий композиционных материалов, развитию цепочки поставок, повышению квалификации и обучению специалистов в области композиционных материалов, разработке нормативных кодексов и стандартов, а также устойчивому развитию; • Содействие применению композиционных материалов в высокотехнологичных отраслях с целью поддержания устойчивого развития и лидирующих позиций в аэрокосмической и оборонной отраслях, судостроении, автомобилестроении и возобновляемой энергетике, а также диверсификации в железнодорожную промышленность, строительство и нефтегазовую отрасль [419].
Великобритания	Инвестиционная программа исследований и разработок по внедрению цифровых технологий в производство композитов (Digital Capability Acquisition Programme, iCAP, 2018–2020 гг.) Финансирование: 48,99 млн долл. [420]	• Содействие продвижению передовых технологий и ускорению разработки новых процессов для всех видов производства композиционных материалов; • Предоставление доступа компаниям из различных отраслей промышленности к технологиям нового поколения, а также обеспечение участия в тестировании новых методов; • Повышение производительности и укрепление лидирующих позиций Великобритании в сфере высокотехнологичного производства.
Великобритания	Национальная инновационная стратегия в области материалов (National Materials Innovation Strategy, NMIS, 2025 г.) [421; 422] – межотраслевая стратегия развития материалов	• Применение трансформационных технологий и подходов в разработке и использовании инновационных материалов в различных отраслях; • Ускорение цикла разработки композиционных материалов и достижение лидерства страны в области инноваций и производства материалов; • Обеспечение устойчивости цепочек поставок и создания более экологичных материалов; • Развитие инноваций в таких областях, как энергетика, здравоохранение, инфраструктура, технологии обработки поверхностей, полимеры, электроника и датчики, а также потребительские товары; • Достижение нулевого уровня выбросов [422; 423].
Великобритания	Национальная инновационная программа в области материалов (National Materials Innovation Programme, NMIP, 2025 г.) [424], реализуется в рамках Плана развития сектора передового производства (Advanced Manufacturing Sector Plan, 2025 г.) [425] Финансирование:	• Стимулирование деятельности сообщества специалистов по материалам; • Содействие сотрудничеству и ускорению перехода в цикле разработки новых инновационных материалов от исследований к промышленному внедрению в областях, выделенных в рамках стратегии NMIS [426].

⁶ Расчет данных осуществлен по среднегодовому курсу: 1 фунт стерлингов = 1,58 долл. США за 2012 год.

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
	Общий объем финансирования 2,62 млн долл. ⁷ (гранты, выделяемые на проект, варьируются в диапазоне от 50 до 100 тыс. фунтов) [424]	
Европейский Союз	Программа поддержки исследований и инноваций Horizon 2020, Horizon Europe (2021–2027 гг.) [427] Финансирование: 93,5 млрд евро, рассчитано на период 2021–2027 гг.	- Разработка материалов, безопасных для человека и окружающей среды; - Цифровизация материаловедения: использование искусственного интеллекта и больших данных для ускорения разработки новых структур материалов; - Снижение зависимости от критического импорта сырья (редкоземельные элементы, литий) за счет создания инновационных материалов-заменителей; - Создание материалов, пригодных для переработки, или состоящих из вторичного сырья. За период 2013–2024 гг. поддержано более 5 300 проектов по композициям [428].
Европейский союз	Комплексная стратегия развития передовых материалов для достижения промышленного лидерства (EU's Advanced Materials for Industrial Leadership strategy, 2024 г.) [429]	- Создание в Европе динамичной и безопасной экосистемы в области материалов, которая обеспечит лидерство в исследованиях и ускорит вывод инноваций на рынок, одновременно гарантируя устойчивость и защиту здоровья человека и окружающей среды; - Поддержка развития передовых материалов в таких областях, как энергетика, строительство, электроника, разные виды транспорта (мобильность); - Ускорение масштабирования и наращивания производственного потенциала (от лаборатории до завода) передовых материалов; - Содействие производству и использованию современных материалов (посредством формирования стандартов).
Европейский союз	Партнерство «Инновационные передовые материалы для Европы» (European Partnership Innovative Advanced Materials for Europe, IAM4EU, 2024 г.) – государственно-частное партнерство в рамках Horizon Europe [430] Финансирование: 306 млн долл. (господдержка на 2025–2027 гг.), 282,5 млн долл. (частные инвестиции). В 2025 году состоялись 4 конкурса, объем финансирования которых суммарно составил 90,4 млрд долл.⁸ [431].	Создание и поддержка междисциплинарной, межотраслевой, основанной на сотрудничестве общеевропейской экосистемы исследований и инноваций, которая значительно ускорит вывод на рынок безопасных и экологически чистых передовых материалов и связанных с ними технологий, разработанных для цифровой экономики и экономики замкнутого цикла.
Европейский союз	Европейский альянс по экономике замкнутого цикла композиционных материалов (European Circular Composites Alliance, ECCA, 2025 г.) [432] – 200 участников (по состоянию на январь 2026 г.)	- Содействие созданию замкнутых, устойчивых цепочек создания стоимости композиционных материалов; - Формирование целевых показателей по использованию восстановленных и переработанных композиционных материалов; - Разработка стандартов по проектированию продукции в соответствии с принципами замкнутого цикла [432–434].
Европейский союз	Закон о передовых материалах (Advanced Materials Act, планируется к принятию в 2026 г.) [435]	- Достижение открытой стратегической автономии в области передовых материалов; - Снижение зависимости от критически важных ресурсов и

⁷ Расчет данных осуществлен по среднегодовому курсу: 1 фунт стерлингов = 1,31 долл. США за 2025 год.

⁸ Расчет данных осуществлен по среднегодовому курсу: 1 евро = 1,1306 долл. США за 2025 год.

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
	В настоящий момент ведется обсуждение документа и анализ отзывов от представителей заинтересованных сторон	повышение конкурентоспособности ЕС; - Поддержка процесса исследований и инноваций – от разработки до производства и выхода на рынок; - Преодоление системных вызовов, таких как длительные циклы разработки, производственные мощности и нормативные препятствия; - Ускорение перехода к устойчивой, циклической экономике [435; 436].
КНР	Стратегический план развития «Сделано в Китае» (Made in China 2025, МС, 2015 г.) [437]	- Технологическое и промышленное развитие страны; - Укрепление позиций страны в мировой экономике; - Развитие интеллектуального производства в 10 стратегических секторах, одним из которых является сектор новых материалов; - Увеличение доли китайских технологий и патентов в ключевых отраслях; - Ускоренный переход на возобновляемую энергетику и электромобили; - Развитие китайских компаний, способных конкурировать с компаниями – мировыми лидерами; - Внедрение «умных» технологий в производство для повышения эффективности [438].
КНР	Специальный план научно-технологических инноваций в области материалов в рамках 13-й пятилетки (13th Five-Year Plan on Scientific and Technological Innovation in Material Science, 2016 г.) [439]	- Повышение уровня жизни людей за счет научно-технического прогресса; - Предоставление талантливым специалистам возможностей для развития и расширения области материаловедения; - Разработка собственных алгоритмов моделирования и программного обеспечения для расчета высококачественных материалов; - Создание вычислительных, экспериментальных платформ и баз данных материалов; - Разработка серии новых методов и оборудования для синтеза и определения характеристик высокопроизводительных материалов [439].
КНР	Национальный проект в области критических технологий – «Геном материалов» (Materials Genome Engineering, MGE, 2016 г.) [440] Финансирование: 150 млн долл.	- Сокращение вдвое стоимости и времени осуществления НИОКР по таким направлениям, как материалы, используемые в энергетике, биомедицинские материалы, функциональные материалы на основе редкоземельных элементов, каталитические материалы (катализаторы) и специальные сплавы; - Поддержка исследований в области высокопроизводительных методов вычислений и определения свойств материалов с применением данных технологий, больших данных о материалах и оценки технических характеристик изделий из новых материалов в процессе эксплуатации.
КНР	План создания Национальной платформы для испытаний и оценки новых материалов (National New Material Testing and Evaluation Platform Construction Plan, 2017 г.) [441]	- Создание общенациональной системы тестирования материалов, состоящей из 1 основного центра, 7 отраслевых центров и 3 региональных центров, охватывающих такие направления, как металлургия, материалы для электроники, редкоземельные металлы, композиционные материалы, перспективные полимерные материалы, цветные металлы и перспективные неорганические неметаллические материалы [442]; - Платформа объединяет 748 собственных единиц оборудования и 621 единицу оборудования, предоставленного партнерами, формируя возможности для проведения испытаний полного жизненного цикла, охватывающих механику, физико-химические свойства, неразрушающий контроль и другие области [443].
КНР	14-й пятилетний план социально-экономического развития (2021–2025 гг.) и долгосрочные цели развития Китайской Народной Республики до 2035 года (14th Five-Year Plan (2021–2025) for National Economic and Social	- Развитие передовых материалов в качестве одного из стратегических направлений; - Поддержка реализации инновационных проектов, проведения технологических исследований и разработок новых продуктов и их модернизации, а также ускорения развития формирующихся промышленных кластеров и строительства инновационных объектов [445].

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
	Development and Vision 2035 of the People's Republic of China) [444] и 15-й пятилетний план социально-экономического развития (Recommendations of the Central Committee of the Communist Party of China for Formulating the 15 th Five-Year Plan for National Economic and Social Development, 2026–2030 гг.) [445]	
КНР	План работы по цифровой трансформации отрасли сырьевых материалов (Work Plan for Digital Transformation of the Raw Materials Industry, 2024–2026 гг.) [446]	• Ускорение внедрения инноваций и применения передовых материалов в промышленности; • Поощрение ведущих предприятий, научно-исследовательских институтов и университетов к разработке материалов, оптимизации структуры и прогнозированию характеристик на основе таких технологий, как искусственный интеллект и высокопроизводительные вычисления; • Содействие трансформации моделей исследований и разработок материалов; • Усиление цепочек поставок ключевых стратегических материалов [446]; • Создание передового центра обработки больших данных, ориентированного на новые материалы [447].
КНР	Каталог отраслей для стимулирования иностранных инвестиций (Catalogue for Encouraged Foreign Investment, 2026 г.) – поощрение иностранных инвестиций, в том числе в области новых материалов [448]	• Стимулирование иностранных инвестиций в высокотехнологичное производство, модернизацию современного сектора услуг и поддержку внутреннего потребления; • Поощрение иностранных вложений в химическую промышленность и материалы, такие как высокоэффективные полимеры и специальные композиты, зеленая химия и экологически чистые материалы, а также водородное топливо и материалы для хранения водорода.
Российская Федерация	Дорожная карта «Технологии новых материалов и веществ» (дорожная карта ТНМиВ, 2019 г., актуализирована в 2022 г.) [449]. В 2023 году дорожная карта ТНМиВ дополнилась направлениями: цифровое материаловедение и разработка перспективных веществ [450]. Финансирование: 4 млн рублей инвестиций в реализацию проектов и развитие направлений дорожной карты ТНМиВ со стороны Госкорпорации «Росатом» в 2022 году [449].	• Развитие продуктовых направлений: полимерные композиционные материалы, аддитивные технологии, редкие и редкоземельные металлы, с целью достижения технологического суверенитета и вхождения Российской Федерации в ТОП-5 стран по доле мирового рынка в указанных направлениях, сырьевого обеспечения стратегических отраслей промышленности, а также формирования в стране продуктовых цепочек полного цикла (сырье – изделие) [449]; • В 2024 году была предусмотрена и выполнена 21 НИОКР [450].
Российская Федерация	Комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства» (2023 г. [451], актуализирована в ноябре 2025 г. [452]) Финансирование: 6,7 млрд руб. составит общий объем финансирования программы в 2023–2027 гг. (50% – средства федерального бюджета) [451].	• Обеспечение технологического суверенитета и научно-технологического лидерства страны за счет создания передовых технологий производства композиционных материалов и изделий из них для удовлетворения растущего спроса ключевых отраслей экономики Российской Федерации (атомная, транспортная и строительная отрасли, энергетика) [453].

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
Российская Федерация	Национальный проект «Новые материалы и химия» (2025–2030 гг.) [454] Финансирование: ~170 млрд руб. (финансирование из федерального бюджета в 2025–2030 гг.) [455]	• Достижение технологической независимости, создание условий для формирования новых рынков и технологического лидерства в отраслях производства: химической и биотехнологической продукции, новых и перспективных материалов, редких и редкоземельных металлов. Федеральные проекты: • Развитие производства химической продукции; • Импортозамещение критической биотехнологической продукции; • Развитие производства композитных материалов (композитов) и изделий из них; • Развитие отрасли редких и редкоземельных металлов; • Разработка важнейших наукоемких технологий по направлению новых материалов и химии; • Опережающая подготовка и переподготовка квалифицированных кадров по направлению новых материалов и химии [456]. Инструменты господдержки компаний [457]: • Прямые гранты от Минпромторга России на создание новых производств; • Льготные займы Фонда развития промышленности (ФРП) под 1–3% годовых; • Субсидирование процентных ставок по коммерческим кредитам; • Налоговые льготы для инвесторов; • Софинансирование НИОКР до 80% затрат; • Дополнительно компании, реализующие проекты в рамках нацпрограммы, получают приоритетный доступ ко всем инструментам промышленной политики: ускоренное включение продукции в реестр Минпромторга России, преференции при госзакупках, помощь в поиске квалифицированных кадров через программы Минобрнауки России, субсидирование обучения персонала [458]. Промежуточные результаты национального проекта: в 2025 году был поддержан 21 инвестиционный проект на общую сумму 57,28 млрд рублей (проекты малотоннажной химии, производства полимерных изделий [459]), заключены соглашения о создании 9 центров инженерных разработок, которые займутся технологиями в области химии и новых материалов, по разработанным или актуализированным дополнительным профессиональным программам прошли обучение около 1 тысячи человек [188]. В ТГУ запустили производство высокопроизводительного инженерного термопласта полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) с годовой мощностью выпуска материала до 10 тонн. В Саранске госкорпорация «Росатом» построила линию по производству полимерных композитов с годовой мощностью до 3,9 тыс. тонн [460].
Индия	Лаборатории Совета по научным и промышленным исследованиям (Council of Scientific and Industrial Research (CSIR) National Laboratories) [461; 462]	• Содействие научному, промышленному и экономическому росту страны; • Создание сети 37 национальных лабораторий, среди которых 8 лабораторий осуществляют исследования и разработки в области передовых материалов, в том числе композиционных материалов [461].
Индия	Механизм стимулирования производства высококачественной стали (PLI Scheme for Specialty Steel, 2021 г., в 2025 г. начался третий этап реализации) [463] Финансирование: 2,13 млрд долл. (инвестиции по состоянию на 2024 г.) [464]	• Ускорение прогресса Индии и становление страны в качестве глобального центра производства высококачественной стали; • Привлечение новых инвестиций в перспективные и передовые направления, такие как суперсплавы, холоднокатаная кремниевая сталь (CRGO), изделия из нержавеющей стали, титановые сплавы и стали с покрытием, необходимые для применения в автомобилестроении, энергетике, авиационной и оборонной промышленности [463].
Индия	Платформы производства материалов для чистой энергетики	• Ускорение до 10 раз темпов создания материалов с применением высокопроизводительных вычислений, искусственного интеллекта, машинного обучения и робототехники;

Страна	Меры поддержки и программы развития / инициативы в области новых материалов	Ключевые приоритеты в рамках программ развития / инициатив в области новых материалов
	(Integrated Clean Energy Material Acceleration Platforms, 2022 г.) [465]	Создание 3 интегрированных платформ ускорения разработки материалов для чистой энергетики в области хранения энергии, биоэнергетики и водорода, для систем накопления энергии с помощью атомистического моделирования с использованием квантовой и классической механики, а также алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения [466].
Иран	«Дорожная карта» развития передовых материалов (Roadmap for the Promotion of Advanced Materials, 2025 г.) [467]	- Укрепление позиций Ирана на мировой научно-технической арене; - Улучшение позиций страны в области науки и техники, в частности, в сфере передовых материалов и современных технологий обработки материалов; - Наращивание экспорта наукоемкой продукции в секторе передовых материалов; - Повышение производительности и снижение экологического воздействия производства продукции в Иране на окружающую среду; - Улучшение качества жизни и усиление социального воздействия.
Бразилия	Исследовательские институты, созданные при поддержке Агентства по научным исследованиям и промышленным инновациям (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial, EMBRAPPI) [468]	Созданы 3 института, деятельность которых направлена на разработку экологичных строительных материалов, высокоэффективных материалов, специальных сплавов, полимеров, промышленных химических технологий: Институт инноваций в металлургии и специальных сплавах SENAI (EMBRAPPI Unit of steels and special alloys ISI MLE – SENAI Institute of innovation in metallurgy and special alloys), Институт инноваций в области полимерной инженерии SENAI (EMBRAPPI Unit of polymers ISI polymers – SENAI Institute of innovation in polymer engineering) и Институт технологических исследований материалов с высокими эксплуатационными характеристиками (EMBRAPPI Unit of high performance materials IPT materials – Institute of technological research) [469].
Бразилия	Национальная политика в области критически важных минералов и редкоземельных элементов (National Policy on Critical Minerals and Rare Earths, PNMCTR, официальный документ находится в разработке по состоянию на март 2026 г.) [470]	- Формирование позиции страны как глобального поставщика важнейших минералов для таких секторов, как возобновляемая энергетика, электромобильное строительство, ОПК и высокотехнологичные производства; - Обеспечение надежного внутреннего снабжения сырьем для экологически чистой и оборонной промышленности; - Развитие всей производственной цепочки внутри страны [471; 472].

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

По итогам анализа государственных мер поддержки развития передовых материалов в различных странах, включая страны БРИКС, можно отметить, что ряд стран, обладающих существенным научно-технологическим потенциалом в области передовых материалов (США, ЕС, Великобритания, КНР, Россия), продолжают вести последовательную научно-технологическую политику, выделяя данное направление в качестве приоритетного, и осуществлять государственную поддержку в рамках как профильных инициатив (вплоть до отдельных видов материалов, например, композиционных), так и рамочных технологических программ и стратегий. При этом для большинства стран – членов БРИКС, где передовые материалы выделены в стратегических документах как перспективное направление развития, характерно применение имеющихся инструментов государственной поддержки научно-исследовательских центров или отдельных проектов (например, Бразилия, Индия).

Также можно отметить, что в последние несколько лет в США, Великобритании и странах Европейского союза наблюдается некоторая фокусировка программ по поддержке разработок передовых материалов. Например, в США отмечается существенное внимание к применению аддитивных технологий и новых материалов (металлов, сплавов) в оборонной промышленности.

О необходимости поддержки развития передовых материалов заявлено в Национальной оборонно-промышленной стратегии (National Defense Industrial Strategy, NDIS, 2024 г.) [473], где данное направление выделено наряду с другими ключевыми технологиями (автономные системы, квантовые технологии, искусственный интеллект) [474].

Кроме того, в 2024 году запущена программа развития аддитивных материалов и производства на острове Гуам (Guam Additive Materials & Manufacturing Accelerator, GAMMA, 2024 г.) [475; 476], которая способствует развитию производственной базы подводных лодок в Индо-Тихоокеанском регионе. Ожидается, что в 2026 году будет запущено новое предприятие, которое будет использовать аддитивные технологии для изготовления критически важных деталей для ВМС США непосредственно в месте их использования.

Также среди актуальных тематик для Военного министерства США можно отметить разработку высокотемпературных жаропрочных сплавов и применение искусственного интеллекта для определения параметров материалов, используемых в аддитивном производстве. Конкурсы проектов по данным направлениям были объявлены в 2026 году организацией America Makes (Национальный институт инноваций в области аддитивного производства) и Национальным центром военной промышленности и механической обработки (National Center for Defense Manufacturing and Machining, NCDMM).

Первый конкурс «Разработка порошковых сплавов для аддитивного производства» (Powder Alloy Development for Additive Manufacturing, PADAM 2.0) предполагает финансирование в объеме 6 млн долл., второй конкурс «Искусственный интеллект для определения допустимых параметров материалов в аддитивном производстве» (Artificial Intelligence for Material Allowables in Additive Manufacturing, AIM-4AM) – 2 млн долл. [466; 477]

Актуальные программы поддержки развития передовых материалов в Европейском союзе фокусируют внимание на разработке инновационных материалов, способных заменить критически важные ресурсы (редкоземельные элементы, литий), снизив зависимость от импорта, а также на разработке экологически чистых передовых материалов и связанных с ними технологий. Последнее направление также активно поддерживается в Великобритании, где возрастает важность применения подобных материалов, особенно в высокотехнологичных отраслях.

Стоит упомянуть, что в России на базе Уральского федерального университета (УрФУ) в рамках международного сотрудничества стран – участниц межгосударственного объединения БРИКС в области материаловедения был создан Сетевой центр материаловедения и нанотехнологий (СЦМН БРИКС, 2020 г.) [478].

Деятельность виртуального центра предполагает определение приоритетных направлений и организацию совместных исследований ученых стран «пятерки» (до 2024 года), а по состоянию на 2026 год – в составе 10 стран-участниц, а также развитие новых технологий и их продвижение. Россия отвечает за развитие направления современных магнитных и сегнетоэлектрических материалов [479].

Также в последние несколько лет растет стратегическая значимость редкоземельных элементов (РЗЭ), обусловленная рисками их добычи и поставок, а также доминированием на глобальном рынке одной страны – Китая (как было отмечено ранее, КНР контролирует до 70% мировых цепочек глубокой переработки РЗЭ) [199; 200].

Данная ситуация побудила страны – технологические лидеры и страны – участницы межгосударственного объединения БРИКС сфокусироваться на формировании независимых производственных цепочек и поиске инновационных решений для снижения зависимости от данных ресурсов. Например, США были заключены рамочные соглашения с рядом стран о взаимопонимании по критически важным минеральным ресурсам, включая вопросы ценообразования [480]. Среди стран, заключивших соглашения, есть Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ), страна – участница БРИКС [481].

Кроме того, в 2025 году была запущена программа акселератора критически важных минералов и материалов, а в феврале 2026 года в США стартовал проект «Хранилище» (Project Vault) для создания стратегического резерва критически важных минералов страны с финансированием 12 млрд долл. [482]

Ряд стран принял или ведет разработку программ и планов развития данного направления. Например, в Бразилии ведется разработка Национальной политики в области критически важных минералов и редкоземельных элементов. При этом консультативные услуги по данному вопросу осуществляются при поддержке Межамериканского банка развития, поддерживающего страны Латинской Америки и Карибского бассейна, а также за счет средств Европейского союза [483].

В Южно-Африканской Республике в 2025 году принята Стратегия развития критически важных минералов и металлов Южной Африки (Critical Minerals and Metals Strategy for South Africa, CMMSSA) [484], которая содержит план использования минеральных ресурсов страны для стимулирования индустриализации, регионального лидерства и устойчивого развития [485].

В России также уделяется существенное внимание данному направлению. В соответствии с национальным проектом и по поручению Президента России [486] в декабре 2025 года был разработан План развития российской отрасли редких и редкоземельных металлов до 2030 года, синхронизированный с федеральным проектом «Развитие отрасли редких и редкоземельных металлов» и приоритетными инвестиционными проектами [487]. План подразумевает развитие нескольких направлений: горнодобывающий, металлургический и обрабатывающий передел; а также охватывает производство высокотехнологичной продукции из редких и редкоземельных металлов с высокой добавленной стоимостью [488]. Для реализации плана будут использованы такие меры господдержки, как льготные кредиты, налоговые преференции, субсидии на научные исследования и разработки, а также механизмы компенсации средств производителям, предоставляющим скидки на свою продукцию. Также возможно введение дополнительных защитных мер для рынка по мере реализации плана [487].

Национальный и международный нормативно-технический ландшафт в области новых материалов

В ходе анализа нормативно-технического ландшафта рассмотрена деятельность организаций по стандартизации по направлению рассматриваемых сегментов рынка новых материалов, включая полимеры, керамику, стекло, металлы и сплавы, а также композиты.

Стоит отметить, что результаты проведенного анализа основываются в том числе на материалах, представленных в экспертно-аналитических докладах Инфраструктурного центра «Технет» НТИ на базе СПбПУ: «Перспективы и сценарии развития новых материалов в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году» [2], «Тренды и перспективы развития цифрового проектирования и моделирования (включая цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов)» [3] и «Нормативно-правовое и нормативно-техническое регулирование кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ. 2025 год» [489].

Международный нормативно-технический ландшафт в области материалов, включая новые материалы, представлен:

- международными и региональными организациями, в числе которых
 - Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO, ИСО);

- o Европейский комитет по стандартизации (Comité Européen de Normalisation / European Committee for Standardization, CEN);
- o ASTM International (ранее – Американское общество испытаний и материалов, American Society for Testing and Materials, ASTM);
- национальными организациями по стандартизации, в числе которых
 - o Британский институт стандартов (British Standards Institution, BSI);
 - o Управление по стандартизации Китая (Guobiao Standards / Standardization Administration of China, GB, SAC);
 - o Японский комитет по промышленной стандартизации (Japanese Industrial Standards Committee, JISC).

Национальный нормативно-технический ландшафт представлен на основе результатов анализа деятельности Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

В ходе анализа международного и национального нормативно-технического ландшафта не рассматривались направления биоматериалов, материалов для применения в строительстве, энергетике и медицине. Для комплексности результатов анализа за основу взяты стандарты, в том числе в области базовых (традиционных) материалов.

Таблица 12. Результаты анализа международного и национального нормативно-технического ландшафта в области материалов, включая новые материалы

Наименование организации	Описание деятельности
Международные и региональные организации по стандартизации	
Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO, ИСО)	ИСО в качестве ключевых направлений стандартизации в области материалов выделяет химические вещества, редкоземельные элементы, руды и металлы, неметаллические материалы (в первую очередь пластмассы), а также некоторые другие элементы и материалы [490]. В структуре ИСО представлены технические комитеты, занимающиеся вопросами всех рассматриваемых типов материалов, за исключением стекла (ключевые направления стандартизации в данном сегменте – применение стекла для строительства, изготовления упаковки, медицинской и бытовой посуды, что не является предметом исследования). Среди технических комитетов ИСО, регулирующих вопросы применения отдельных типов материалов (как базовых, так и передовых), можно отметить комитеты: по направлению полимеров и композитов: • ISO/TC 61 «Пластмассы» (Plastics); по направлению керамики, а также аддитивных материалов: • ISO/TC 33 «Огнеупорные материалы» (Refractories); • ISO/TC 206 «Тонкая керамика» (Fine ceramics); • ISO/TC 261 «Аддитивное производство» (Additive manufacturing); по направлению металлов и сплавов: • ISO/TC 17 «Сталь» (Steel); • ISO/TC 26 «Медь и медные сплавы» (Copper and copper alloys); • ISO/TC 79 «Легкие металлы и их сплавы» (Light metals and their alloys); • ISO/TC 107 «Металлические и другие неорганические покрытия» (Metallic and other inorganic coatings); • ISO/TC 119 «Порошковая металлургия» (Powder metallurgy); • ISO/TC 132 «Ферросплавы» (Ferroalloys); • ISO/TC 155 «Никель и никелевые сплавы» (Nickel and nickel alloys); • ISO/TC 156 «Коррозия металлов и сплавов» (Corrosion of metals and alloys); • ISO/TC 164 «Механические испытания металлов» (Mechanical testing of metals); • ISO/TC 183 «Медные, свинцовые, цинковые и никелевые руды и концентраты» (Copper, lead, zinc and nickel ores and concentrates); по направлению критических материалов и редких элементов: • ISO/TC 298 «Редкоземельные элементы» (Rare earth); • ISO/TC 333 «Литий» (Lithium);

Наименование организации	Описание деятельности
	а также прочих вопросов, включая • ISO/TC 47 «Химия» (Chemistry); • ISO/TC 345 «Материалы для специальных технологий» (Materials for specialty technologies) и другие комитеты. Сфокусируемся на анализируемых в отчете сегментах рынка новых материалов. Полимеры, композиционные материалы: Данные сегменты регулируются деятельностью технического комитета ISO/TC 61 «Пластмассы» (Plastics), который рассматривает вопросы номенклатуры, испытаний, обработки материалов и изделий из пластмасс, физико-химических свойств материалов, устойчивости к воздействию окружающей среды, экологические аспекты и проч. В структуре технического комитета функционирует 11 подкомитетов, в том числе в области термопластичных материалов, термореактивных материалов, ячеистых пластмасс, композиционных материалов и армирующих веществ. Административное руководство (секретариат) осуществляется Управлением по стандартизации Китая (SAC). Суммарно комитет насчитывает 757 опубликованных стандартов и 115 стандартов, находящихся в разработке⁹ [491]. Керамика, аддитивные материалы: Сегмент керамики координирует технический комитет ISO/TC 206 «Тонкая керамика» (Fine ceramics), который специализируется на материалах и изделиях из тонкой керамики в различных формах, включая порошки, монолиты, покрытия, композиты, предназначенные для решения таких функциональных задач, как механические, термические, химические, электрические, магнитные, оптические и комбинированные задачи [492]. Структура технического комитета насчитывает 11 рабочих групп, включая группу по композиционным материалам из керамики. Секретариат технического комитета закреплен за Японским комитетом по промышленной стандартизации (JISC). Комитетом опубликовано 162 стандарта, 44 стандарта находится в разработке. Также технический комитет ISO/TC 33 «Огнеупорные материалы» (Refractories) специализируется на огнеупорных материалах, включая базовую керамику. Деятельность технического комитета координирует Британский институт стандартов (BSI), комитет насчитывает 95 опубликованных стандартов и 4 стандарта, находящихся в разработке [493]. В области аддитивных технологий в ИСО функционирует технический комитет ISO/TC 261 «Аддитивное производство» (Additive manufacturing), секретариат комитета – в ведении Немецкого института по стандартизации (Deutsches Institut für Normung e.V. / German Institute for Standardization, DIN) [494]. Суммарно комитетом опубликовано 54 стандарта, 15 стандартов находится в разработке. Тематики стандартизации включают вопросы терминологии, формирования технологических цепочек, процессов испытаний, вопросов качества, а также требований к материалам (образцам для испытаний, металлическим, полимерным, керамическим материалам для аддитивного производства). Большая часть деятельности технического комитета осуществляется в рамках совместной работы с техническим комитетом F42 «Технологии аддитивного производства» (Additive Manufacturing Technologies) ASTM International (рассмотрено далее). Металлы и сплавы: Многообразие используемых в промышленности металлов и сплавов координируется в ИСО деятельностью нескольких технических комитетов. Так, комитет ISO/TC 17 «Сталь» (Steel) координирует вопросы в области литой, ковальной, холоднодеформированной стали, экологические аспекты и применение новых технологий в черной металлургии и др. [495] Координация осуществляется Японским комитетом по промышленной стандартизации (JISC). Технический комитет насчитывает 328 опубликованных стандартов и 50 стандартов, находящихся в разработке. Комитет ISO/TC 26 «Медь и медные сплавы» (Copper and copper alloys) специализируется на вопросах характеристик материалов, размеров, допусков, методов испытаний в области несортной, сортовой и литой продукции из меди и медных сплавов. Комитетом принято и опубликовано 27 стандартов, секретариат технического комитета – Управление по стандартизации Китая (SAC) [496]. Технический комитет ISO/TC 79 «Легкие металлы и их сплавы» (Light metals and their alloys), в свою очередь, специализируется на алюминии, магнии, титане, их сплавах, а также алюминиевых рудах. В структуре комитета – 9 подкомитетов, суммарно опубликовано 117 стандартов, 19 стандартов находится в разработке.

⁹ Здесь и далее в результатах анализа международного и национального нормативно-технического ландшафта суммарное количество разработанных стандартов и стандартов, находящихся в разработке, международными, региональными и национальными организациями по стандартизации приведено по состоянию на март–апрель 2026 года.

Наименование организации	Описание деятельности
	Секретариат технического комитета – в ведении Французской ассоциации по стандартизации (Association Française de Normalisation / French Standardization Association, AFNOR) [497]. Технический комитет ISO/TC 107 «Металлические и другие неорганические покрытия» (Metallic and other inorganic coatings) координируется Корейским агентством по технологиям и стандартам (Korean Agency for Technology and Standards, KATS), насчитывает 170 опубликованных стандартов и 33 стандарта, находящихся в разработке [498]. Комитет ISO/TC 119 «Порошковая металлургия» (Powder metallurgy), специализирующийся на вопросах терминологии, методов испытаний и характеристик материалов, опубликовал 71 стандарт, еще 4 стандарта находится в разработке. Деятельность комитета находится в ведении Шведского института стандартов (Swedish Institute for Standards, SIS) [499]. Технический комитет ISO/TC 132 «Ферросплавы» (Ferroalloys) сфокусирован на стандартизации в области ферросплавов, марганцевой и хромовой руды, добавок, используемых в производстве чугуна и стали. Руководство комитета находится в ведении Управления по стандартизации Китая (SAC). Количество опубликованных стандартов составляет 69 документов, 2 стандарта находятся в разработке [500]. Еще один комитет ИСО специализируется на металлах и сплавах – ISO/TC 155 «Никель и никелевые сплавы» (Nickel and nickel alloys) под секретариатом Французской ассоциации по стандартизации (AFNOR). Область исследований технического комитета включает терминологию, технические условия, методы отбора проб, испытаний и анализа никеля и никелевых сплавов. Данным техническим комитетом принят 31 стандарт, 1 стандарт находится в разработке [501]. Технический комитет ISO/TC 156 «Коррозия металлов и сплавов» (Corrosion of metals and alloys), координируемый Управлением по стандартизации Китая (SAC), специализируется на изучении вопросов коррозионных испытаний, предотвращения коррозии и других решениях по борьбе с данным процессом. Суммарно комитетом разработано 134 стандарта, 29 стандартов находится в разработке [502]. Также можно отметить технический комитет ISO/TC 164 «Механические испытания металлов» (Mechanical testing of metals), специализирующийся на стандартизации методов механических испытаний, координируемый Японским комитетом по промышленной стандартизации (JISC). Комитетом разработано 99 стандартов, 30 стандартов находится в разработке [503]. Технический комитет ISO/TC 183 «Медные, свинцовые, цинковые и никелевые руды и концентраты» (Copper, lead, zinc and nickel ores and concentrates), координируемый организацией Standards Australia, насчитывает 30 разработанных стандартов и 6 стандартов, находящихся в разработке [504]. Еще одним значимым и перспективным направлением по стандартизации в области критически значимых материалов выступает внедрение литья в промышленность. Данную область регулирует технический комитет ISO/TC 333 «Литий» (Lithium). Комитет координируется Управлением по стандартизации Китая (SAC), на текущий момент разработан 1 стандарт, еще 17 стандартов находится в разработке [505]. Кроме того, важно выделить технический комитет ISO/TC 298 «Редкоземельные элементы» (Rare earth), в рамках деятельности которого разработано 15 стандартов, 7 стандартов находится в разработке [506]. Таким образом, ИСО суммарно по направлению полимеров и композитов опубликовано 757 стандартов, в области керамики – 257 стандартов, в области аддитивных материалов – 54 стандарта, в области металлов и сплавов – 1092 стандарта. ИСО играет ведущую роль в формировании международной нормативной базы для новых материалов, фокусируясь на вопросах терминологии, унификации методов испытаний, оценки физико-механических свойств и параметров материалов, аспектах промышленной безопасности, а также на разработке рекомендаций и руководящих указаний по внедрению инновационных функциональных материалов с учетом всего жизненного цикла.
Европейский комитет по стандартизации (Comité Européen de Normalisation / European Committee for Standardization, CEN)	Деятельность CEN направлена как на самостоятельную разработку и принятие стандартов, так и на совместную работу с ИСО и отдельными европейскими национальными организациями по стандартизации. В области материалов, в том числе новых материалов, CEN осуществляет деятельность по следующим направлениям в рамках деятельности отдельных технических комитетов и рабочих групп: по направлению полимеров и композитов: • CEN/TC 249 «Пластмассы» (Plastics), специализируется в том числе на стандартизации в области композиционных материалов, насчитывает 522 опубликованных стандарта, а также 51 стандарт в разработке [507]; • CEN/WS 115 «Метод испытания для оценки адгезионных свойств соединений из армированных волокном полимерных композитов» (Test method for the evaluation of the adhesive properties of fibre reinforced polymer composite joints), рабочей группой опубликован 1 стандарт [508]; по направлению керамики, а также аддитивных материалов: • CEN/TC 184 «Передовая техническая керамика» (Advanced technical ceramics), насчитывает 95 опубликованных стандартов и 17 стандартов, находящихся в разработке [509];

Наименование организации	Описание деятельности
	• CEN/TC 187 «Огнеупорные изделия и материалы» (Refractory products and materials), включая вопросы испытаний базовой керамики, насчитывает 67 опубликованных стандартов и 3 стандарта, находящихся в разработке [510]; • CEN/TC 438 «Аддитивное производство» (Additive Manufacturing), насчитывает 54 опубликованных стандарта и 13 стандартов, находящихся в разработке [511]; по направлению металлов и сплавов: • CEN/SS M11 «Порошковая металлургия» (Powder metallurgy), суммарно насчитывает 60 опубликованных стандартов и 1 стандарт в разработке [512]; • CEN/SS M14 «Никель» (Nickel), включая никелевые сплавы и ферроникель, суммарно технический комитет насчитывает 7 опубликованных стандартов [513]; • CEN/TC 132 «Алюминий и алюминиевые сплавы» (Aluminium and aluminium alloys), насчитывает 12 рабочих групп, 135 опубликованных стандартов и 18 стандартов, находящихся в разработке [514]; • CEN/TC 133 «Медь и медные сплавы» (Copper and copper alloys), по области деятельности идентичен ISO/TC 26, насчитывает 7 рабочих групп, 97 опубликованных стандартов и 12 стандартов, находящихся в разработке [515]; • CEN/TC 209 «Цинк и цинковые сплавы» (Zinc and zinc alloys), насчитывает 24 опубликованных стандарта [516]; • CEN/TC 262 «Металлические и другие неорганические покрытия, в том числе для защиты от коррозии и коррозионных испытаний металлов и сплавов» (Metallic and other inorganic coatings, including for corrosion protection and corrosion testing of metals and alloys), насчитывает 166 опубликованных стандартов и 17 стандартов, находящихся в разработке [517]; • CEN/TC 306 «Свинец и свинцовые сплавы» (Lead and lead alloys), насчитывает 6 опубликованных стандартов за период 1999–2006 гг. [518]; • CEN/TC 459 «ECISS – Европейский комитет по стандартизации в области железа и стали» (European Committee for Iron and Steel Standardization), структура которого включает более 10 подкомитетов по направлениям: - о методы испытаний стали, 67 опубликованных стандартов [519]; - о методы химического анализа чугуна и стали, 54 опубликованных стандарта [520]; - о конструкционные стали, 50 опубликованных стандартов [521]; - о стали для термообработки, легированные и быстрорежущие стали, 14 опубликованных стандартов [522]; - о стали для применения под давлением, 13 опубликованных стандартов [523]; - о стальные листы и ленты для электротехнических изделий, 12 опубликованных стандартов [524]; - о стальные трубы, чугунные и стальные фитинги, 107 опубликованных стандартов [525]; - о стальные отливки и поковки, 30 опубликованных стандартов [526]; - о общие вопросы, 12 опубликованных стандартов [527]; - о нержавеющая сталь, 15 опубликованных стандартов [528], и некоторые другие направления; по направлению критических материалов и редких элементов: • CEN/TC 472 «Редкоземельные элементы» (Rare Earth Elements), опубликован 1 стандарт, 1 стандарт в разработке [529]; а также прочих вопросов, включая • общие стандарты в области терминологии материаловедения [530], терминологии в определении характеристик материалов [531], терминологии в моделировании материалов [532] (суммарно 3 опубликованных стандарта) и др., • некоторые экологические вопросы, включая применение вторично переработанных пластмасс [533], разработку филаментов на основе биоматериалов [534], анализ экологической токсичности биоматериалов [535] (3 опубликованных стандарта) и другие направления. Таким образом, CEN проводит активную деятельность по стандартизации в области новых материалов, в том числе совместно с ИСО, разбирая как вопросы общего характера (терминология, основные требования), так и специфические вопросы, сфокусированные на применении конкретных типов материалов, испытаниях особых свойств, обеспечении экологической устойчивости и проч. При этом существенный акцент на экологической устойчивости формирует значительное отличие деятельности CEN в сравнении с тематиками, регулируемые ИСО. Суммарно по направлению полимеров и композитов CEN опубликовано 523 стандарта, в области керамики – 162 стандарта, в области аддитивных материалов – 54 стандарта, в области металлов и сплавов – 870 стандартов.
ASTM International (ранее – Американское	ASTM International является ведущей организацией по стандартизации в области материаловедения и смежных направлений. Структура ASTM суммарно насчитывает 145 технических комитетов, около половины комитетов (более 60) связаны с материалами и их применением в промышленности [536].

Наименование организации	Описание деятельности
общество испытаний и материалов, American Society for Testing and Materials, ASTM), США	Обозначим некоторые технические комитеты, которые направлены на регулирование деятельности, связанной с рассматриваемыми типами материалов, включая новые материалы, для высокотехнологичной промышленности. Так, обозначенные технические комитеты включают [536]: по направлению полимеров и композитов: • D20 «Пластмассы» (Plastics), разработано 470 стандартов; • D30 «Композиционные материалы» (Composite Materials), разработано 103 стандарта; • D13 «Текстиль» (Textiles), в частности подкомитеты D13.18 «Стекловолокно и продукты из него» (Glass Fiber and its Products, 9 стандартов), D13.19 «Промышленные волокна и металлическая арматура» (Industrial Fibers and Metallic Reinforcements, 18 стандартов), D13.50 «Умный текстиль» (Smart Textiles, 1 стандарт); по направлению керамики и стекла, а также аддитивных материалов: • C28 «Передовая керамика» (Advanced Ceramics), 55 стандартов; • C08 «Огнеупорные материалы» (Refractories), 71 стандарт; • C14 «Стекло и продукция из стекла» (Glass and Glass Products), в частности подкомитеты C14.01 «Номенклатура и определения» (Nomenclature and Definitions, 1 стандарт), C14.02 «Химические свойства и анализ» (Chemical Properties and Analysis, 6 стандартов), C14.04 «Физические и механические свойства» (Physical and Mechanical Properties, 20 стандартов), C14.11 «Оптические свойства» (Optical Properties, 5 стандартов); • F42 «Технологии аддитивного производства» (Additive Manufacturing Technologies), 78 стандартов; по направлению металлов и сплавов: • A01 «Сталь, нержавеющая сталь и сплавы» (Steel, Stainless Steel and Related Alloys), 490 стандартов; • A04 «Чугунное литье» (Iron Castings), 53 стандарта; • A05 «Изделия из железа и стали с металлическим покрытием» (Metallic-Coated Iron and Steel Products), 82 стандарта; • A06 «Магнитные свойства» (Magnetic Properties), 53 стандарта; • B01 «Электрические проводники» (Electrical Conductors), 92 стандарта; • B02 «Цветные металлы и сплавы» (Nonferrous Metals and Alloys), 205 стандартов; • B05 «Медь и медные сплавы» (Copper and Copper Alloys), 157 стандартов; • B07 «Легкие металлы и сплавы» (Light Metals and Alloys), 76 стандартов; • B08 «Металлические и неорганические покрытия» (Metallic and Inorganic Coatings), 132 стандарта; • B09 «Металлопорошки и продукция из них» (Metal Powders and Metal Powder Products), 58 стандартов; • B10 «Химически активные и жаропрочные металлы и сплавы» (Reactive and Refractory Metals and Alloys), 57 стандартов; • E01 «Аналитическая химия металлов, руды и сопутствующих материалов» (Analytical Chemistry for Metals, Ores, and Related Materials), 108 стандартов; • E04 «Металлография» (Metallography), 35 стандартов; • G01 «Коррозия металлов» (Corrosion of Metals), 90 стандартов; • J01 «Совместный комитет ASTM/NACE¹⁰ по коррозии» (Joint ASTM/NACE Committee on Corrosion), 2 стандарта; а также деятельность комитетов в области проведения испытаний, отраслевого применения материалов и некоторых смежных комитетов для разных типов материалов: • C26 «Ядерный топливный цикл» (Nuclear Fuel Cycle), 170 стандартов; • D33 «Защитные покрытия и футеровка объектов электроэнергетики» (Protective Coating and Lining Work for Power Generation Facilities), 24 стандарта; • D36 «Восстановленный черный (технический) углерод» (Recovered Carbon Black, rCB); • E07 «Неразрушающий контроль» (Nondestructive Testing), 248 стандартов; • E08 «Усталость и разрушение» (Fatigue and Fracture), 36 стандартов; • E28 «Механические испытания» (Mechanical Testing), 62 стандарта; • E42 «Анализ поверхностей» (Surface Analysis), 22 стандарта; • F07 «Аэрокосмическая отрасль и авиастроение» (Aerospace and Aircraft), 47 стандартов; • F25 «Суда и морские технологии» (Ships and Marine Technology), 183 стандарта; • F37 «Легкие спортивные самолеты» (Light Sport Aircraft), 36 стандартов; • F38 «Беспилотные авиационные системы» (Unmanned Aircraft Systems), 36 стандартов;

¹⁰ NACE (National Association of Corrosion Engineers) – Национальная ассоциация инженеров-коррозионистов, США.

Наименование организации	Описание деятельности
	• F39 «Авиационные системы» (Aircraft Systems); • F41 «Беспилотные морские транспортные системы» (Unmanned Maritime Vehicle Systems, UMVS); • F44 «Самолеты авиации общего назначения» (General Aviation Aircraft), 30 стандартов; • G02 «Трибология твердых материалов» (Tribology of Solid Materials), 35 стандартов; • G03 «Долговечность и стойкость к воздействию атмосферных условий» (Weathering and Durability), 36 стандартов; • G04 «Совместимость и чувствительность материалов в атмосфере, обогащенной кислородом» (Compatibility and Sensitivity of Materials in Oxygen Enriched Atmospheres), 21 стандарт. Таким образом, ASTM является организацией-лидером по формированию востребованных стандартов в области материалов и новых материалов. Суммарно количество разработанных стандартов по направлению полимеров и композитов составило 601 стандарт, по направлению керамики и стекла – 158 стандартов, по направлению аддитивных материалов – 78 стандартов, по направлению металлов и сплавов – 1690 стандартов.
Национальные организации по стандартизации	
Британский институт стандартов (British Standards Institution, BSI), Великобритания	BSI также вовлечен в стандартизацию по направлению новых материалов, при этом данное направление отмечается как одно из приоритетных для развития британской промышленности [537; 538]. Ключевую деятельность в данной области ведут технические комитеты: по направлению полимеров и композитов: • PRI/10 «Терминология в области резин и пластмасс» (Terminology for rubbers and plastics), опубликовано 13 стандартов [539]; • PRI/21 «Испытания пластмасс» (Testing of plastics), опубликован 241 стандарт, 72 стандарта находится в разработке [540]; • PRI/26 «Особенности горения пластмасс и резины» (Burning behaviour of plastics and rubbers), опубликован 31 стандарт, 9 стандартов находится в разработке [541]; • PRI/42 «Армированные волокном пластики и промежуточные продукты» (Fibre reinforced plastics and intermediates), опубликовано 198 стандартов, 46 стандартов находится в разработке [542]; • PRI/52 «Изделия из пластмассы» (Plastics products), опубликовано 233 стандарта, 66 стандартов находится в разработке [543]; • PRI/82 «Термопластичные материалы» (Thermoplastic materials), опубликовано 143 стандарта, 31 стандарт находится в разработке [544]; • PRI/89 «Пластмассы. Экологические аспекты» (Plastics – Environmental Aspects), опубликовано 53 стандарта, 35 стандартов находится в разработке [545]; • WEE/3 «Сварка и термическое соединение пластмасс» (Welding and Thermal Joining of Plastics), опубликован 21 стандарт, 8 стандартов находится в разработке [546]; по направлению керамики, а также аддитивных материалов: • RPI/1 «Огнеупорные изделия и материалы» (Refractory products and materials), опубликовано 76 стандартов, 25 стандартов находится в разработке [547]; • RPI/13 «Передовая техническая керамика» (Advanced technical ceramics), опубликовано 203 стандарта, 111 стандартов находится в разработке [548]; • AMT/8 «Аддитивное производство» (Additive manufacturing), опубликовано 50 стандартов, 54 стандарта находится в разработке [549]; по направлению металлов и сплавов: • ACE/61 «Металлические материалы для аэрокосмической отрасли» (Metallic materials for aerospace purposes), опубликовано 158 стандартов, в процессе разработки находится 45 стандартов [550]; • ACE/61/-/15 «Сталь для аэрокосмической отрасли» (Steels for Aerospace Purposes), опубликовано 152 стандарта, 7 стандартов находится в разработке [551]; • ACE/61/-/24 «Легкие сплавы для аэрокосмической отрасли» (Light Alloys for Aerospace Purposes), опубликовано 109 стандартов [552]; • ACE/65 «Неметаллические материалы для аэрокосмической отрасли» (Non-metallic materials for aerospace purposes), опубликовано 179 стандартов, 26 стандартов находится в разработке [553]; • ISE/1 «Координационный комитет по стандартам в области черной металлургии» (Iron and steel standards co-ordinating committee), опубликовано 80 стандартов, 24 стандарта находится в разработке [554]; • ISE/100 «Нержавеющие стали, стали для работы под давлением, стали для термообработки и материалы в области черной металлургии, воздействующие на изменение климата» (Stainless Steels, Steels for Pressure purposes, Steels for Heat Treatment and Environment related to climate change in the iron and steel industry), опубликован 61 стандарт, 17 стандартов находится в разработке [555];

Наименование организации	Описание деятельности
	• ISE/101 «Методы испытаний металлов» (Test methods for metals), опубликовано 7 стандартов, 19 стандартов находится в разработке [556]; • ISE/101/1 «Испытания на одноосное растяжение и ударную вязкость» (Uniaxial and Ductility Testing), опубликовано 42 стандарта, 18 стандартов находится в разработке [557]; • ISE/101/4 «Испытание на прочность» (Toughness testing), опубликовано 12 стандартов, 12 стандартов находится в разработке [558]; • ISE/101/5 «Определение твердости методом вдавливания» (Indentation hardness testing), опубликовано 25 стандартов, 10 стандартов находится в разработке [559]; • ISE/101/6 «Испытания на усталость металлов и композитов с металлической матрицей» (Fatigue testing of metals and metal matrix composites), опубликовано 13 стандартов, 11 стандартов находится в разработке [560]; • ISE/108 «Магнитные сплавы и стали, в том числе магнитные компоненты, ферритовые и магнитные порошковые материалы» (Magnetic alloys and steels including magnetic components, ferrite and magnetic powder materials), опубликовано 88 стандартов, 35 стандартов находится в разработке [561]; • ISE/110 «Стальные трубы, чугунные и стальные фитинги» (Steel Tubes, and Iron and Steel Fittings), опубликован 91 стандарт, 20 стандартов находится в разработке [562]; • ISE/111 «Стальные отливки и поковки» (Steel Castings and Forgings), опубликовано 85 стандартов, 17 стандартов находится в разработке [563]; • ISE/FE/8 «Коррозия металлов и сплавов» (Corrosion of metals and alloys), опубликовано 111 стандартов, 62 стандарта находится в разработке [564]; • NFE/8 «Цинк» (Zinc), опубликовано 19 стандартов [565]; • NFE/34 «Медь и медные сплавы» (Copper and copper alloys), опубликовано 88 стандартов, 30 стандартов находится в разработке [566]; • NFE/35 «Легкие металлы и их сплавы» (Light metals and their alloys), опубликовано 132 стандарта, 68 стандартов находится в разработке [567]; • STI/40 «Термораспыление и покрытия, наносимые методом термораспыления» (Thermal spraying and thermally sprayed coatings), опубликован 51 стандарт, 12 стандартов находится в разработке [568]; • WEE/46/2 «Методы исследования поверхности – проникающие и магнитные частицы» (Surface Methods – Penetrant, Magnetic Particles), опубликовано 6 стандартов, 8 стандартов находится в разработке [569]; а также по направлению критических материалов и редких элементов: • LI/1 «Литий» (Lithium), опубликован 1 стандарт [570]; • RE/1 «Редкоземельные элементы» (Rare Earths), опубликовано 15 стандартов, 15 стандартов находится в разработке [571]. Суммарное количество стандартов в области полимеров и композиционных материалов (как базовых, так и передовых) составляет 933 стандарта; в области керамики – 279 стандартов; в области аддитивных материалов – 50 стандартов; в области металлов и сплавов – 1525 стандартов. Важно отметить, что около 90% обозначенных стандартов являются разработкой совместных комитетов ИСО и CEN, в том числе при участии BSI, что свидетельствует о высокой степени соответствия разрабатываемых на международном и региональном уровне стандартов для отраслевого применения в стране, а также достаточной вовлеченности Великобритании в вопросы стандартизации по данным направлениям.
Управление по стандартизации Китая (Guobiao Standards / Standardization Administration of China, GB, SAC), Китай	Стандартизация в Китае формируется из трех ключевых направлений стандартизации – национальных стандартов (могут быть обязательными, рекомендованными и руководящими, то есть для справки), отраслевых и локальных стандартов, каждое из которых имеет соответствующее обозначение [572–574]. В контексте материалов наибольший интерес представляют стандарты, коды которых относятся к группам: • GB – национальные стандарты Китая (включая рекомендуемые стандарты GB/T и руководящие стандарты GB/Z); • SH – стандарты нефтехимической промышленности, суммарно 1814 стандартов; • HG – стандарты химической промышленности, суммарно 8128 стандартов; • YB – стандарты металлургической промышленности (в некоторых источниках приводится также обозначение YS – цветная металлургия, в то время как YB относится к черной [575]), суммарно 7451 стандарт, включая 3500 стандартов (код YB) и 3951 стандарт (код YS); • FZ – стандарты текстильной промышленности (включая волокна), суммарно 3337 стандартов. Для анализа перечня стандартов с кодами GB, GB/T и GB/Z можно применить ICS-коды международной классификации стандартов (International Classification for Standards). К рассматриваемым темам относятся коды первого уровня: • 71 – «Химические технологии», суммарно 2779 стандартов; • 77 – «Металлургия», суммарно 4336 стандартов;

Наименование организации	Описание деятельности
	• 81 – «Стекольная и керамическая промышленность», суммарно 651 стандарт; • 83 – «Производство резины и пластмасс», суммарно 2316 стандартов. Бесспорно, часть обозначенных стандартов не имеет прямого отношения к рассматриваемым типам материалов, однако среди многообразия стандартов выделить долю стандартов, относящихся к новым материалам, не представляется возможным, в том числе по причине закрытости информации о действующих технических комитетах, разрабатывающих конкретные группы стандартов, деятельность которых относится к стандартизации в области новых материалов. В области композиционных материалов по состоянию на конец 2025 года насчитывалось более 130 стандартов [489].
Японский комитет по промышленной стандартизации (Japanese Industrial Standards Committee, JISC), Япония	Японский комитет по промышленной стандартизации ведет активную деятельность по разработке национальных стандартов в области материалов. В частности, области стандартизации охватывают следующие направления [576]: • Сталь (код G), суммарно 531 стандарт; • Цветные металлы (код H), суммарно 415 стандартов; • Химия (код K) в части пластмасс, суммарно 507 стандартов; • Гончарная промышленность (код R) в части керамики (160 стандартов), огнеупорных и изоляционных материалов (72 стандарта), изделий из стекла, минералов и волокон (71 стандарт), абразивных материалов и специальных керамических изделий (53 стандарта), специального оборудования для керамической промышленности (1 стандарт). Отдельно в части стандартизации в Японии, в том числе в рамках деятельности JISC, следует отметить деятельность неправительственной организации – Японской ассоциации по стандартизации (Japanese Standards Association, JSA), которая вовлечена в процессы стандартизации при активном участии профильных национальных групп, таких как Японская ассоциация по черной металлургии, Японская ассоциация производителей оптического стекла и др. [577], при этом стандарты, публикуемые национальными группами, принято относить к отраслевым стандартам, не имеющим всеобщего национального статуса. Суммарное количество стандартов в области полимеров и композиционных материалов составляет 507 стандартов, в области керамики и стекла – 357 стандартов, в области металлов и сплавов – 946 стандартов.
Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), Россия	В структуре Росстандарта функционирует широкий перечень технических комитетов (ТК), деятельность которых относится к материалам, включая новые материалы. Среди них: • ТК 041 «Стекло», специализируется на вопросах изготовления стекла по различным техническим условиям, стекла с различными покрытиями для широких областей применения, включая строительство, промышленность, судостроение и др., суммарно насчитывает более 200 стандартов [578; 579]; • ТК 063 «Стеклопластики, стекловолокна и изделия из них», специализируется на стандартизации в части стекловолокна и стеклопластиков, насчитывает 52 стандарта [580; 581]; • ТК 099 «Алюминий», в область деятельности комитета входит стандартизация первичного, вторичного алюминия, алюминиевых сплавов, руд и алюминиевых концентратов, оксида алюминия, алюминиевых порошков, полуфабрикатов из алюминия и проч., суммарно насчитывает 176 опубликованных стандартов и 16 стандартов, находящихся в разработке [582–585]; • ТК 182 «Аддитивные технологии», специализируется в области материалов для аддитивных технологий, оборудования и ПО, неразрушающего контроля и испытаний изделий, изготовленных аддитивным методом, суммарно насчитывает 53 опубликованных стандарта [586; 587]; • ТК 214/МТК 543 «Защита изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений», специализируется в области методов предотвращения коррозии и защиты, суммарно насчитывает 145 стандартов, 4 стандарта находится в разработке [588–591]; • ТК 230 «Пластмассы, полимерные материалы, методы их испытаний», суммарно насчитывает 138 стандартов [592]; • ТК 241 «Трубы, фитинги и другие изделия из пластмасс, методы испытаний», специализируется в области пластмассовых трубопроводных систем и их компонентов, суммарно насчитывает 85 стандартов [593]; • ТК 312 «Электронное машиностроение и специальные материалы», комитет создан в 2025 году, в разработке находится 18 стандартов, в том числе в части классификации материалов для производства изделий электронной техники, видов и методов нанесения материалов печатной электроники, базовых материалов для печатных плат, проводниковых и диэлектрических материалов, методов контроля и испытаний [594; 595]; • ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны», специализируется на вопросах производства труб из стали и чугуна для различных отраслей экономики, а также трубной продукции, суммарно насчитывает 159 стандартов, 25 стандартов находится в разработке [596–598]; • ТК 367 «Чугун, прокат и металлоизделия», насчитывает 129 стандартов [599; 600]; • ТК 368 «Медь», суммарно насчитывает 167 стандартов [601]; • ТК 370 «Никель. Кобальт», суммарно насчитывает 95 стандартов [602];

Наименование организации	Описание деятельности
	• ТК 372 «Редкие и редкоземельные металлы», специализируется в области редкоземельных металлов, титана и сплавов, продукции из цветных металлов, порошковой металлургии, рудных минералах, ферросплавах и проч., насчитывает 228 опубликованных стандартов [603; 604]; • ТК 373 «Цветные металлы и сплавы», специализируется на таких материалах как олово, свинец, цинк и проч., суммарно насчитывает 123 стандарта [605; 606]; • ТК 375 «Металлопродукция из черных металлов и сплавов», специализируется в области черных металлов, ферросплавов, испытаний металлов, различных видов стали, порошковой металлургии и проч., суммарно насчитывает 601 стандарт [603; 607]; • ТК 497 «Композиты, конструкции и изделия из них», суммарно насчитывает 301 утвержденный стандарт в области композиционных материалов [608]; • проектный ТК 712 «Модификаторы расплавов» (ПТК 712), созданный в 2022 году в целях стандартизации модифицирования расплавов различными материалами с учетом сложившейся практики [609], на текущий момент техническим комитетом разработан 1 стандарт по терминологии, в разработке находится 3 стандарта [610]. Суммарно в области металлов и сплавов разработано 1824 стандарта, в области стекла – 252 стандарта, в области полимеров и композитов – 524 стандарта, в области аддитивных материалов – 53 стандарта. Отдельно стоит отметить, что в рамках деятельности технического комитета 700 «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии» принято 2 стандарта в области численного моделирования полимерных композиционных материалов (ГОСТ Р 57700.42–2023 и ГОСТ Р 57700.43–2023 [611; 612]), что свидетельствует об инновационном направлении, формирующемся в стране и опережающем зарубежные и международные организации по стандартизации [613].

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Важно отметить, что приведенные технические комитеты международных, региональных и зарубежных национальных организаций по стандартизации работают в тесной взаимосвязи, совместно разрабатывая гармонизированные для большинства стран стандарты, в связи с чем большая часть принятых стандартов в рассмотренных организациях в значительной степени пересекается.

Как правило, специфика наименования технического комитета или рабочей группы определяет область стандартизации и соответствующих исследований, а также тематики стандартов.

Также не менее важным выступает примечание, что приведенное количество стандартов, равно как и рассмотренные технические комитеты и рабочие группы, относятся ко всем типам материалов, включая базовые и передовые (новые) материалы. Данный аспект обусловлен, во-первых, необходимостью детальной регламентации марок и типов материалов массового спроса, в связи с чем основная масса стандартов приходится на базовые (традиционные) материалы. Во-вторых, при формировании новых типов материалов и соответствующих стандартов в данной отрасли эксперты, безусловно, опираются на накопленный за многолетний исторический период развития стандартов, сведений и наработок в области базовых (традиционных) конструкционных и функциональных материалов.

Предположительно доля стандартов, относящихся к новым материалам, в сторону которых смещается фокус стандартизации и тренды в отрасли материаловедения, составляет не более 15% от общего объема рассмотренных стандартов по всем типам материалов (экспертный метод оценки).

Также важно обратить внимание, что рассмотренные технические комитеты и соответствующие стандарты подразумевают не только координацию процессов разработки и оценки свойств отдельных типов материалов, но и регулируют вопросы проведения испытаний, технологические и производственные процессы, особенности в области применения соответствующих технологий (например, аддитивных), что напрямую не связано с материаловедением.

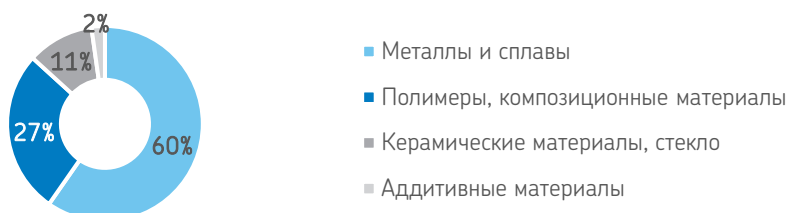
Высокий уровень развития металлургии и производства полимеров в России, а также активная деятельность в части инновационных разработок в области композиционных и аддитивных материалов определяет обширный национальный фонд стандартов в области материалов. Стоит отметить, что часть стандартов в области металлов и сплавов является советской разработкой, однако технические комитеты ведут деятельность по обновлению фонда стандартов и пересмотру содержания нормативных документов. Тем не менее наблюдается стимулирование развития нормативно-технического ландшафта в России и увеличение роли стандартов, относящихся к новым материалам.

Дополнительно в ходе анализа рассмотрена деятельность таких организаций по стандартизации, как Бюро индийских стандартов (Bureau of Indian Standards, BIS), Бразильская национальная организация по стандартизации (Associação Brasileira de Normas Técnicas / Brazilian National Standards Organization, ABNT), Южноафриканское бюро стандартов (South African Bureau of Standards, SABS) и др. Результаты анализа демонстрируют незначительное количество собственных стандартов, разработанных рассмотренными национальными организациями в области новых материалов, преимущественно в части критических материалов, добываемых на территории рассматриваемых государств (Индия, Бразилия, ЮАР); и высокую долю заимствования стандартов ИСО, СЕН, АСТМ, что также подтверждает участие обозначенных организаций в гармонизации международных стандартов на стадии их разработки.

Французская ассоциация по стандартизации (Association Française de Normalisation / French Standardization Association, AFNOR), в свою очередь, действует по сценарию опережающей нормализации – некоторая часть стандартов во Франции разрабатывается в статусе экспериментальных (XP, Norme Expérimentale). Это в том числе характерно для стандартов в области новых материалов при отсутствии релевантных международных стандартов – такие экспериментальные стандарты после перехода в статус национальных (по мере появления практики и подтверждения их применимости в отрасли) продвигаются в качестве основы для разработки международных и европейских стандартов с последующей гармонизацией при наличии востребованности на международном уровне.

Схожим образом действует Немецкий институт по стандартизации (Deutsches Institut für Normung e.V. / German Institute for Standardization, DIN), оперативно разрабатывая уникальные стандарты и технические условия (DIN SPEC) [614; 615] в области материалов при активном участии ключевых немецких химических концернов (подробнее – в главе 2) и с учетом потребности в формировании нормативно-правового ландшафта с их стороны. Данные стандарты в дальнейшем служат технологическими прототипами для принятия на международном уровне, в том числе ИСО. Тем не менее большая часть стандартов DIN в конечном итоге является эквивалентной международным и европейским стандартам.

Рисунок 21. Международный и национальный нормативно-технический ландшафт в области материалов, включая новые материалы, в разрезе типов материалов, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

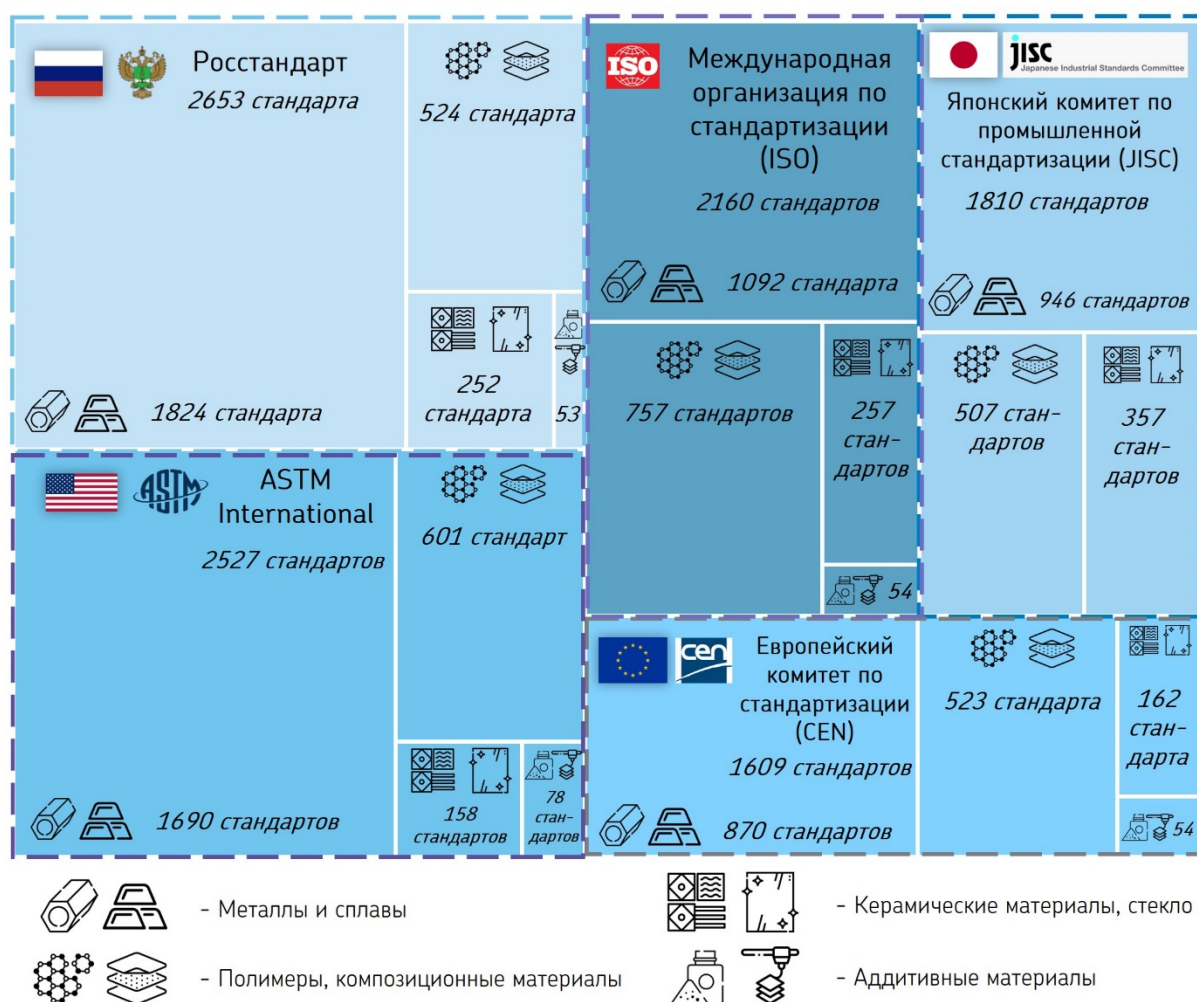
Таким образом, международный и национальный нормативно-технический ландшафт является зрелым в части отдельных типов новых материалов (в первую очередь металлов и сплавов, а также полимеров), вопросов проработки состава материалов, технических условий их производства, испытаний, воздействия на окружающую среду, применения в отдельных отраслях и проч.

При этом в нормативно-техническом ландшафте практически отсутствуют стандарты в области стекла (за исключением строительного), которое применимо в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Наибольшую долю – около 60% от общего объема рассмотренных стандартов ИСО, CEN, ASTM, JISC, Росстандарта по всем типам материалов – составляют стандарты в области металлов и сплавов, что объясняется многообразием их составов и диапазоном областей применения.

На приведенных рисунках международного и национального нормативно-технического ландшафта не отражены BSI по причине высокого уровня заимствования стандартов, SAC по причине отсутствия достоверных сведений о количестве стандартов, относящихся непосредственно к новым материалам. Количество стандартов ИСО, CEN, ASTM, JISC, Росстандарта приведено с учетом стандартов по всем типам материалов, включая новые материалы, для наглядной демонстрации масштабов деятельности в области материаловедения в целом.

Рисунок 22. Международный и национальный нормативно-технический ландшафт в области материалов, включая новые материалы



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

ГЛАВА 4. ОБЗОР НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В главе представлен обзор научных разработок, технологий и направлений развития в области новых материалов по результатам библиометрического и патентного анализа.

Библиометрический и патентный анализ в области передовых материалов включает обзор патентов и статей по следующим направлениям: передовые металлы и сплавы, передовые стекла, передовые керамические материалы, передовые полимеры и передовые композиционные материалы. Для анализа была использована платформа поиска патентной и научной литературы The Lens (lens.org) [616].

По запросу¹¹, отражающему ключевые слова, соответствующие технологиям рассматриваемой тематики, осуществлялся поиск в заголовках и аннотациях патентов за период 2016–2025 гг. За рассматриваемый период число действующих выданных патентных документов по всем рассматриваемым направлениям новых (передовых) материалов составило 24 656 патентов. Максимальное количество действующих патентов было зарегистрировано в 2019 и 2020 годах – 2 858 и 2 865 патентов соответственно. Среди рассматриваемых направлений по количеству патентов за период 2016–2025 гг. лидирует направление передовых композиционных материалов – 7 532 патента, далее направление передовых металлов и сплавов – 5 890 патентов, передовых полимеров – 5 285 патентов, передовых стекол – 4 179 патентов, передовых керамических материалов – 1 770 патентов.

Рисунок 23. Динамика изменения количества патентных документов в мире, 2016–2025 гг., ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ на основе данных платформы The Lens, 2026

Топ-10 стран по количеству действующих выданных патентных документов возглавляют США – 13 768 патентов. Лидирующим направлением в стране является направление передовых композиционных материалов, где количество патентов составит 4 123 патента за последние 10 лет. Страны Европейского союза лидируют в области передовых стекол – 1 348 патентов, в Республике Корея большое количество патентов относится к направлению передовых композиционных материалов – 1 171 патент.

¹¹ Запросы по каждому направлению передовых материалов приведены в Приложении 3.

В число стран-лидеров по действующим патентам в области передовых материалов также входит Российская Федерация (4-е место) – 1 143 патента. В России большое количество патентов отмечается в области передовых металлов и сплавов – 627 патентов. В ТОП-10 стран по патентованию в области передовых материалов не представлен Китай в связи с тем, что большая часть патентов страны оформлена в виде заявок (в данном отчете рассмотрены только выданные действующие патенты). При этом суммарно по 5 выделенным сегментам Китай занимает лидирующие позиции в числе заявок на патенты, опережая США, занимающие второе место, примерно в 3,5 раза.

Таблица 13. Количество действующих патентных документов по странам, 2016–2025 гг., ед.

Страна	Всего	Передовые полимеры	Передовые металлы и сплавы	Передовые композиционные материалы	Передовые стекла	Передовые керамические материалы
США	13768	3135	2921	4123	2387	1202
ЕС	3466	550	611	1177	1348	108
Республика Корея	3794	824	1018	1171	198	255
Российская Федерация	1143	146	627	201	93	76
Канада	618	135	176	261	36	10
Австралия	326	108	70	137	24	13
Тайвань	352	114	89	60	18	45
Малайзия	250	87	68	69	7	19
Мексика	172	55	–	91	17	9
ЮАР	136	19	64	53	–	–

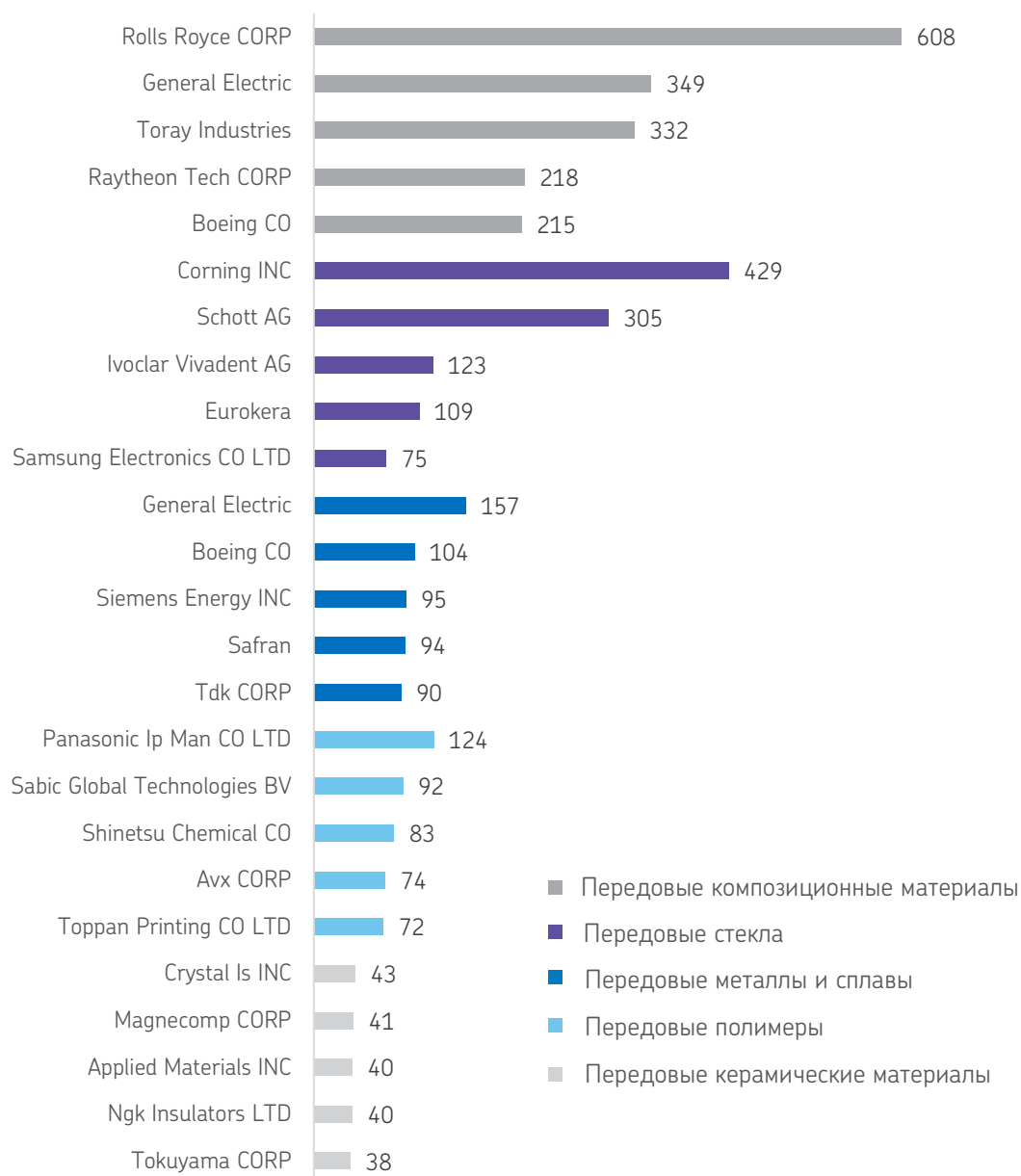
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ на основе данных платформы The Lens, 2026

К компаниям, которые активно разрабатывают и патентуют новые решения в области передовых материалов, можно отнести: Rolls Royce (608 патентов в области передовых композиционных материалов), General Electric (506 патентов в области передовых композиционных материалов, металлов и сплавов), Corning Incorporated (429 патентов в области передовых стекол), Toray Industries (332 патента в области передовых композиционных материалов) и другие.

Они обладают наибольшим инновационным потенциалом в одном или нескольких направлениях передовых материалов. Как можно заметить, среди держателей патентов представлены как отраслевые лидеры из автомобилестроения, энергетики, авиастроения и электроники, так и непосредственно лидеры в разработке передовых материалов.

В ходе анализа часто встречающихся областей технологий в зарегистрированных патентах можно выделить несколько направлений, а именно передовые композиционные материалы и передовые металлы и сплавы, где наблюдается наибольшая концентрация патентов, связанных с конкретным отраслевым применением в авиационном двигателестроении (например, 923 патента с кодом F05D2300/6033 – Композиционные материалы с керамической матрицей для газотурбинных и реактивных двигателей) и 3D-печати (например, 727 патентов с кодом B22F2998/10 – Специфические аспекты порошковой металлургии, применяемые в аддитивном производстве).

Рисунок 24. Количество патентных документов по направлениям новых материалов, принадлежащих ТОП-5 компаниям-лидерам, 2016–2025 гг., ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ на основе данных платформы The Lens, 2026

Также можно отметить, что в трех направлениях (передовые композиционные материалы, металлы и сплавы, полимеры) представлено существенное количество патентов с кодом серии Y02. Это может свидетельствовать о том, что экологическая устойчивость и снижение выбросов являются одними из главных драйверов развития в данных направлениях.

Кроме того, в каждом из рассмотренных направлений передовых материалов часто встречаются технологические области, описывающие не только вещество (состав материала), но и метод его получения и обработки (B33Y10/00, C03B32/02, C30B29/403 и др.).

Это свидетельствует о том, что ключевое конкурентное преимущество компаний сегодня заключается в уникальных технологических процессах, а не исключительно во владении формулой материала.

Рисунок 25. Наиболее часто встречающиеся коды международной патентной классификации в области передовых материалов¹², 2016–2025 гг., ед.

923 F05D2300/6033 Композиционные материалы с керамической матрицей для газотурбинных и реактивных двигателей	581 C08J5/042 Производство изделий, содержащих полимерные композиционные материалы, армированные углеродными волокнами	542 F01D5/282 Лопатки газотурбинных двигателей из композиционных материалов, армированных волокнами	516 C03C10/0027 Кристаллизуемая стеклокерамика, т.е. содержащая кристаллическую фазу, диспергированную в стекловидной и составляющую не менее 50% по весу от общего состава (содержит в составе SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Li ₂ O)	443 C03C3/097 Составы для изготовления стекла, содержащие фосфор, ниобий или тантал
685 Y02T50/60 Эффективные авиационные двигатели на основе технологий, способствующих снижению воздействия на климат	531 C04B35/80 Композиционные материалы с керамической матрицей, содержащие волокна, нитевидные кристаллы или аналогичные армирующие элементы		363 C03C2204/00 Стекло, глазурь или эмаль со специальными свойствами	362 C03B32/02 Термическая обработка стеклянных изделий, термическая кристаллизация
			272 C03C10/0009*	
727 B22F2998/10 Специфические аспекты порошковой металлургии, применяемые в аддитивном производстве	661 B22F2999/00 Общие аспекты производства, применяемые в порошковой металлургии		328 B32B27/08 Слоистые изделия, содержащие в составе синтетические смолы другого вида	284 H01G9/028 Электролитические конденсаторы с органическими полупроводниковыми электролитами; способы их изготовления
			320 Y02E60/10 Технологии, способствующие сокращению выбросов парниковых газов: батареи для накопления энергии	275 B32B2307/7242 Слоистые изделия с высокой непроницаемостью для жидкостей и газов
695 Y02P10/25 Технологии энергоэффективного производства металлов и сплавов, способствующие снижению воздействия на климат	471 B33Y10/00 Процессы технологии послойного синтеза	351 B33Y70/00 Материалы, специально предназначенные для послойного синтеза	254 B32B27/32 Слоистые изделия, содержащие полиолефины	
			209 H10P14/3416*	168 H10D62/8503*
				155 H10P14/3216*
				126 C30B29/403*
				123 H10P14/24*

- Передовые металлы и сплавы
- Передовые керамические материалы
- Передовые композиционные материалы
- Передовые стекла
- Передовые полимеры

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ на основе данных платформы The Lens, 2026

¹² * C03C10/0009 – Кристаллизуемая стекло-керамика, т.е. содержащая кристаллическую фазу, диспергированную в стекловидной фазе и составляющую не менее 50% по весу от общего состава (содержит в составе кремнезем); H10P14/3416 – Кремниевые полупроводниковые материалы; H10D62/8503 – Полупроводниковые структуры на основе нитридных материалов III–V групп, содержащие гетеропереходы с потенциальными барьерами;

H10P14/3216 – Материалы на основе халькогенидов селена для активных слоев твердотельных устройств;

C30B29/403 – Высокотемпературные методы кристаллизации, включая CVD, для получения монокристаллов или поликристаллических материалов;

H10P14/24 – Материалы на основе элементов 13-й группы (III группа: Ga, Al, In).

Наиболее цитируемые патенты представлены в области передовых полимеров и передовых керамических материалов. Вместе с тем в рамках рассматриваемых направлений передовых материалов высокоцитируемые патенты принадлежат как промышленным/отраслевым компаниям (например, медицина), так и непосредственно компаниям – разработчикам передовых материалов и способов их изготовления:

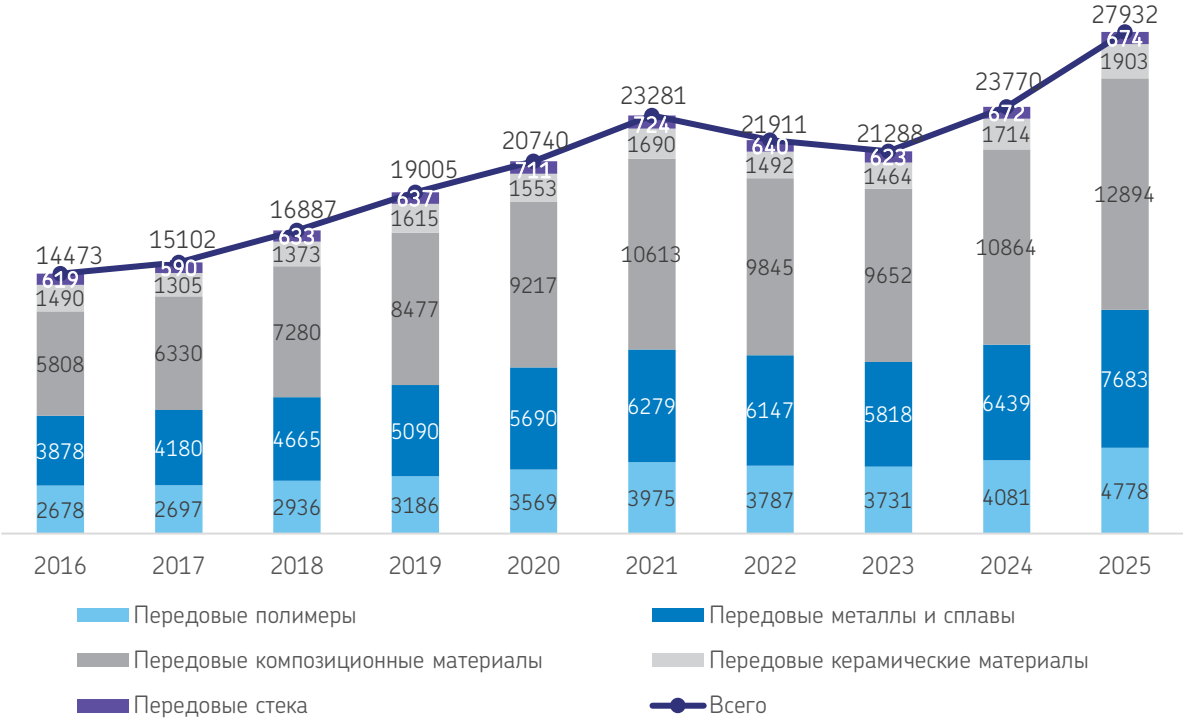
- US 9839480 B2 «Surgical adapter assemblies for use between surgical handle assembly and surgical end effectors», Covidien Lp (опубликован в 2017 г.) – 1065 цитирований. Патент описывает хирургическое устройство – адаптер для модульных хирургических систем (линейные зажимные, режущие и сшивающие устройства), деталь которого, а именно гайка приводного соединения, изготовлена из неармированного термопластичного полимера PEEK [617];
- US 9711345 B2 «Method for forming aluminum nitride-based film by PEALD», ASM IP Holding BV (опубликован в 2017 г.) – 458 цитирований. Патент описывает способ нанесения тонких пленок нитрида алюминия с использованием плазменно-активированного атомно-слоевого осаждения (PEALD), что позволяет получать высококачественные пленки для передовых электронных и опто-электронных устройств [618];
- US 9456901 B2 «Laser-produced porous structure», Howmedica Osteonics Corp, University of Liverpool (опубликован в 2016 г.) – 199 цитирований. Патент раскрывает способ получения трехмерной пористой структуры (лазерное плавление металлического порошка, SLM), врастающей в ткань, для медицинских имплантов [619];
- US 9370896 B2 «Methods for fiber reinforced additive manufacturing», MarkForged Inc (опубликован в 2016 г.) – 197 цитирований. Патент посвящен методу аддитивного производства изделий из композиционных материалов путем послойного нанесения термопласта с одновременным армированием структуры непрерывными высокопрочными волокнами (углеволокно, стекловолокно, арамидное волокно). Технология включает систему управления подачей и обрезкой волокна, что позволяет создавать детали с механическими характеристиками, близкими к металлам [620];
- US 10003168 B1 «Fiber laser with free-space components», Luminar Tech Inc (опубликован в 2018 г.) – 137 цитирований. Патент описывает оптоволоконный лазер, который использует оптические компоненты, расположенные в свободном пространстве (free-space components), вместо полностью интегрированных в оптическое волокно [621].

Библиометрический анализ был также проведен на основе данных платформы поиска патентной и научной литературы The Lens (lens.org) и аналогичного запроса, но с исключением ряда исследовательских областей: медицина (в т.ч. фармацевтика) и здравоохранение, биология, политика и право, история, психология и образование.

За рассматриваемый период (2016–2025 гг.) в области передовых материалов было опубликовано 204 389 статей в различных журналах. Наибольшее количество статей опубликовано в 2021 году – 23 281 статья и в 2025 году – 27 932 статьи. Существенное количество статей за последние 10 лет опубликовано по направлению передовых композиционных материалов – 90 980 статей.

Среди стран по количеству научных публикаций в области передовых материалов за период с 2016 по 2025 год лидирует Китай (50 825 статей), значительно опережая США (19 913 статей). Индия, Германия, Япония и Великобритания также занимают значимые позиции в представленном рейтинге. Остальные страны из ТОП-10 имеют существенно меньшее количество публикаций.

Рисунок 26. Динамика изменения количества научных публикаций в области передовых материалов, 2016–2025 гг., ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ на основе данных платформы The Lens, 2026

Таблица 14. Количество научных публикаций в области передовых материалов по странам (ТОП-10), 2016–2025 гг., ед.

Страна	Всего	Передовые металлы и сплавы	Передовые стекла	Передовые керамические материалы	Передовые полимеры	Передовые композиционные материалы
КНР	50825	18013	1340	4094	8355	19023
США	19913	6481	509	1655	4220	7048
Индия	13831	3954	417	943	1709	6808
Германия	7788	2638	243	457	1465	2985
Япония	7359	2459	203	793	1215	2689
Великобритания	6535	1975	244	374	1342	2600
Республика Корея	5524	1636	–	556	1406	1926
Италия	3044	–	233	–	742	2069
Австралия	2829	–	–	–	743	2086
Франция	2448	1178	173	377	720	–

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ на основе данных платформы The Lens, 2026

Стоит отметить, что исследователи из рассматриваемых ТОП-10 стран публикуют научные статьи преимущественно в области передовых металлов и сплавов, передовых полимеров и передовых композиционных материалов.

Среди организаций с наибольшим количеством публикаций в области передовых материалов преобладают университеты Китая. Исследователями Харбинского политехнического университета опубликовано наибольшее количество статей – 2 865 статей по таким направлениям, как передовые металлы и сплавы, передовые композиционные материалы, передовые полимеры и передовые керамические материалы.

Несмотря на преобладающее большинство китайских университетов, в ТОП-5 организаций входит университет, расположенный в Народной Республике Бангладеш – Юго-Восточный университет (Southeast University, 720 статей по передовым композиционным материалам), университет США – Университет штата Пенсильвания (Penn State, Pennsylvania State University, 140 статей в области передовых керамических материалов), итальянский университет – Туринский политехнический университет (Polytechnic University of Turin, 76 статей в рамках направления передовых стекол) и университет Египта – Каирский университет (Cairo University, 60 статей в рамках направления передовых стекол).

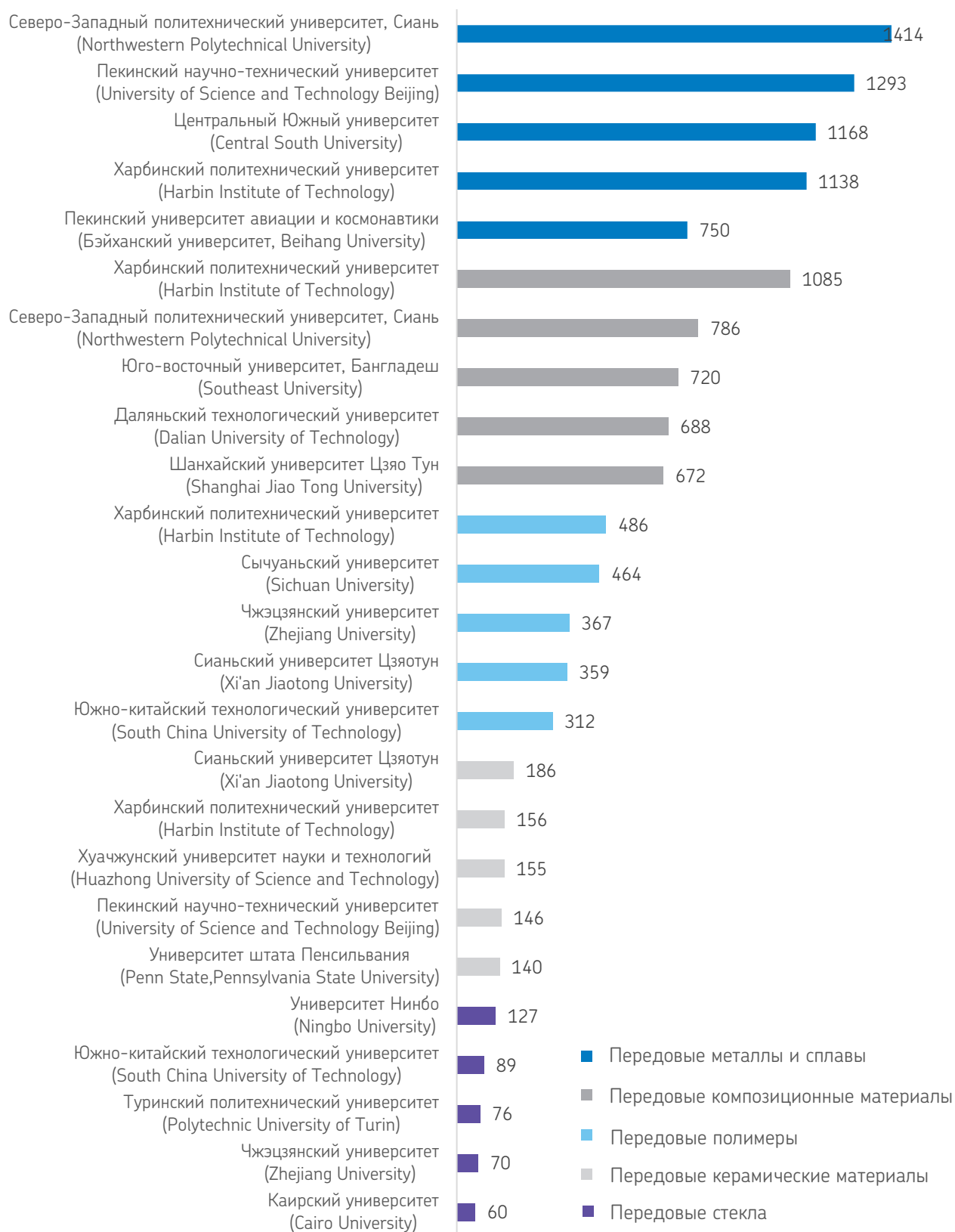
В России тематика передовых материалов также входит в поле научных интересов исследователей. За десятилетний период наибольшее количество статей опубликовано НИТУ МИСИС (662 статьи), МГУ имени М.В. Ломоносова (321 статья) и СПбГУ (247 статей). Преобладающее большинство статей опубликовано в области передовых металлов и сплавов (704 статьи) и передовых композиционных материалов (409 статей).

Рисунок 27. Количество научных публикаций в области передовых материалов по аффилиации в России (ТОП-5 организаций), 2016–2025 гг., ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбГУ на основе данных платформы The Lens, 2026

Рисунок 28. Количество научных публикаций в области передовых материалов по аффилиации в мире (ТОП-5 организаций), 2016–2025 гг., ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ на основе данных платформы The Lens, 2026

В рамках анализа публикаций в области передовых материалов выделены наиболее цитируемые статьи, самая цитируемая из которых опубликована в области передовых металлов и сплавов, также высокоцитируемые статьи представлены по передовым полимерам и передовым композиционным материалам:

- D. B. Miracle, O. N. Senkov «A critical review of high entropy alloys and related concepts» [622]; Acta Materialia, 2016 г. – 8 115 цитирований. В статье представлен обзор высокоэнтропийных сплавов, достижений в данной области и перспектив развития;
- S. C. Ligon, R. Liska, J. Stampfl, M. Gurr, R. Mülhaupt «Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing» [623]; Chemical Reviews, 2017 г. – 3 381 цитирование. Обзорная статья посвящена разработке передовых полимерных материалов, предназначенных для аддитивного производства, а также методам обработки полимеров;
- M. R. Sanjay, P. Madhu, Mohammad Jawaid, P. Senthimaraikannan, S. Senthil, S. Pradeep «Characterization and Properties of Natural Fiber Polymer Composites: A Comprehensive Review» [624]; Journal of Cleaner Production, 2018 г. – 1 533 цитирования. В статье рассмотрены различные методы изготовления полимерных композиционных материалов, армированных натуральными волокнами, а также представлен подробный обзор исследований, посвященных анализу их структуры и свойств;
- Y. Lakhdar, C. Tuck, J. Binner, A. Terry, R. Goodridge «Additive manufacturing of advanced ceramic materials» [625]; Progress in Materials Science, 2020 г. – 710 цитирований. Статья посвящена анализу современных тенденций в области аддитивного производства передовых керамических материалов, а также возможностей и ограничений, возникающих при обработке керамики с использованием технологий аддитивного производства;
- WC Wang, B. Zhou, SH Xu, ZM Yang, QY Zhang «Recent advances in soft optical glass fiber and fiber lasers» [626]; Progress in Materials Science, 2018 г. – 299 цитирований. В статье рассматриваются основные аспекты разработки волокон и волоконных заготовок из мягкого стекла, а также последние достижения в области легированного редкоземельными элементами мягкого стекла, перспективы, области применения и проблемы создания высокоэффективных мягких оптических волокон для одночастотных волоконных лазеров.

По итогам библиометрического и патентного анализа в области передовых материалов можно сделать следующие выводы:

- передовые композиционные материалы остаются доминирующим направлением как по количеству патентов (7 532 патента), так и по количеству публикаций (90 980 научных публикаций);
- ключевыми точками роста передовых материалов выступают как традиционные и технологические отрасли авиадвигателестроения и аддитивных технологий, так и экологическая повестка – ориентированность на сохранение окружающей среды (экологическая устойчивость и снижение выбросов);
- конкурентное преимущество компаний в области передовых материалов заключается как во владении формулой материала, так и в уникальных технологических процессах его изготовления и обработки;
- Россия занимает заметные позиции в патентовании (особенно по передовым металлам и сплавам), но отстает по числу научных публикаций по тематике новых материалов.

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ИЗДЕЛИЯ И ПЛАТФОРМЕННЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК

В пятой главе проводится анализ технологий разработки и применения цифровых двойников композиционных и новых материалов, включая научно-технологические достижения в данной области. Аналитическое исследование предполагает рассмотрение вопросов интеграции технологий моделирования материалов при создании цифрового двойника изделия, а также развития платформенных решений и их возможностей для создания технологических цепочек – от этапа проведения исследований и разработки цифрового двойника материала до инжиниринга изделий.

Технология разработки цифровых двойников (Digital Twin Technology, DT), наравне с технологиями автоматизированного проектирования (Computer-Aided Design, CAD) [627], инженерного анализа (Computer-Aided Engineering, CAE) [628; 629], технологической подготовки производства (Computer-Aided Process Planning, CAPP) [630], управления оборудованием с числовым программным управлением (Computer-Aided Manufacturing, CAM) [631], управления инженерными данными об изделии (Product Data Management, PDM) и управления жизненным циклом изделий (Product Lifecycle Management, PLM) [632] формируют единый технологический сегмент цифрового проектирования и моделирования, относящийся к кросс-рыночному и кросс-отраслевому направлению «Технет» НТИ.

Развитие указанных технологий сопровождается формированием нормативной базы, обеспечивающей их практическое внедрение и масштабирование. В России принята уникальная серия национальных стандартов «Численное моделирование» ТК 700 «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии» [613], которая объединяет 38 документов по стандартизации и формирует систему нормативных технических требований для применения компьютерных моделей и цифровых (виртуальных) испытаний в процессе создания и обеспечения эксплуатации высокотехнологичных промышленных изделий, в том числе военной техники. Также необходимо отметить, что с 1 января 2022 года в России введен в действие национальный стандарт серии «Численное моделирование» – ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» [633], разработанный специалистами Центра НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» совместно со специалистами ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Стандарт устанавливает определения терминов «цифровой двойник изделия», «цифровые (виртуальные) испытания», «цифровой (виртуальный) испытательный стенд» и «цифровой (виртуальный) испытательный полигон» и др.

Значимость стандарта подтверждается его международным признанием: 24 ноября 2023 года на 14-м заседании специальной рабочей группы по стандартизации Российско-Китайской Подкомиссии по сотрудничеству в области гражданской авиации и гражданского авиастроения ГОСТ Р 57700.37–2021 после детальной экспертизы был официально включен в перечень взаимно признаваемых стандартов в сфере авиастроения между Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией [634].

С учетом изложенного и в условиях современной глобальной экономической и геополитической обстановки технология разработки цифровых двойников изделий играет ключевую роль в решении возникающих у промышленности задач-вызовов, обусловленных ростом технологической сложности и ресурсными ограничениями. **Преодоление «скачка сложности» при одновременном сокращении сроков и затрат обеспечивается реализацией современной триады:**

Технологический прорыв → Технологический отрыв → Технологическое лидерство,

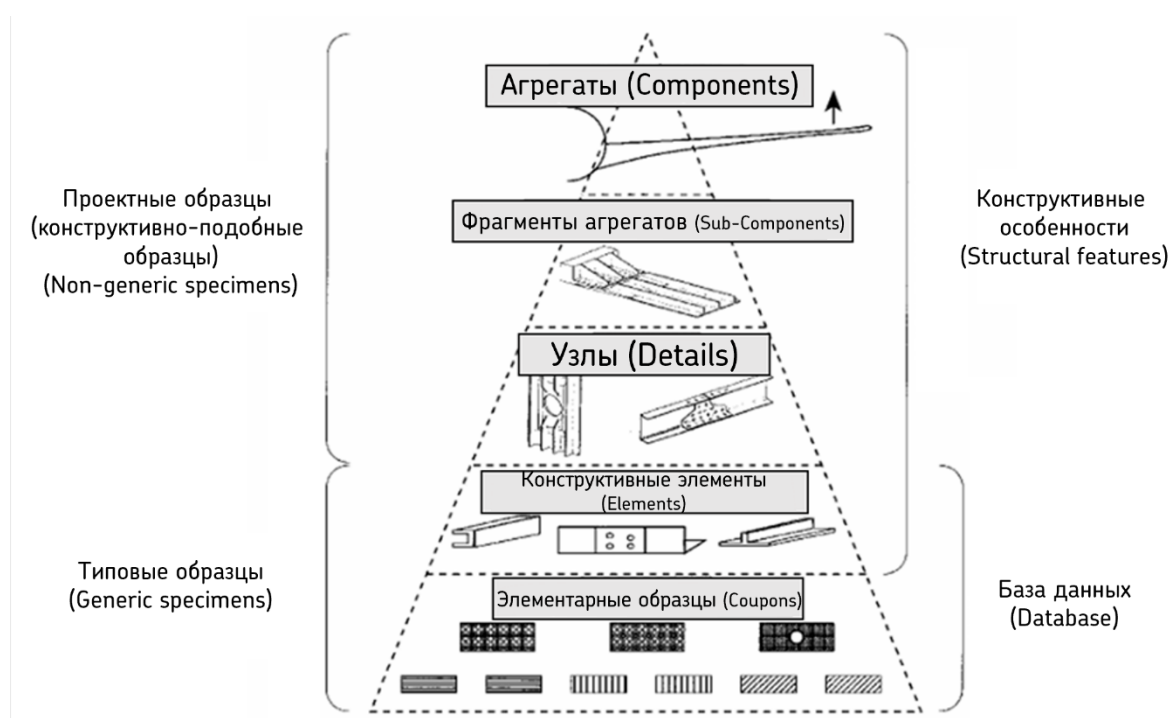
в рамках которой цифровые двойники играют ключевую и системообразующую роль [635].

Технологическое лидерство, в свою очередь, закреплено в качестве одной из национальных целей развития страны до 2030 года и на перспективу до 2036 года [636].

Краткое описание преимуществ перехода к цифровому моделированию изделий из композиционных материалов, роли цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов при выводе на рынок изделий из композиционных материалов с требуемым уровнем качества

Развитие и расширение возможностей компьютерных и программных продуктов позволяет переходить к цифровому проектированию и моделированию и развивать методики расчетного обоснования изделий. На рисунке 29 представлена «пирамида» принципов разработки изделия, каждая вышестоящая ступень которой требует решений, основанных на результатах предыдущей.

Рисунок 29. Принципы разработки изделий из композиционных материалов¹³



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным [638], 2026

Самая первая (нижняя) ступень относится к обоснованию выбора материалов для последующей оценки применимости этих материалов в конструктивно-подобных образцах (элементах деталей, вторая ступень). Третья, четвертая и пятая ступени относятся к обоснованию конструктивных решений деталей, узлов, сборок и структурных особенностей материалов в изделии с учетом технологии его изготовления. Таким образом, формируется сквозная расчетная цепочка обоснований от уровня материала до уровня изделия.

Расчетная цепочка обоснований от первой до пятой ступени сопровождается соответствующим экспериментальным подтверждением, необходимым для определения точности применяемых расчетных методик и

¹³ Первоисточником рисунка является иностранная научная публикация; часть терминов для полноты представления информации переведена на русский язык.

поправочных коэффициентов (compensation factors) [637] для этих методик. При этом указанные коэффициенты являются функционально зависимыми от внешних воздействующих факторов и их совокупностей, а область их применимости ограничена конкретными условиями эксплуатации и нагружения.

Технология разработки цифровых двойников при комплексном и системном подходе к композиции и декомпозиции сложных задач в соответствии с принципами данной технологии приведет к следующим ключевым эффектам:

- Оптимизация процессов разработки материалов и изделия;
- Совершенствование цифровых инструментов и подходов к их применению;
- Развитие специализированного инженерного программного обеспечения;
- Повышение точности математических, компьютерных и цифровых моделей, что, в свою очередь, позволит значительно сократить количество необходимых экспериментальных процедур для определения поправочных коэффициентов.

Как отмечено выше, область применимости указанных коэффициентов ограничена условиями внешнего воздействия, при этом характер их определения обусловлен уровнем рассматриваемой ступени «пирамиды». Как правило, для первой ступени характерен порядок тысячи образцов, для второй – сотни, для третьей и четвертой – десятки, для пятой – единицы. Таким образом, по мере перехода к верхним уровням «пирамиды» наблюдается экспоненциальное снижение объемов экспериментальных испытаний при одновременном росте их стоимости и сложности. Суммарная стоимость и сложность испытаний на ступенях 3–5 значительно выше, чем на первых двух ступенях. С позиции технологии разработки цифровых двойников первые две ступени относятся к цифровым двойникам материалов, остальные – к изделию. В этой логике комплексный и системный подход к композиции и декомпозиции сложных задач в соответствии с принципами технологии разработки цифровых двойников заключается в разработке цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, обеспечивающих полный цикл создания точных, основанных на законах физики и методологически обоснованных моделей (компонентов) цифровых двойников композиционных материалов (ЦДКМ).

5.1. Подходы к интеграции технологий моделирования материалов при создании цифровых двойников изделий

5.1.1. Описание характеристик изделий из композиционных материалов

Краткое описание характеристик изделий из композиционных материалов: сопротивление воздействию эксплуатационных факторов и среды, сохранение данной способности в течение всего цикла эксплуатации изделия с возможностью надежного прогнозирования эксплуатационного ресурса

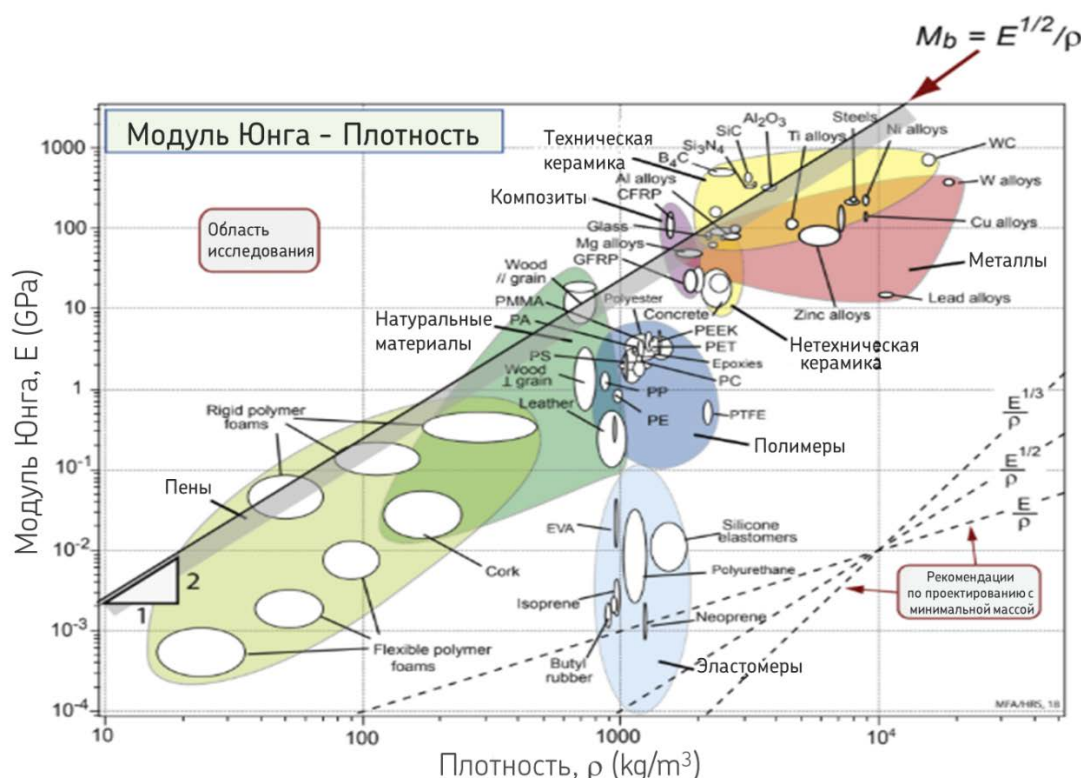
Одной из важных задач первых этапов разработки новых изделий является задача обоснования выбора материалов. Для ее решения используются методы, определяющие требования к материалам, принципы выбора потенциально подходящих материалов, их ранжирования и обработки данных (Materials Screening Methods) [639]. Одним из самых наглядных методов являются диаграммы Эшби, отражающие сравнение материалов различных классов на основе более чем одного свойства. В частности, на рисунке 30 приведен пример построения диаграммы для решения задачи поиска материала минимальной массы и достаточной жесткости.

Перспективы применения композиционных материалов в качестве конструкционных или функциональных материалов вместо традиционных металлов и сплавов обусловлены, в первую очередь, их высоким

сопротивлением воздействию факторов внешней среды (коррозии, влаги, химическому воздействию, перепадам температур и др.).

Возможность комбинирования материалов различного назначения обеспечивает достижение химической и коррозионной стойкости в совокупности с высокими механическими характеристиками при относительно малой плотности, а также выполнение ряда специальных функций в зависимости от сферы применения этих материалов, например, для обеспечения радиопрозрачности, диэлектрической проницаемости или непрозрачности и т.п.

Рисунок 30. Диаграмма Эшби «Модуль Юнга – Плотность» для решения задачи поиска материала минимальной массы и достаточной жесткости¹⁴



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Ashby M.F., Shercliff H., Cebon D. Materials: engineering, science, processing and design [640], 2026

Современная промышленность обеспечивает выпуск материалов, в том числе композиционных материалов, с различной структурой и свойствами. Их развитие обуславливает разработку новых материалов, потенциально применимых в изделиях как в чистом виде, так и в составе композиционных материалов. На сегодняшний день основными тенденциями в области композиционных материалов [176] являются исследования и разработки высокоэффективных смол и клеев; материалов на основе углеродного волокна; передовых полимерных композиционных материалов; биоматериалов; нанокмпозитов; «умных» металлических композиционных материалов, а также решение задач цифрового проектирования и сопровождения производства материалов, как рассмотрено в главе 1.

¹⁴ Первоисточником рисунка является иностранная научная публикация; часть терминов для полноты представления информации переведена на русский язык.

5.1.2. Особенности и сложности проектирования изделий из композиционных материалов

Главной особенностью и сложностью проектирования изделий из композиционных материалов является единовременный (параллельный во времени) процесс изготовления и материала, и изделия. В ходе данного процесса, помимо обеспечения требуемых механических или специальных свойств, зарождаются дефекты и локальные неоднородности.

В силу данной особенности составляющие парадигмы «Материал (М), Конструкция (К) и Технология (Т)» («М-К-Т») подлежат итеративному проектированию, в ходе которого решаются оптимизационные задачи и принимаются рациональные решения.

Указанная взаимосвязанность формирует принципиальные ограничения не только на уровне технологии, но и на уровне нормативно-методического обеспечения. Ключевой проблемой разработки изделий из композиционных материалов является отсутствие нормативной базы для сертификации [641]. Расчетные методики требуют учета всей специфики парадигмы «Материал (М) – Конструкция (К) – Технология (Т)», трудность которой заключается во взаимовлиянии каждой «стороны» на проектный и фактический результат. В этих условиях создание универсального и линейного подхода к проектированию оказывается невозможным, поскольку проектные параметры являются взаимосвязанными и определяются множеством сопряженных переменных.

В связи с этим особую актуальность приобретает разработка методик расчетного и экспериментального обоснования выбора материала, конструктивных решений и технологических режимов для конкретного изделия, обеспечивающих согласованность всех уровней проектирования и повышение достоверности прогнозирования эксплуатационных характеристик.

Современный подход к развитию расчетного и экспериментального обоснования

Ключевой технологией разработки и развития методик расчетного и экспериментального обоснования является технология разработки цифровых двойников, обеспечивающая системный подход к созданию нового изделия с применением современных вычислительных, программных и кадровых ресурсов. На рисунке 31 представлена концепция подхода к созданию цифрового двойника композиционного материала (ЦДКМ) для цифрового двойника изделия (ЦД изделия), где выделяются три стадии жизненного цикла: стадия разработки (ЦД-Р), изготовления (ЦД-И) и эксплуатации (ЦД-Э). Концепция базируется на парадигме «Материал (М) – Конструкция (К) – Технология (Т)», при этом цифровые модели материала на каждой стадии применимы для цифрового двойника изделия и обеспечивают возможность соблюдения принципов «М-К-Т».

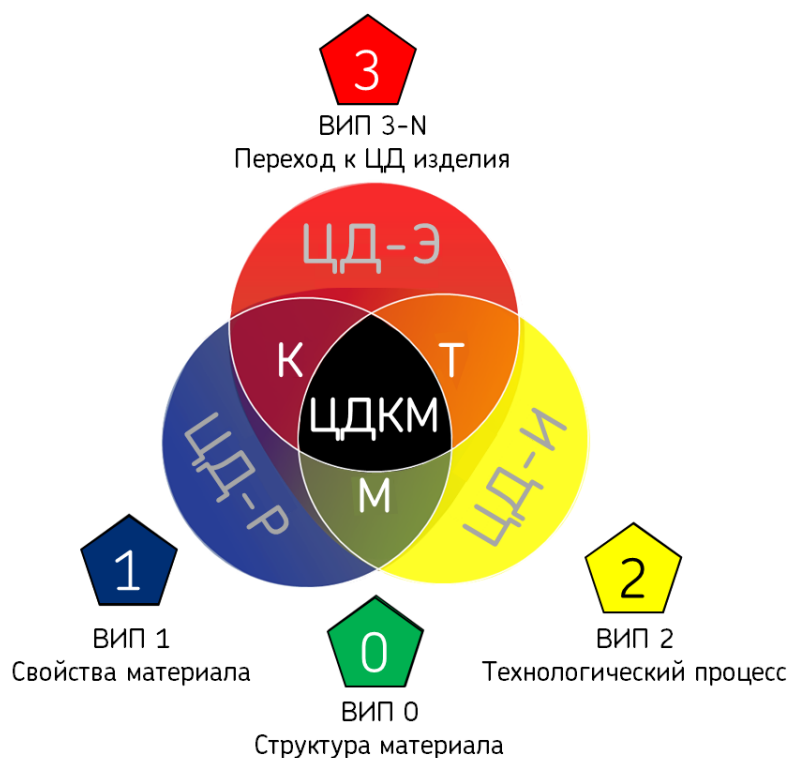
Каждую стадию описывает отдельный цифровой (виртуальный) испытательный полигон (ВИП), который декомпозируется на связанную совокупность многоуровневых цифровых (виртуальных) испытательных стендов (ВИС), основной задачей которых является разработка элементов или компонентов цифровой модели материала. Для цифрового двойника композиционного материала (ЦДКМ), создаваемого для цифрового двойника изделия (ЦД изделия), выделяются следующие ВИП для стадий разработки, изготовления и эксплуатации: ВИП 1 «Свойства», ВИП 2 «Технологический процесс» и ВИП 3 «Эксплуатация». Принципы, закладываемые в ВИП 1 и ВИП 2, являются методологически универсальными для любого изделия – так, рассматриваются общие вопросы моделирования свойств материалов с учетом влияния параметров технологического процесса изготовления материала.

ВИС, входящие в состав ВИП 1, описывают методику моделирования отдельных свойств и их механических откликов на эксплуатационные факторы в стандартных образцах материалов с граничными условиями стандартных методов испытаний (статические, динамические, длительные испытания при нормальных условиях

и условиях среды), тем самым обеспечивается базовый уровень верификации моделей материала на уровне образцов.

В ВИП 2 рассматриваются задачи моделирования технологических процессов в части кинетики и общих этапов формообразования: исследуются вопросы зависимости остаточного напряженно-деформированного состояния и зарождения дефектов от параметров технологического процесса, и, как следствие, влияние этих параметров на конечные свойства материала. Таким образом, формируется связь между технологическими режимами и структурно-функциональными характеристиками материала.

Рисунок 31. Концепция подхода к созданию цифрового двойника композиционного материала



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Для обеспечения связи ВИП 1 и ВИП 2 рассматривается отдельный ВИП 0, решающий задачи многоуровневого моделирования свойств материала и отвечающий за принципы осреднения и распределения свойств в некотором объеме материала с проекцией на конкретную форму (образец, элемент, деталь, изделие) с соблюдением физических параметров формирования такого распределения.

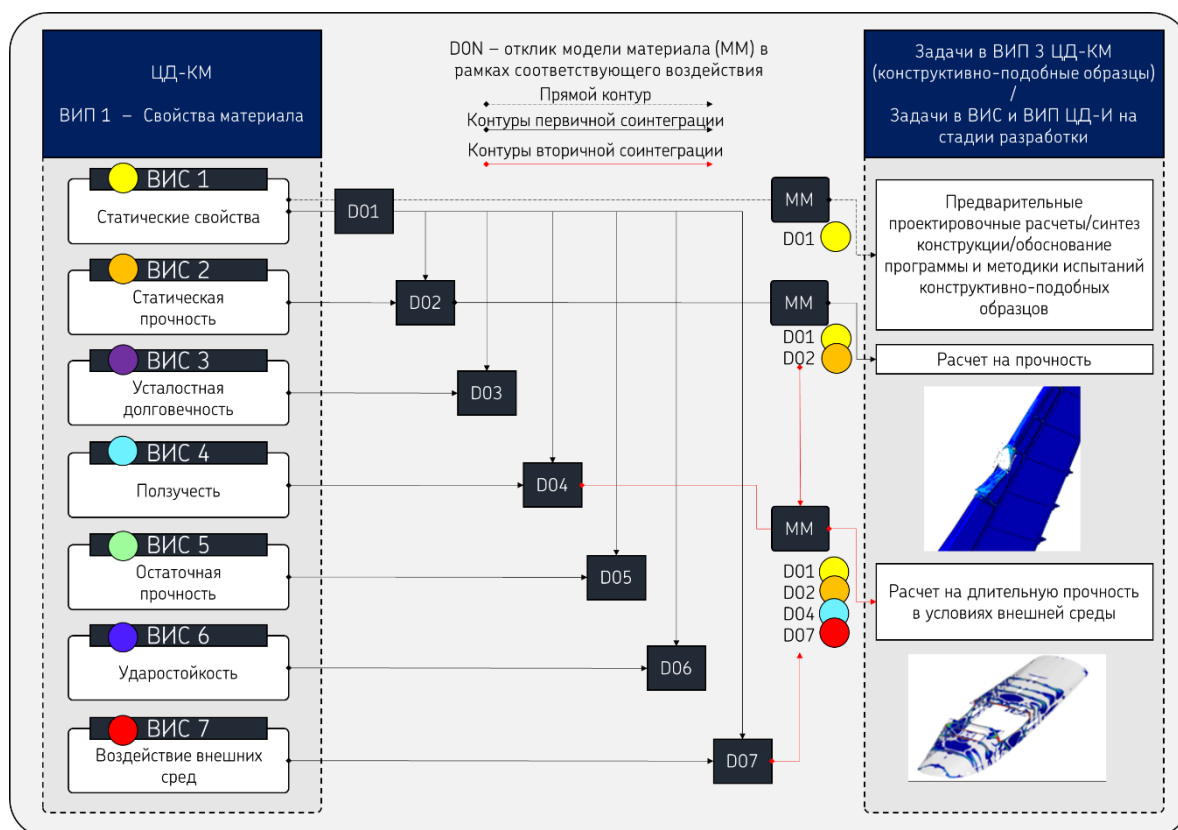
ВИП 3 специально создается для конкретного изделия. Свойства материала моделируются в составе конструктивно-подобных образцов с использованием моделей материалов, описанных с помощью ВИС 0–2, с граничными условиями эксперимента, соответствующими или приближенными к реальным условиям эксплуатации изделия. ВИП 3 является заключительным этапом подтверждения высокой степени достоверности моделей материала и методики моделирования для последующего применения разработок в цифровом двойнике изделия.

На рисунке 32 приведен пример архитектуры ВИП ЦДКМ, построенной относительно ВИП 1. Исходными данными для построения ВИП и ВИС является программа и методика (ПМ) испытаний конкретного материала, изготавливаемого по технологии изделия, например, методом намотки или выкладки препрега в случае полимерных композиционных материалов, армированных непрерывным волокном. ПМ испытаний

разрабатывается с учетом особенностей этого материала и с учетом процессов изменения свойств, которые необходимо учесть в ЦД изделия на этапе изготовления и эксплуатации.

Рассмотренные ВИП и ВИС цифрового двойника композиционного материала разработаны на Цифровой платформе по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® (разработана ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»), применение комплексной методологии обеспечивает возможность перехода к цифровому двойнику изделия.

Рисунок 32. Архитектура ВИП ЦДКМ



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Описание основных проблем в части проектирования материалов и применения наработок для инжиниринга изделий. Цифровые двойники и цифровые (виртуальные) испытания материалов и изделий

В рамках отдельных ВИП, а также их совокупности формируются и прорабатываются методики моделирования для цифрового инжиниринга изделий, в которых рассматривается и решается комплекс проблем, связанных с разработкой и применением композиционных материалов в составе изделий:

- Влияние структуры;
- Влияние технологического процесса;
- Влияние свойств отдельных компонентов и их взаимодействие друг с другом;
- Описание структурной неоднородности и разброса свойств компонентов и системы материала;
- Описание отклика материала на эксплуатационные факторы.

Перечисленные проблемы обуславливают необходимость обеспечения возможности расчетного обоснования

изделия, для которого также необходимо специализированное программное обеспечение (ПО). Решение указанных задач требует разработки соответствующего нормативно-методического и программного обеспечения в области численного моделирования. В данной сфере на сегодняшний день проводятся работы по нормативному сопровождению процессов численного моделирования полимерных композиционных материалов, в частности, принято два национальных стандарта: ГОСТ Р 57700.43–2023 «Численное моделирование полимерных композиционных материалов. Верификация программного обеспечения» и ГОСТ Р 57700.42–2023 «Численное моделирование полимерных композиционных материалов. Общие положения» (дата введения в действие – 1 января 2026 года) [611; 612].

Таким образом, формируется нормативная основа для применения и верификации методов численного моделирования в рассматриваемой области. Практическим результатом является уточнение моделей материалов и методики моделирования для расчетного обоснования изделия. Наряду с этим в процессе разработки цифрового двойника формируется обоснование программы и методики необходимых испытаний для обеспечения подтверждения соответствия конечного продукта заданным требованиям.

Реализация указанных методологических и нормативных положений на практике была осуществлена в ряде прикладных проектов. Так, в 2024–2025 годах специалистами ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» с применением технологии разработки цифровых двойников в соответствии с национальным стандартом ГОСТ Р 57700.37–2021 на Цифровой платформе по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® были реализованы, в частности [642]:

- Инициативный проект по разработке семейства беспилотных летательных аппаратов «Снегирь-1», «Снегирь-1.5» и «Снегирь-2» [182] с применением композиционных материалов и аддитивных технологий. Для композиционных материалов разработан цифровой (виртуальный) испытательный полигон, 9 цифровых (виртуальных) испытательных стендов и 16 цифровых моделей;
- Разработка и установка на производстве АО «Препрег-СКМ» (входит в «Росатом Композитные технологии» (Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом»)) опытной установки для производства филаментов [643] на основе углеволокна производительностью 12 км/час;
- Разработка и изготовление композитного обтекателя [644] для мотопаралета знаменитого путешественника Федора Конюхова, на котором был совершен полет до Северного полюса и установлен мировой рекорд;
- и другие проекты.

5.2. Платформенные решения, их роль и возможности для создания технологических цепочек от исследований и разработок цифрового двойника материала до инжиниринга изделий

Цифровой двойник материала прежде всего необходим для систематизированного изучения и моделирования свойств материалов в конечном изделии с учетом всех особенностей структуры и технологических процессов, в том числе в целях минимизации финансовых, технических и других ресурсов, необходимых для обеспечения экспериментального сопровождения подтверждения соответствия. Для обеспечения процессов разработки и применения цифровых двойников материала и изделия необходимо специализированное ПО различных классов.

В первую очередь, это расчетное программное обеспечение класса CAD/CAE для обеспечения процессов математического и компьютерного моделирования. Особо можно выделить класс программного обеспечения – системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM, Simulation Process and Data Management), которые представляют собой программное обеспечение, предназначенное для эффективного управления конфигурацией данных моделирования, оптимизации процессов, осуществления

совместной работы глобально распределенных команд, обеспечения прослеживаемости и принятия решения по оптимизации продукта, связывающее входные и выходные данные программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга) [645].

Наряду с расчетными и управляющими системами важную роль играет инфраструктура хранения и повторного использования данных моделирования. Для хранения полезных результатов (готовых цифровых моделей материалов и изделий) или для накопления исходных данных для их разработки с целью последующего использования и применения при разработке новых продуктов необходимы специализированные базы данных с функциями поиска, подбора и определения необходимых компонентов к новому проекту или решению. В таких базах реализован широкий функционал для подбора материалов, включающий методы отбора или выбора потенциальных материалов, их ранжирования и обработки данных, в том числе диаграммы Эшби.

5.2.1. Развитие платформенных решений и их возможностей для создания технологических цепочек от исследований и разработок цифрового двойника материала до инжиниринга изделий

Важной частью в процессе производства готового изделия является этап его постановки на производство. Можно выделить три основных этапа процесса разработки и постановки на производство изделий из композиционных материалов (подробнее рассмотрены в Таблице 15). Действия на каждом из указанных этапов должны соответствовать установленным бизнес-требованиям и ограничениям на конкретном предприятии.

С учетом текущих условий развития отечественной цифровой промышленности формируется ряд базовых требований к платформенным программным решениям:

- Поддержка работы с операционными системами на базе Linux (Astra без использования Wine);
- Стабильность работы приложения (отсутствие сбоев и аварийных завершений в процессе эксплуатации);
- Наличие записи в Едином реестре российских программ для ЭВМ и баз данных;
- Отсутствие импортозависимых компонентов и библиотек.

Указанные требования формируют основу технологической независимости и надежности цифровой инфраструктуры разработки и производства изделий. В этой связи одним из важных направлений развития для отечественных платформ является обеспечение системной реализации и унифицированного доступа к объектам модели данных, формируемым в различных классах инженерного программного обеспечения, включая CAD-, CAE-, CAM-, CAPP-, PDM-системы.

Таблица 15. Процессы разработки и постановки на производство изделий из композиционных материалов

Этап	Наименование действия	Описание действия	Исполнитель	Класс ПО
Эскизное проектирование	Инженерный анализ	• Импорт из CAD внешней геометрии; • Построение конечно-элементной модели (силовой каркас и композитная оболочка); • Задание слоистой структуры (в случае моделирования слоистых композиционных материалов); • Задание граничных условий; • Запуск на расчет, получение полей распределения исследуемых параметров (например, компонент напряженно-деформированного состояния).	Инженер-расчетчик	CAE
	Расчет коэффициентов запаса	Вывод критерия разрушения, проверка конструкции на соответствие требованиям.	Инженер-расчетчик	CAE

Этап	Наименование действия	Описание действия	Исполнитель	Класс ПО
	Резервирование объема в электронном макете	- Перестроение модели в соответствии с текущими значениями проектных переменных; - Подготовка описания геометрической модели по зонам; - Импорт укладок из расчетной модели; - Создание твердого тела по зонам; - Расчет предварительных функциональных характеристик.	Инженер-конструктор	CAD
Рабочее проектирование	Создание геометрической модели композитной обшивки	- Перестройка модели в соответствии с оптимальными значениями проектных переменных; - Уточнение внешней геометрии; - Перенос геометрии зон; - Перенос укладок обшивки в конструкторскую модель; - Объединение слоев с одинаковыми параметрами в соседних зонах (анализ от зоны к слою); - Управление контурами слоев путем настроек параметров сбегов; - Реорганизация сечения в соответствии с правилами укладки; - Редактирование профилей сбегов; - Построение внутренней геометрии; - Создание результирующего твердого тела.	Инженер-конструктор	CAD PDM
	Создание геометрических моделей элементов силового каркаса	- Обрезка внутренней геометрии обшивки; - Построение геометрии стенок и полок силовых элементов; - Описание композитных пакетов силовых элементов по зонам или послойно на основе укладок; - Построение внутренней геометрии пакета; - Создание результирующего твердого тела.	Инженер-конструктор	CAD PDM
	Инженерный анализ компонентов композитных конструкций	Проведение расчетов всех композитных деталей и сборок на основе классической ламинатной теории.	Инженер-расчетчик	CAE
	Многомасштабный анализ разрушения композитных конструкций	Проведение расчетов особо критических изделий с учетом прогрессирующего разрушения (деламинация, разрушение матрицы, разрушение волокна).	Инженер-расчетчик	CAE
	Обновление геометрических моделей	Изменение параметров геометрической модели на основе выводов по результатам инженерного анализа.	Инженер-конструктор	CAD
Технологическая подготовка производства	Создание технологической модели	Создание ассоциативной копии геометрии и композитной укладки изделия с целью последующего проведения технологической подготовки производства и создания наборов данных для промышленного оборудования.	Технолог	CAD
	Инженерный анализ поверхности оснастки	Расчет упреждающей формы поверхности оснастки с учетом упругости детали.	Инженер-расчетчик	CAE
	Моделирование драпировки материала с учетом технологических ограничений	- Определение областей образования недопустимых растяжений и складок на криволинейных поверхностях; - Учет ширины рулона материала к поверхности и установка правил соединения стыков; - Устранение проблемных зон путем добавления надрезов и вырезов; - Расчет точных геометрических и технологических параметров.	Технолог	CAD PDM
	Технологическая подготовка автоматизированной выкладки	Добавление технологических припусков, разнос стыков	Программист ЧПУ	CAD
	Генерация траекторий	Автоматизированное создание траектории выкладки слоев с учетом кинематики станка, ручное редактирование траектории.	Программист ЧПУ	CAM

Этап	Наименование действия	Описание действия	Исполнитель	Класс ПО
	Инженерный анализ	Поверочный расчет на основе уточненных параметров укладки с учетом всех технологических операций.	Инженер-расчетчик	CAE
	Моделирование пропитки связующим	Моделирование пропитки пакета связующим с целью исключения сухих зон и оптимизации параметров технологического процесса инфузии.	Инженер-расчетчик	CAE
	Создание разверток	Создание разверток с учетом особенностей оборудования, оптимизация контуров слоев, маркировка слоя, определение точки начала выкладки и вектора ориентации. Опционально – оптимизация раскроя на ширине рулона.	Технолог	CAD
	Создание набора данных для лазерных проекционных систем	Создание калибровочного файла и файла данных для лазерных проекционных систем.	Технолог	CAD
	Подготовка 2D документации	Формирование альбома и таблицы слоев.	Технолог	CAD
	Подготовка программы ЧПУ	Создание программы ЧПУ, постпроцессинг, валидация программы.	Программист ЧПУ	CAM
	Разработка технологического процесса	Описание иерархии технологического процесса, расщепки, основных и вспомогательных материалов, оборудования, привязка подготовленных наборов данных к операциям.	Технолог	CAPP PDM

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

Применение платформенных решений, объединяющих разные классы программного обеспечения, позволяет существенно ускорить процесс разработки – от материала до готового изделия. Такие платформы формируют единый цифровой контур разработки, обеспечивая сквозную интеграцию инструментов моделирования и управления данными. Данные системы предназначены для связывания входных и выходных данных программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга), что повышает степень автоматизации и обеспечивает прослеживаемость цифровых (виртуальных) испытаний, совершенствуя процесс математического и компьютерного моделирования.

Функциональное развитие указанных платформ направлено на расширение спектра поддерживаемых методов численного моделирования и повышение точности расчетных оценок. Для работы с композиционными материалами существует ряд решений как на мировом, так и на отечественном рынке. Разработчики продолжают развитие функциональных возможностей своих цифровых платформ, включая поддержку различных типов моделирования: конечно-элементный анализ (Finite Element Analysis, FEA), вычислительная гидродинамика (Computational Fluid Dynamics, CFD), метод дискретных элементов (Discrete Element Method, DEM) и т.д. В Таблице 16 рассмотрены некоторые наиболее распространенные цифровые платформы, применяемые при разработке цифровых моделей материалов и изделий.

Таблица 16. Перечень цифровых платформ, применяемых при разработке цифровых моделей материалов и изделий

№	Наименование и разработчик цифровой платформы	Краткое описание и функциональные возможности
В мире		
1	Fibersim, Siemens PLM Software [646]	Специализированное программное решение для проектирования композитных конструкций, применяемое в аэрокосмической, автомобильной, судостроительной и других высокотехнологичных отраслях промышленности. Основные функциональные возможности включают:

№	Наименование и разработчик цифровой платформы	Краткое описание и функциональные возможности
		• высокоточное моделирование процессов укладки композиционных материалов на сложные геометрические поверхности, включая многослойные структуры и мультиаксиальные ткани; • обеспечение сквозного обмена данными между инженерами-конструкторами и инженерами-расчетчиками, включая передачу параметров мультиаксиальных тканей и наполнителей (специфических характеристик); • автоматизацию разработки конструкторской и технологической документации, в том числе за счет инструментов работы со спецификациями сбегов между зонами постоянной толщины (например, Visual Stagger Editor).
2	Ansys WorkBench [647], Ansys Granta MI [648], Ansys (с 2025 года входит в Synopsys)	Ansys Workbench Environment – программный комплекс с простым в использовании и интеграции программ интерфейсом, позволяющий создавать собственные расчетные приложения на платформе ANSYS и совместно использовать CAD/CAE/PDM-модули. Ansys Granta MI представляет собой централизованную систему управления данными о материалах, обеспечивающую хранение, верификацию и повторное использование сведений о волокнах, металлах, полимерах и композиционных материалах с их последующим применением в CAD-, CAE- и PLM-модулях/системах. Реализация концепции «единого источника достоверных данных» (Golden Source), лежащая в основе Granta MI, позволяет интегрировать собственные и внешние библиотеки материалов, обеспечивая прослеживаемость данных – от результатов испытаний до их использования в расчетных моделях, – и, как следствие, снижать затраты, риски и сроки вывода продукции на рынок.
3	Digimat [649], MSC Software, Hexagon	Комплексное программное решение для многоуровневого моделирования композиционных материалов и конструкций, проведения цифровых испытаний и моделирования процессов их изготовления. Модули Digimat-MF & Digimat-FE предназначены для построения моделей материала на микроуровне и определения нелинейных анизотропных характеристик многофазных сред. Digimat-VA обеспечивает цифровое моделирование испытаний образцов из слоистых композиционных материалов с целью определения их расчетных характеристик. Digimat-NC предназначен для проведения цифровых (виртуальных) испытаний сэндвич-панелей при различных видах нагружения, включая трехточечный и четырехточечный изгиб, а также сдвиг в плоскости и др.
4	pSeven [650], pSeven SAS	pSeven – независимое программное обеспечение на рынке инструментов интеграции процессов и оптимизации конструкций (PIDO, Process Integration and Design Optimization) и сред совместной разработки. Флагманские решения – pSeven Desktop и pSeven Enterprise. pSeven Desktop представляет собой приложение для интеграции и автоматизации pCAD/CAE и других инженерных инструментов, а также задач оптимизации проектирования и предиктивного моделирования. pSeven Enterprise – облачная low-code платформа, разработанная для автоматизации инженерных расчетных процессов с возможностью масштабирования нагрузки и организации корпоративной среды совместной разработки.
В России		
5	Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® [651], ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»	ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг», разработчик платформы, является лидером развития технологии цифровых двойников и SPDM-систем на российском рынке. Цифровая платформа CML-Bench® – SPDM-система, представляет собой цифровую платформу по разработке и применению цифровых двойников высокотехнологичных изделий, материалов и физико-механических / технологических процессов, эксплуатационных режимов и специализированных бизнес-процессов. Платформа включает подсистему CML-Bench.Composites [182]. Главным принципом архитектуры платформы выступает модульность и возможность «бесшовного» подключения внешних программных CAx-систем. В цифровую платформу CML-Bench® интегрировано 225+ лицензий CAx-систем, включая Логос (Аэродинамика, Гидродинамика, Прочность, Тепло), QuantorForm, Elcut, Fidesys, FlowVision, Универсальный механизм УМ и др. Также среди важных функциональных возможностей для моделирования композиционных материалов и изделий из них можно выделить: • Моделирование механики (линейной и нелинейной); • Моделирование гидро- и газодинамики, электромагнетизма; • Управление моделью изделия из полимерных композиционных материалов как сборочной единицы, включающей ламинаты, заполнители, вклеиваемые детали, геометрические модели материалов;

№	Наименование и разработчик цифровой платформы	Краткое описание и функциональные возможности
		и другие.
6	Логос [652], ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Госкорпорация «Росатом»	Платформа для математического моделирования и инженерного анализа «Логос» включает ряд модулей, таких как «Логос Аэро-Гидро», «Логос Тепло», «Логос Прочность» и пр. Модуль «Логос Прочность» поддерживает моделирование конструкций из композиционных материалов с учетом анизотропии и слоистой структуры. Программный комплекс ориентирован на решение задач численного моделирования физико-механического поведения конструкций в высокотехнологичных отраслях промышленности. Некоторые из ключевых функций: - Определение напряженно-деформированного состояния – позволяет создавать модели механических объектов, проводить расчеты напряжений и деформаций. Это позволяет инженерам определить, какие нагрузки и воздействия могут привести к разрушению объекта, и смоделировать различные условия его работы; - Анализ усталости – включает инструменты для анализа усталости объектов. Они позволяют определить, какие нагрузки и деформации могут привести к появлению трещин и разрушению объекта в процессе эксплуатации; - Моделирование динамических нагрузок – позволяет моделировать динамические нагрузки на объекты, такие как вибрация и удары; - Оптимизация конструкции – предоставляет инструменты для оптимизации конструкции объектов. Они позволяют инженерам находить наилучшее решение, т.е. такую комбинацию входных параметров, которая обеспечивает минимизацию (или максимизацию) целевого функционала с учетом имеющихся ограничений. Например, проводить анализ на прочность конструкции и определять, какие изменения могут быть внесены. В результате оптимизации конструкции по массе сокращается избыток прочности (в пределах не ниже минимального уровня), что может повысить экономическую эффективность разработки; - Имитация различных условий – позволяет имитировать различные условия эксплуатации объектов, такие как температура, влажность и другие параметры.
7	САРУС+ Композиты, ООО «ТопС Бизнес Интегратор» (входит в ООО «ННК») [653]	В 2025 году Национальная компьютерная корпорация представила новый модуль PLM-системы «САРУС+ Композиты», предназначенный для проектирования и технологической подготовки производства изделий из композиционных материалов. Среди основных функциональных возможностей: - Работа с укладками полимерного композиционного материала – обеспечивает инструменты проектирования структуры слоев, позволяя оперативно вносить изменения в конструкцию изделия; - Анализ укладки – обеспечивает возможность анализа отклонения волокон в процессе выкладки слоев, а также автоматизированный расчет массы и моментов инерции детали с учетом производственных ограничений и примененных технологических операций, исключая погрешности ручных расчетов; - Технологическая подготовка производства – обеспечивает моделирование процессов выкладки композиционных материалов с выявлением и устранением потенциальных дефектов еще на стадии проектирования; - Экспорт данных и поддержка ОС Astra Linux – модуль полностью совместим с Astra Linux без использования эмуляторов, что обеспечивает стабильность работы, соответствие требованиям отечественных ИТ-стандартов, а также упрощает интеграцию системы в существующую ИТ-инфраструктуру предприятий.
8	Манипула, НОЦ «СИМПЛЕКС», МГТУ им. Н.Э. Баумана [654]	Программный комплекс Манипула (Manipula/SMCM 4.0) предназначен для конечно-элементного многомасштабного моделирования (на микро-, мезо- и макроуровнях) композиционных материалов, композитных конструкций и технологий их изготовления: - Комплекс включает средства пре- и постпроцессинга и поддерживает расчёты на распределённых высокопроизводительных вычислительных системах; - Имеются собственные генераторы сеток, а также поддерживается импорт сеток, построенных внешними генераторами, в том числе из ПК ANSYS; - Имеется большая библиотека модулей для моделирования свойств композиционных материалов, в том числе нелинейных, упруго-пластических, вязкоупругих и нелинейных с конечными деформациями;

№	Наименование и разработчик цифровой платформы	Краткое описание и функциональные возможности
		- Возможность моделирования укладки тканевых армирующих наполнителей на сложные поверхности, и учет укладки при решении задач макро-анализа композитных конструкций. Возможность моделирования процессов инфузии, RTM, моделирование отверждения полимерных композитных конструкций и расчета технологических напряжений и дисторсии при изготовлении; - Имеются собственные генераторы сеток, а также поддерживается импорт сеток, построенных внешними генераторами, в том числе из ПК ANSYS. Программный комплекс «Манипула» обеспечивает возможность применения универсальных моделей, определяющих соотношений для компонентов композиционного материала, задающих сразу несколько классов нелинейной связи между тензором напряжений Пиолы – Кирхгофа и градиентом деформаций в рамках разных энергетических пар тензоров напряжений-деформаций и др.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

5.2.2. Технологические цепочки от исследований и разработок цифрового двойника материала до инжиниринга изделий

В общем случае технологическая цепочка «Цифровой двойник композиционного материала (ЦДКМ) – Инжиниринг изделий» описывается следующим порядком:

- Исследование материалов: сбор данных, эксперименты, разработка моделей;
- Разработка ЦДКМ: моделирование свойств, верификация и валидация моделей;
- Интеграция ЦДКМ в процессы проектирования и моделирования изделий;
- Оптимизация конструкций и технологических процессов с использованием ЦДКМ;
- Инжиниринг изделий.

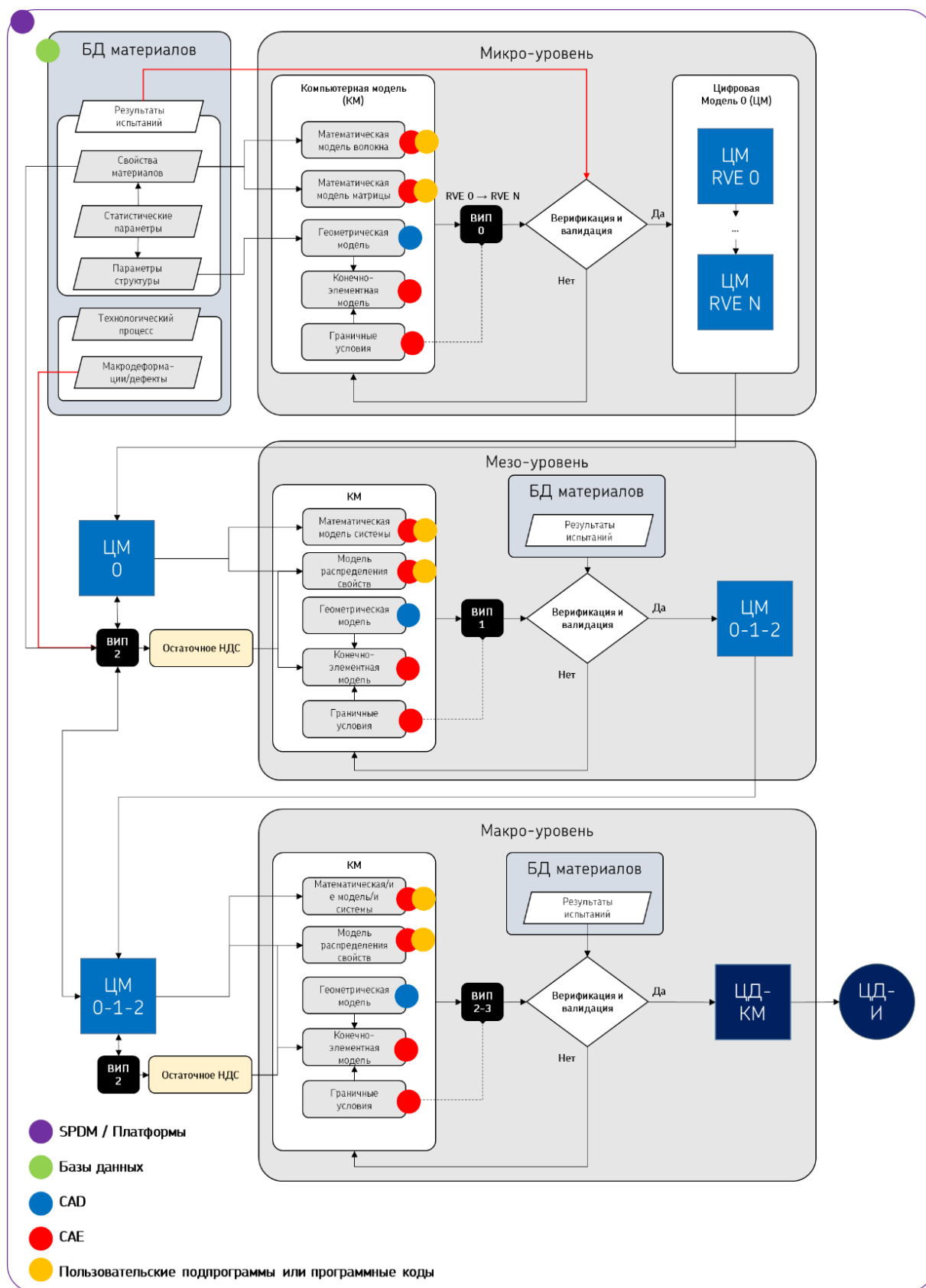
На рисунке 33 приведен пример технологической цепочки в части разработки цифрового двойника материала для инжиниринга изделий с учетом применения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов. Исходные данные для последующих этапов формируются на стадии исследования материалов и передаются в процессы разработки ЦДКМ.

Интеграция ЦДКМ в процессы проектирования и моделирования изделия осуществляется по завершении стадий разработки ЦДКМ. При разработке ЦДКМ рассматривается моделирование на трех основных масштабных уровнях, на каждом из которых разрабатывается соответствующая цифровая модель.

Цифровая модель материала на каждом уровне жизненного цикла разрабатываемого ЦД изделия содержит математические и компьютерные модели, прошедшие процедуры верификации и валидации по результатам цифровых испытаний с применением цифровых (виртуальных) испытательных полигонов (ВИП) или их совокупности. Так, например, в соответствии с рисунком 32, цифровая модель материала на мезоуровне, выделенная на рисунке 33, формируется на основе ВИП 1 и соответствующих ВИС 1–7, а также может включать результаты цифровых испытаний, полученных с применением ВИП 2.

Полученная цифровая модель материала передается в ЦД изделия как набор данных для моделирования конечно-элементных моделей, включая типы конечных элементов, способы задания структуры, типы контактов, распределение свойств и дефектов и др.

Рисунок 33. Технологическая цепочка цифрового двойника материала – Инжиниринг изделий (с учетом цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов)



Описание интеграции CAD/CAM/CAE-систем в процессе разработки цифрового двойника композиционного материала в контексте цифрового двойника изделия

Для разработки математических моделей используется программное обеспечение класса CAE и пользовательские подпрограммы (программные коды) для математического описания и внедрения в CAE-системы. Для геометрических моделей используются программы твердотельного моделирования класса CAD. Многие платформенные решения, например, ANSYS WorkBench, имеют связанные возможности CAD- и CAE-систем для разработки геометрических и конечно-элементных моделей. Цифровая модель материала передается в ЦД изделия как набор данных для моделирования конечно-элементных моделей (тип элементов, способы задания структуры, типы контактов, распределение свойств и дефектов и т.д.), а также в виде отдельной «субмодели» материала с «достоверными» параметрами, описывающими его свойства в зависимости от исследуемого воздействия или совокупности воздействий и механизмы их распределения.

Переход между уровнями обеспечивается за счет разработки связанных математических, компьютерных, цифровых моделей каждого уровня и программных кодов, описывающих эти модели. Программные коды разрабатываются в двух форматах: первый обеспечивает процесс разработки математических моделей и расчета их параметров и реализуется посредством верхнеуровневых языков программирования, например Python или VBA, второй – описывает эти математические модели для программного обеспечения класса CAE на языке программирования Fortran и других.

Оптимальный результат в части моделирования свойств достигается при правильной декомпозиции ВИС, разработки согласованных программных кодов для расчета параметров математических моделей и интеграции в CAE-системы и соответствующей им методики компьютерного моделирования.

В случае использования встроенных в программный продукт математических моделей и невозможности включения разработанных пользовательских моделей посредством разработки упомянутых программных кодов возникает проблема идентификации параметров модели материалов. Она решается путем их подбора при процедуре валидации ВИС, что является трудоемким процессом. Такой способ не обеспечивает необходимую точность моделирования, так как возможности встроенных моделей не поддерживают некоторые функции.

Проблема с трудоемкостью подбора неизвестных параметров может быть решена посредством включения в технологическую цепочку алгоритмов оптимизации. Для проведения такой оптимизации главной задачей является разработка самих математических моделей материалов. Они разрабатываются на основе экспериментальных данных, поэтому качество и количество этих данных напрямую влияет на результат. При работе с экспериментальными данными недостаточного качества необходимо учитывать погрешности, возникающие в связи с использованием испытательного и измерительного оборудования. Измерительное оборудование чаще всего имеет высокий класс точности, однако при использовании испытательного оборудования в ряде случаев возможно искажение данных за счет податливости оснастки, проскальзывания зажимов, что критично при измерении деформаций через перемещения. Также особое влияние на качество данных оказывает качество изготовления самих образцов.

Оптимального результата в части получения данных о свойствах конкретного материала можно достичь, когда математическая модель первого приближения, программа и методика испытаний разрабатываются в совокупности и с учетом имеющегося лабораторно-технического обеспечения.

Описание технологий построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов для проведения цифровых испытаний изделий из композиционных материалов

В контексте приведенных примеров (рисунки 31–33) ВИС и ВИП являются последовательностью решения

задачи моделирования свойств материала изделия с учетом технологического процесса. Начальной точкой разработки ВИС и ВИП ЦДКМ является задача, решаемая в ВИП 1 ВИС 1 – моделирование статических свойств. В этом ВИС появляется модель на мезоуровне (m-уровень) с исходными данными для моделирования на макро- (M-уровень) и конечными данными для микроуровня (μ -уровень). Это позволяет в дальнейшем связать μ -уровень описания микронеоднородного композиционного материала и M-уровень описания изделия, представляющего собой композитную структуру, что в дальнейшем позволит заменить его эквивалентной («эффективной») гомогенизированной средой (для связи между уровнями применяется «мост» (μ -M bridge) между μ - и M-уровнями, микро- и макро- уровнями, именно для этого служит мезоуровень (m-уровень)) [3]. На данном этапе определяются базовые свойства системы материалов и цифровая модель, что позволяет изучить особенности моделируемого композиционного материала для последующего построения элементов ВИП ЦДКМ.

Моделируемыми свойствами в ВИС 1 для случая описания полимерного композиционного материала, армированного непрерывными волокнами и изготавливаемого методом выкладки препрега, являются свойства данного материала в плоскости слоя, которые в том числе подлежат экспериментальному исследованию (например, методами для определения данных свойств по группе стандартов ASTM). Таким образом, компонентами ВИП 1 ВИС 1 являются связанные определенной последовательностью следующие модельные задачи в соответствии со стандартами:

- ASTM D-3039 – моделирование продольных, поперечных свойств при растяжении [655];
- ASTM D-3410 – моделирование продольных и поперечных свойств при сжатии [656];
- ASTM D-3518 – моделирование свойств сдвига в плоскости слоя [657].

Последовательность данных модельных задач заключается в два расчетных контура:

- Первый контур – определение свойств в плоскости слоя (продольные/поперечные при растяжении/сжатии и свойства при сдвиге);
- Второй контур (переходный к макроуровню) – моделирование свойств.

После валидации на втором контуре формируется модель, которая включает особенности статического отклика жесткостных и прочностных свойств слоистой структуры при одноосном напряженно-деформированном состоянии.

Получаемая таким образом цифровая модель является необходимой и достаточной для своего последующего развития по прямой задаче моделирования свойств – развитие и обобщение в ВИС 2–7, переход на макроуровень и определение/моделирование свойств в конструктивно-подобных образцах, и обратной – переход на микроуровень с целью включения в «идеальную модель» ВИС 1 структурных неоднородностей и особенностей свойств данного уровня.

В России ведущими исследовательскими центрами в области композиционных материалов (в частности термопластов) выступают АО «Композит» (Роскосмос), АО «ЦНИИСМ», АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ), АО «НИИГрафит» (ГК «Росатом»), АО «НПО «Стеклопластик», Институт новых углеродных материалов и технологий МГУ им. М.В. Ломоносова (АО «ИНУМиТ»), ГНЦ ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (ЦИАМ, входит в «Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского»), АО «Институт пластмасс имени Г.С. Петрова» (входит в Госкорпорацию «Ростех»), Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова и др. Также можно выделить некоторые профильные структуры – Центр НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Передовую инженерную школу СПбПУ «Цифровой инжиниринг» [3] и др.

Мировые научно-исследовательские центры, лидеры по данной тематике – Исследовательский центр в

области разработки композиционных материалов (ThermoPlastic composites Research Center, TPRC; Нидерланды), Королевский голландский аэрокосмический центр (Royal NLR Netherlands Aerospace Centre, NLR; Нидерланды), Немецкий центр авиации и космонавтики (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., DLR; Германия) и др. [3]

Проведенное исследование показывает, что для обеспечения ускоренного развития технологии разработки цифровых двойников материалов и изделий путем совершенствования (синтеза/общего развития) методологических и материальных ресурсов необходимо создание единой цифровой платформы класса SPDM с интеграцией обширной базы данных о свойствах материалах. Это открывает возможности последующего экспорта компонентов цифрового двойника материала в открытый доступ с целью обеспечения двусторонней связи между цифровой моделью и реальным объектом (материалом) при разных вариантах эксплуатации (подтверждение соответствия более чем в одном изделии). Помимо данного программного обеспечения необходима разработка нормативных документов, регулирующих положения и порядок разработки цифровых двойников материалов и изделий, а также подходов к ранжированию экспериментальных (или исходных) данных относительно их уровня качества. С появлением таких нормативных документов будут закреплены требования к математическим, компьютерным и цифровым моделям материала, которые, в свою очередь, определяют вектор развития программного обеспечения для инженерного анализа материалов и изделий.

Одним из ключевых вызовов на пути создания единой цифровой платформы является вопрос принадлежности данных, полученных в ходе разработки материалов. Разработчики, как правило, не готовы к открытому обмену информацией. Кроме того, значительная часть информации о передовых материалах не подлежит открытому распространению, поскольку относится к категории материалов двойного назначения или защищена коммерческой тайной. Однако применение платформенных решений и технологий цифровых двойников материалов и изделий может быть успешно реализовано на корпоративном уровне.

В новых экономических условиях конкурентоспособность решений напрямую связана с развитием технологий разработки цифровых двойников. Без их применения процесс создания новых изделий и новых материалов становится более ресурсозатратным и длительным за счет необходимости проведения большого количества натурных испытаний. Цифровые двойники выступают ключевым инструментом для решения стратегических задач в области обеспечения технологического суверенитета и технологического лидерства России.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СВОДНАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕМА МИРОВОГО РЫНКА
НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ЕГО СЕГМЕНТОВ

Таблица 17. Сводная оценка объема мирового рынка новых материалов, сегментов и подсегментов рынка, 2023–2035 гг., млрд долл.

№ п/п	Объем рынка / сегмента, млрд долл.	2023	2024	2025	2026*	2027*	2028*	2029*	2030*	2031*	2032*	2033*	2034*	2035*	CAGR
–	Новые материалы (Advanced Materials)	306,56	329,62	355,97	384,25	415,48	449,54	486,66	527,15	571,78	619,37	673,11	731,70	794,94	8,37%
1.	Передовые композиционные материалы (Advanced Composite Materials)	39,97	42,25	46,03	50,07	54,55	59,45	64,81	70,67	77,08	84,09	91,97	101,15	110,57	9,16%
2.	Передовые керамические материалы (Advanced Ceramics)	64,93	69,18	73,74	78,41	83,64	89,26	95,25	101,73	108,64	116,00	124,50	133,12	142,10	6,78%
3.	Передовые полимеры (Advanced Polymers Materials)	53,57	58,72	64,39	70,64	77,53	85,12	93,51	102,76	112,98	124,27	136,28	150,04	165,26	9,88%
3.1.	Проводящие полимеры (Conductive polymers)	4,98	5,38	5,81	6,28	6,83	7,39	7,98	8,64	9,33	10,09	10,88	11,78	12,63	8,08%
3.2.	Стимул-чувствительные полимеры (Stimuli-Responsive Polymers)	9,60	10,58	11,86	13,35	15,09	17,14	19,55	22,39	25,86	29,88	34,55	40,37	47,14	14,80%
3.2.1.	Полимеры с памятью формы (Shape-memory Polymers)	1,99	2,25	2,56	2,90	3,31	3,78	4,33	4,98	5,73	6,63	7,64	8,89	10,35	15,02%
3.2.2.	Самовосстанавливающиеся полимеры (Self-healing / Self-repairing Polymers)	2,57	2,96	3,58	4,33	5,25	6,39	7,77	9,45	11,50	14,03	17,14	21,04	25,61	21,76%
3.2.3.	Электроактивные полимеры (Electroactive Polymers)	5,03	5,37	5,73	6,12	6,53	6,98	7,45	7,96	8,62	9,22	9,77	10,45	11,18	6,91%
3.3.	Полимеры для экстремальных условий и барьерных применений	15,24	16,08	16,97	17,90	18,89	19,93	21,03	22,20	23,42	25,09	26,48	27,94	29,49	5,68%
3.3.1.	Высокотемпературные полимеры (High-temperature Polymers)	12,44	13,13	13,85	14,62	15,42	16,27	17,17	18,12	19,12	20,39	21,52	22,71	23,97	5,64%
3.3.2.	Полимеры с высокими барьерными свойствами (High-barrier polymers)	2,80	2,95	3,12	3,29	3,47	3,66	3,86	4,07	4,30	4,70	4,96	5,23	5,52	5,50%
3.4.	Полимеры для аддитивного производства (Polymers for additive manufacturing / 3D Printing Plastics)	1,38	1,64	1,95	2,33	2,78	3,33	3,99	4,79	5,75	6,93	8,52	10,26	12,37	20,28%
3.5.	Прочие полимеры	22,38	25,04	27,80	30,78	33,93	37,33	40,96	44,75	48,62	52,29	55,84	59,68	63,63	8,63%
4.	Передовые стекла (Advanced Glasses)	72,31	77,07	82,17	87,48	93,30	99,52	106,19	113,30	120,94	128,24	137,16	146,52	156,56	6,66%
5.	Передовые металлы и сплавы (Advanced Metals & Alloys)	75,79	82,41	89,64	97,64	106,46	116,18	126,89	138,69	152,14	166,76	183,20	200,88	220,45	9,42%

№ п/п	Объем рынка / сегмента, млрд долл.	2023	2024	2025	2026*	2027*	2028*	2029*	2030*	2031*	2032*	2033*	2034*	2035*	CAGR
5.1.	Высокоэффективные сплавы (High Performance Alloys)	12,14	12,65	13,18	13,79	14,43	15,11	15,82	16,57	17,39	18,21	19,08	19,99	20,95	4,74%
5.2.	Функциональные металлы и сплавы	10,48	11,31	12,21	13,18	14,23	15,37	16,60	17,94	19,39	21,04	22,79	24,66	26,67	8,13%
5.2.1.	Магнитные сплавы (Magnetic Alloys)	0,97	1,05	1,14	1,23	1,33	1,44	1,56	1,69	1,83	1,98	2,14	2,32	2,50	8,20%
5.2.2.	Сверхпроводящие сплавы ниобий-титан (NbTi Superconducting Alloys)	0,46	0,52	0,58	0,64	0,72	0,80	0,90	1,00	1,12	1,25	1,39	1,55	1,74	11,66%
5.2.3.	Термоэлектрические сплавы (Thermoelectric Alloys)	1,03	1,13	1,23	1,35	1,47	1,61	1,76	1,93	2,11	2,31	2,50	2,76	3,02	9,38%
5.2.4.	Сплавы с регулируемым расширением (Controlled-Expansion Alloys)	1,14	1,20	1,27	1,34	1,41	1,49	1,58	1,66	1,76	1,94	2,01	2,13	2,25	5,90%
5.2.5.	Высокочистые металлы (High Purity Metals)	6,87	7,41	7,99	8,62	9,29	10,02	10,81	11,66	12,57	13,56	14,75	15,91	17,16	7,94%
5.3.	Стимул-чувствительные металлы и сплавы (Stimuli-Responsive Metals & Alloys)	17,38	19,35	21,53	23,97	26,68	29,74	33,14	36,95	41,41	46,22	51,78	57,80	64,58	11,61%
5.3.1.	Сплавы с памятью формы (Shape Memory Alloys)	14,89	16,65	18,60	20,79	23,24	26,01	29,10	32,57	36,65	41,06	46,22	51,79	58,05	12,06%
5.3.2.	Магнитострикционные сплавы (Magnetostrictive Alloys)	1,11	1,20	1,30	1,41	1,53	1,66	1,80	1,96	2,12	2,30	2,50	2,71	2,94	8,50%
5.3.3.	Аморфные металлы, включая металлические стекла (Amorphous Metals, including Metallic Glasses)	1,38	1,50	1,63	1,76	1,91	2,07	2,24	2,43	2,63	2,85	3,06	3,31	3,58	8,23%
5.4.	Металлопорошки для аддитивного производства (Metals Powders)	7,93	8,44	8,99	9,57	10,19	10,86	11,58	12,34	13,15	14,03	14,98	15,96	17,01	6,58%
5.5.	Прочие металлы и сплавы	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ИГРОКОВ МИРОВОГО РЫНКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО СЕГМЕНТАМ

Таблица 18. Сводный перечень основных игроков мирового рынка новых материалов по сегментам¹⁵

№ п/п	Название компании	Сегменты рынка новых материалов ¹⁶				
		КМ	К	П	С	МиС
1	3M Company (США)	✓	✓	✓	–	–
2	Advanced Technology & Materials Co., Ltd. (Antai Technology, AT&M, входит в China Iron and Steel Research Institute Group (CISRI), Китай)	✓	–	–	–	✓
3	ATI Inc. (США)	–	–	–	–	✓
4	BASF SE (Германия)	✓	–	✓	–	✓
5	Carpenter Technology Corporation (США)	–	–	–	–	✓
6	CeramTec GmbH (Германия)	✓	✓	–	–	–
7	Corning Incorporated (США)	–	✓	–	✓	–
8	DuPont de Nemours, Inc. (США)	✓	–	✓	–	✓
9	Fuyao Glass Industry Group Co., Ltd. (Китай)	–	–	–	✓	–
10	Hexcel Corporation (США)	✓	–	✓	–	–
11	KYOCERA Corporation (Япония)	✓	✓	–	–	✓
12	Mitsubishi Group, включая дочерние компании (Япония)	✓	✓	✓	✓	✓
13	Morgan Advanced Materials plc (Великобритания)	–	✓	–	✓	✓
14	Murata Manufacturing Company, Ltd. (Япония)	✓	✓	✓	✓	–
15	Proterial, Ltd. (ранее – Hitachi Metals, Ltd., Япония)	–	✓	–	–	✓
16	Saudi Basic Industries Corporation (SABIC, входит в Saudi Aramco, Саудовская Аравия)	✓	–	✓	–	–
17	Compagnie de Saint-Gobain S.A. (Франция)	✓	✓	✓	✓	–
18	Sandvik AB (Швеция)	–	✓	–	–	✓
19	Solvay S.A. (Бельгия)	–	–	✓	–	–
20	Syensqo (Бельгия)	✓	–	✓	–	–
21	Teijin Ltd. (Япония)	✓	–	✓	–	–
22	Toray Industries, Inc. (Япония)	✓	✓	✓	–	–
23	3D Systems Corporation	–	–	✓	–	–
24	МКПАО «ОК РУСАЛ»	–	–	–	–	✓
25	Abrisa Technologies Inc.	–	–	–	✓	–
26	ABTECH Scientific Inc.	–	–	✓	–	–
27	Acerinox	–	–	–	–	✓
28	Advanced Ceramics Manufacturing	–	✓	–	–	–
29	Advanced Composites Inc.	✓	–	–	–	–
30	Agfa-Gevaert N.V.	–	–	✓	–	–
31	AGY Holdings Corp.	✓	–	–	–	–

¹⁵ В таблице обозначенные символом «✓» сегменты рынка приведены в соответствии с информацией, представленной в экспертно-аналитических докладах консалтинговых и аналитических организаций, приведенных в Главе 1 (за исключением первых 22 ключевых игроков рынка, подробнее рассмотренных в Главе 2). В таблице указаны только те компании, упоминание которых встречалось в обозначенных экспертно-аналитических исследованиях 2 раза и более.

¹⁶ Сегменты рынка новых материалов включают:

КМ – передовые композиционные материалы (Advanced Composite Materials);

К – передовые керамические материалы (Advanced Ceramics);

П – передовые полимеры (Advanced Polymers Materials);

С – передовые стекла (Advanced Glasses);

МиС – передовые металлы и сплавы (Advanced Metals & Alloys).

№ п/п	Название компании	Сегменты рынка новых материалов ¹⁶				
		КМ	К	П	С	МиС
32	AkzoNobel N.V.	–	–	✓	–	–
33	Alcoa Corporation	–	–	–	–	✓
34	Allegheny Technologies Incorporated	–	–	–	–	✓
35	Amcor Limited	–	–	✓	–	–
36	American Chemet Corporation	–	–	–	–	✓
37	American Elements	–	–	–	–	✓
38	American Precision Glass Corp.	–	–	–	✓	–
39	Ames Goldsmith Corporation	–	–	–	–	✓
40	AMETEK Inc.	–	–	–	–	✓
41	Aperam S.A.	–	–	–	–	✓
42	Applied Ceramics Inc.	–	✓	–	–	–
43	ArcelorMittal S.A.	–	–	–	–	✓
44	Arkema S.A.	✓	–	✓	–	–
45	Asahi Glass Co., Ltd.	–	–	–	✓	–
46	Asahi Kasei Corporation	–	–	✓	–	–
47	Aubert & Duval	–	–	–	–	✓
48	Autonomic Materials Inc.	–	–	✓	–	–
49	Avient Corporation	–	–	✓	–	–
50	Blasch Precision Ceramics Inc.	–	✓	–	–	–
51	Bruker Corporation	–	–	–	–	✓
52	Cabot Microelectronics Corporation	–	–	✓	–	–
53	Cardinal Glass Industries	–	–	–	✓	–
54	Celanese Corporation	–	–	✓	–	–
55	Central Glass Co. Ltd.	–	–	–	✓	–
56	Ceradyne Inc.	–	✓	–	–	–
57	Coherent Corp. (панель – II-VI Incorporated)	–	–	–	–	✓
58	Composite Technology Development, Inc.	–	–	✓	–	–
59	CompPair Technologies SA	–	–	✓	–	–
60	Continuum Powders	–	–	–	–	✓
61	CoorsTek Inc.	–	✓	–	–	–
62	Cornerstone Research Group, Inc.	–	–	✓	–	–
63	Covestro AG	–	–	✓	–	–
64	CRS Holdings Inc.	–	–	–	–	✓
65	Daido Steel Co., Ltd.	–	–	–	–	✓
66	Dow Inc.	✓	–	✓	–	–
67	DSM N.V.	–	–	✓	–	–
68	DYNALLOY Inc.	–	–	–	–	✓
69	Eastman Chemical Company	–	–	✓	–	–
70	Eeonyx Corporation	–	–	✓	–	–
71	Elan Technology	–	✓	–	–	–
72	EndoShape Inc.	–	–	✓	–	–
73	Ensinger GmbH	–	–	✓	–	–
74	Envisiontec Inc.	–	–	✓	–	–
75	EOS GmbH	–	–	✓	–	–
76	Eramet Group	–	–	–	–	✓
77	EUROFLEX GmbH	–	–	–	–	✓
78	Evonik Industries AG	✓	–	✓	–	–
79	ExOne Company	–	–	–	–	✓
80	Ferrotec Holdings Corporation	–	✓	–	–	–
81	FormLabs Inc.	–	–	✓	–	–
82	Formosa Plastics Corporation	✓	–	–	–	–
83	Fort Wayne Metals Inc.	–	–	–	–	✓
84	Fujikura Ltd.	–	–	–	–	✓

№ п/п	Название компании	Сегменты рынка новых материалов ¹⁶				
		КМ	К	П	С	МиС
85	Furukawa Electric Co., Ltd.	–	–	–	–	✓
86	Fushun Special Steel Co. Ltd.	–	–	–	–	✓
87	G.RAU GmbH & Co. KG	–	–	–	–	✓
88	Gentex Corporation	–	–	–	✓	–
89	GGP Metal powder AG	–	–	–	–	✓
90	GKN plc	–	–	–	–	✓
91	Guangzhou Manborui Materials Technology Co., Ltd.	–	–	✓	–	–
92	Guardian Industries LLC	–	–	–	✓	–
93	Gurit Holding AG	✓	–	–	–	–
94	H.C. Starck GmbH	–	–	–	–	✓
95	Haynes International Inc.	–	–	–	–	✓
96	Henkel AG & Co. KGaA	–	–	✓	–	–
97	Heraeus Holding GmbH	–	–	✓	–	✓
98	Hexion Inc.	✓	–	–	–	–
99	HiFraser	–	–	–	–	✓
100	High Performance Alloys, Inc.	–	–	–	–	✓
101	Höganäs AB	–	–	–	–	✓
102	Honeywell International Inc.	✓	–	✓	–	–
103	HP Inc.	–	–	✓	–	–
104	Huntsman International LLC	✓	–	✓	–	–
105	Hyperion Catalysis International	–	–	✓	–	–
106	Indium Corporation	–	–	–	–	✓
107	International Ceramics Inc.	–	✓	–	–	–
108	International Syalons (Newcastle) Ltd.	–	✓	–	–	–
109	JASTEC Co., Ltd.	–	–	–	–	✓
110	JFE Holdings, Inc.	–	–	–	–	✓
111	Johnson Matthey plc	–	–	–	–	✓
112	JSC POLEMA	–	–	–	–	✓
113	KEMET Corporation	–	–	✓	–	–
114	Kenner Material & System Co. Ltd.	–	–	✓	–	–
115	Kineco Kaman Composites	✓	–	–	–	–
116	KIS Wire	–	–	–	–	✓
117	Koch Industries Inc.	–	–	–	✓	–
118	Kolon Industries Inc.	✓	–	–	–	–
119	Koninklijke Ten Cate B.V.	✓	–	–	–	–
120	Kuraray Co., Ltd.	–	–	✓	–	–
121	Kureha Corporation	–	–	✓	–	–
122	Kymera International	–	–	–	–	✓
123	Laird Thermal Systems	–	–	–	–	✓
124	LG Chem Ltd.	–	–	✓	–	–
125	Linde PLC	–	–	–	–	✓
126	LPW Technology Ltd.	–	–	–	–	✓
127	Luvata	–	–	–	–	✓
128	MacDermid Inc.	–	–	✓	–	–
129	Maher Limited	–	–	–	–	✓
130	MARUWA Co. Ltd.	–	✓	–	–	–
131	Materialise NV	–	–	✓	–	–
132	Materion Corporation	–	✓	–	–	✓
133	McDanel Advanced Material Technologies LLC	–	✓	–	–	–
134	MedShape, Inc.	–	–	✓	–	–
135	Merck KGaA	–	–	✓	–	–
136	Metaldyne Performance Group Inc.	–	–	–	–	✓
137	Metalwerks, Inc.	–	–	–	–	✓

№ п/п	Название компании	Сегменты рынка новых материалов ¹⁶				
		КМ	К	П	С	МиС
138	Metalysis Ltd.	–	–	–	–	✓
139	Modison Limited	–	–	–	–	✓
140	MolyWorks Materials Corporation	–	–	–	–	✓
141	Momentive Performance Materials Inc.	✓	–	✓	–	–
142	Nanoshel LLC	–	–	✓	–	–
143	NatureWorks LLC	–	–	✓	–	–
144	NEI Corporation	–	–	✓	–	–
145	NGK Insulators Ltd.	–	✓	–	–	–
146	Nippon Graphite Fiber Co., Ltd.	✓	–	–	–	–
147	Nippon Seisen Co., Ltd.	–	–	–	–	✓
148	Nippon Sheet Glass Co. Ltd.	–	–	–	✓	–
149	Nishimura Advanced Ceramics Co., Ltd.	–	✓	–	–	–
150	Novasentis Inc.	–	–	✓	–	–
151	ORIC S.A.S	–	–	–	–	✓
152	Ortech Advanced Ceramics	–	✓	–	–	–
153	Outokumpu Oyj	–	–	–	–	✓
154	Owens Corning Corporation	✓	–	–	–	–
155	Oxford Instruments plc	–	–	–	–	✓
156	Parker Hannifin Corp.	–	–	✓	–	–
157	Pilkington Group Limited	–	–	–	✓	–
158	Plasan Carbon Composites	✓	–	–	–	–
159	Polema Industries Limited	–	–	–	–	✓
160	PolyOne Corporation	–	–	✓	–	–
161	PPG Industries Inc.	✓	–	–	✓	–
162	Praxair Surface Technologies	–	–	–	–	✓
163	Precision Castparts Corporation	–	–	–	–	✓
164	Premix Group	–	–	✓	–	–
165	Proto Labs Inc.	–	–	✓	–	–
166	Qingdao Yunlu Advanced Materials Technology Co., Ltd.	–	–	–	–	✓
167	Rauschert GmbH	–	✓	–	–	–
168	Rieke Metals Inc.	–	–	✓	–	–
169	Rio Tinto Group	–	–	–	–	✓
170	Royal DSM N.V.	–	–	✓	–	–
171	Royal Metal Powders, Inc.	–	–	–	–	✓
172	RTI International Metals	–	–	–	–	✓
173	RTP Company	–	–	✓	–	–
174	SAES Getters S.p.A.	–	–	✓	–	✓
175	Schott AG	–	–	–	✓	–
176	Seabird Metal Materials Co., Ltd.	–	–	–	–	✓
177	SGL Carbon SE	✓	–	–	–	–
178	Shape Memory Medical Inc.	–	–	✓	–	–
179	Sika AG	–	–	✓	–	–
180	Sisecam Group	–	–	–	✓	–
181	Smiths High Performance	–	–	–	–	✓
182	SMP Technologies Inc.	–	–	✓	–	–
183	Special Metals Corporation	–	–	–	–	✓
184	Spintech Holdings, Inc.	–	–	✓	–	–
185	Stanford Materials Corporation	–	–	–	–	✓
186	Stratasys Ltd.	–	–	✓	–	–
187	Sumitomo Chemical Co., Ltd.	–	–	✓	–	–
188	Sumitomo Group	–	–	–	–	✓
189	Supercon, Inc.	–	–	–	–	✓
190	Syzygy Memory Plastics	–	–	✓	–	–

№ п/п	Название компании	Сегменты рынка новых материалов ¹⁶				
		КМ	К	П	С	МиС
191	Technocera	–	✓	–	–	–
192	The Lubrizol Corporation	–	–	✓	–	–
193	Thyssenkrupp AG	–	–	–	–	✓
194	Timken Company	–	–	–	–	✓
195	TiNi Alloy Co.	–	–	–	–	✓
196	TPI Composites Inc.	✓	–	–	–	–
197	Tyneside Safety Glass Co. Ltd.	–	–	–	✓	–
198	Ube Industries, Ltd.	–	–	✓	–	–
199	Ultimate NiTi Technologies Inc.	–	–	–	–	✓
200	Umicore	–	–	–	–	✓
201	Vacuumschmelze GmbH & Co. KG	–	–	–	–	✓
202	Victrex plc	–	–	✓	–	–
203	Vitro Architectural Glass	–	–	–	✓	–
204	Voestalpine AG	–	–	–	–	✓
205	VSMP0-AVISMA Corporation	–	–	–	–	✓
206	Wanhua Chemical Group Co., Ltd.	–	–	✓	–	–
207	Western Superconducting Technologies Co., Ltd.	–	–	–	–	✓
208	Westlake Plastics Company	–	–	✓	–	–
209	WS Atkins plc	✓	–	–	–	–
210	Xinyi Glass Holdings Limited	–	–	–	✓	–
211	Zoltek Companies	✓	–	–	–	–

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам открытых источников, 2026

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ЗАПРОСЫ ДЛЯ ПОИСКА ПАТЕНТОВ И ПУБЛИКАЦИЙ В ОБЛАСТИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 19. Запросы для поиска патентов и публикаций в области новых материалов

Передовые металлы и сплавы
Patents (5,890) = title:("superalloy") OR abstract:("superalloy") OR title:"super-alloy" OR abstract:"super-alloy" OR title:("high-temperature alloy") OR abstract:("high-temperature alloy") OR title:("heat-resistant alloy") OR abstract:("heat-resistant alloy") OR title:("refractory alloy") OR abstract:("refractory alloy") OR title:("high-entropy alloy") OR abstract:("high-entropy alloy") OR title:"HEA" OR abstract:"HEA" OR title:("complex concentrated alloy") OR abstract:("complex concentrated alloy") OR title:("magnetic alloy") OR abstract:("magnetic alloy") OR title:"niobium-titanium" OR abstract:"niobium-titanium" OR title:"NbTi" OR abstract:"NbTi" OR title:("thermoelectric alloy") OR abstract:("thermoelectric alloy") OR title:("high purity metal") OR abstract:("high purity metal") OR title:("NbTi superconducting alloys") OR abstract:("NbTi superconducting alloys") OR title:("magnetostrictive alloy") OR abstract:("magnetostrictive alloy") OR title:("shape memory alloys") OR abstract:("shape memory alloys") OR title:("metallic glass") OR abstract:("metallic glass") OR title:("bulk metallic glass") OR abstract:("bulk metallic glass") OR title:("metal powder") OR abstract:("metal powder") OR title:("alloy powder") OR abstract:("alloy powder") OR title:("powder metallurgy") OR abstract:("powder metallurgy") OR title:("advanced metals") OR abstract:("advanced metals") OR claim:("advanced metals") OR title:("advanced alloys") OR abstract:("advanced alloys") OR claim:("advanced alloys") OR title:("high performance alloys") OR abstract:("high performance alloys") OR title:("thermoelectric alloys") OR abstract:("thermoelectric alloys") OR title:("controlled-expansion alloys") OR abstract:("controlled-expansion alloys") OR title:("stimuli-responsive alloys") OR abstract:("stimuli-responsive alloys") OR title:("stimuli-responsive metals") OR abstract:("stimuli-responsive metals") Filters: Published Date = (2016-01-01 - 2025-12-31) Document Type = (Granted_patent) Legal Status = (Active)
Передовые стекла
Patents (4,179) = (title:("advanced glass") OR abstract:("advanced glass") OR claim:("advanced glass")) OR (title:("specialty glass") OR abstract:("specialty glass") OR claim:("specialty glass")) OR (title:("technical glass") OR abstract:("technical glass") OR claim:("technical glass")) OR (title:("glass-ceramic") OR abstract:("glass-ceramic") OR claim:("glass-ceramic")) OR (title:("smart glass") OR abstract:("smart glass") OR claim:("smart glass")) OR (title:("laser glass") OR abstract:("laser glass") OR claim:("laser glass")) OR (title:("bioglass") OR abstract:("bioglass") OR claim:("bioglass")) OR (title:("chalcogenide glass") OR abstract:("chalcogenide glass") OR claim:("chalcogenide glass")) OR (title:("fluoride glass") OR abstract:("fluoride glass") OR claim:("fluoride glass")) OR (title:("phosphate glass") OR abstract:("phosphate glass") OR claim:("phosphate glass")) Filters: Published Date = (2016-01-01 - 2025-12-31) Document Type = (Granted_patent) Legal Status = (Active)
Передовые керамические материалы
Patents (1,767) = title:("advanced ceramic") OR abstract:("advanced ceramic") OR title:("technical ceramic") OR abstract:("technical ceramic") OR title:("engineering ceramic") OR abstract:("engineering ceramic") OR title:("structural ceramic") OR abstract:("structural ceramic") OR title:("piezoelectric ceramic") OR abstract:("piezoelectric ceramic") OR title:"PZT" OR abstract:"PZT" OR title:"bioceramic" OR abstract:"bioceramic" OR title:("aluminum nitride") OR abstract:("aluminum nitride") OR title:"AlN" OR abstract:"AlN" Filters: Published Date = (2016-01-01 - 2025-12-31) Document Type = (Granted_patent) Legal Status = (Active)
Передовые композиционные материалы
Patents (7,532) = title:("advanced composite") OR abstract:("advanced composite") OR title:("carbon fiber reinforced polymer") OR abstract:("carbon fiber reinforced polymer") OR title:"CFRP" OR abstract:"CFRP" OR title:("glass fiber reinforced polymer") OR abstract:("glass fiber reinforced polymer") OR title:"GFRP" OR abstract:"GFRP" OR title:("metal matrix composite") OR abstract:("metal matrix composite") OR title:"MMC" OR abstract:"MMC" OR title:("ceramic matrix composite") OR abstract:("ceramic matrix composite") OR title:"CMC" OR abstract:"CMC" OR title:("fiber reinforced") OR abstract:("fiber reinforced") OR title:("particulate reinforced") OR abstract:("particulate reinforced") Filters: Published Date = (2016-01-01 - 2025-12-31) Document Type = (Granted_patent) Legal Status = (Active)

Передовые полимеры

Patents (5,285) = title:("advanced polymer") OR abstract:("advanced polymer") OR title:("functional polymer") OR abstract:("functional polymer") OR title:("high performance polymer") OR abstract:("high performance polymer") OR title:("conductive polymer") OR abstract:("conductive polymer") OR title:("conducting polymer") OR abstract:("conducting polymer") OR title:("shape memory polymer") OR abstract:("shape memory polymer") OR title:("self-healing polymer") OR abstract:("self-healing polymer") OR title:("self-repairing polymer") OR abstract:("self-repairing polymer") OR title:("electroactive polymer") OR abstract:("electroactive polymer") OR title:("EAP") OR abstract:("EAP") OR title:("dielectric elastomer") OR abstract:("dielectric elastomer") OR title:("high temperature polymer") OR abstract:("high temperature polymer") OR title:("PEEK") OR abstract:("PEEK") OR title:("polyether ether ketone") OR abstract:("polyether ether ketone") OR title:("polyetherimide") OR abstract:("polyetherimide") OR title:("high barrier polymer") OR abstract:("high barrier polymer") OR title:("gas barrier") OR abstract:("gas barrier") OR title:("3D printing polymer") OR abstract:("3D printing polymer") OR title:("additive manufacturing polymer") OR abstract:("additive manufacturing polymer") OR title:("stimuli-responsive polymer") OR abstract:("stimuli-responsive polymer")

Filters: Published Date = (2016-01-01 - 2025-12-31) Document Type = (Granted_patent) Legal Status = (Active)

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2026

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Денис Мантуров принял участие в съезде Союза машиностроителей России. – URL: <http://government.ru/news/58726/> (дата обращения: 18.05.2026)
2. Перспективы и сценарии развития новых материалов в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А. И. Боровков, Л.А. Щербина, Е.Р. Мартынец, Ю. А. Рябов, К.В. Кукушкин, Н.И. Прытков, А.М. Трапезникова, О.В. Толочко, И.А. Кобычно, Е.В. Бобрынина; ред. А.И. Боровков. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 184 с. – URL: <https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2024/06/28/otchety/perspectivy-i-scenarii-razv-materialov.pdf> (дата обращения: 15.05.2026)
3. Тренды и перспективы развития цифрового проектирования и моделирования (включая цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов). Экспертно-аналитический доклад : монография / А.И. Боровков, Е.Р. Мартынец, Л.А. Щербина, Е.Р. Хуторцова, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Л.А. Нездоймышапко, Д.Д. Ожгибесова, Е.П. Чхеидзе, И.И. Поняева, Е. И. Павлова, О.И. Рождественский – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 140 с. – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2025/06/30/2025_0630_cpim_kompozicionnyh_materialov_tekhnet.pdf (дата обращения: 27.02.2026)
4. Обзор технологий цифрового моделирования композиционных материалов для применения в атомной отрасли. Экспертно-аналитический доклад : монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова, И. И. Поняева, Е. П. Чхеидзе, А. А. Старостенко, П. С. Распопина, А. С. Голякевич, С. А. Чварков, Н. М. Луковникова, И. Б. Андреев, А. О. Ольховик, П. А. Джелали; ред. А. И. Боровков. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 176 с. – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2025/12/01/2025_12_tekhnet_tekhnologii_v_atomnoy_otrasli_itog.pdf (дата обращения: 30.03.2026)
5. Обзор новых сплавов и их роль в металлообработке: классификация сплавов, применение. – URL: <https://раскройметалла.рф/stati/obzor-novyh-splavov-i-ih-rol-v-metalloobrabotke.html> (дата обращения: 10.02.2026)
6. Новые сплавы для специфических задач: какие металлы выйдут на план в 2025 году. – URL: <https://rosstip.ru/news/6723-novye-splavy-dlya-spetsificheskikh-zadach-kakie-metally-vyjdu-na-plan-v-2025-godu> (дата обращения: 10.02.2026)
7. High Performance Alloys Market Size To Hit USD 19.43 Bn By 2035 – Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/high-performance-alloys-market> (дата обращения: 10.02.2026)
8. High Performance Alloys Market Share and Analysis Report 2026 – The Business Research Company. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/high-performance-alloys-global-market-report> (дата обращения: 10.02.2026)
9. High Performance Alloy Market Size, Share, Trends & Forecast – Verified Market Research. – URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/high-performance-alloy-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
10. High Performance Alloys Market – Market Research Future. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/high-performance-alloys-market-6190> (дата обращения: 10.02.2026)

11. High Performance Alloys Market – Industry Analysis and Forecast – Maximize Market Research. – URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-high-performance-alloys-market/26091/> (дата обращения: 10.02.2026)
12. High Performance Alloys Market Report – IMARC Group. – URL: <https://www.imarcgroup.com/high-performance-alloys-market> (дата обращения: 10.02.2026)
13. High Performance Alloys Market Size, Share & Growth Forecast 2035 – Research Nester. – URL: <https://www.researchnester.com/reports/high-performance-alloys-market/6447> (дата обращения: 10.02.2026)
14. High Performance Alloys Market Size, Share & Trends Analysis Report – Straits Research. – URL: <https://straitsresearch.com/report/high-performance-alloys-market> (дата обращения: 10.02.2026)
15. Magnetic Alloys Market Size, Share and Statistics – 2035. – URL: <https://www.factmr.com/report/1820/magnetic-alloys-market> (дата обращения: 10.02.2026)
16. NbTi Superconducting Alloy Market Outlook 2025-2032 – Intel Market Research. – URL: <https://www.intelmarketresearch.com/nbti-superconducting-alloy-2025-2032-329-940> (дата обращения: 10.02.2026)
17. NbTi Superconducting Alloy Market Size, Share & Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/nbti-superconducting-alloy-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
18. NbTi Superconducting Alloy Market Report Size, Worth, Revenue, Growth 2033 – Market Research Intellect. – URL: <https://www.marketresearchintellect.com/product/global-nbti-superconducting-alloy-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
19. NbTi Superconducting Alloy Market Size & Outlook – Global Growth Insights. – URL: <https://www.globalgrowthinsights.com/market-reports/nbti-superconducting-alloy-market-116649> (дата обращения: 10.02.2026)
20. Thermoelectric Alloy Market Size, Share, Trends & Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/thermoelectric-alloy-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
21. Thermoelectric Alloy Market Size, Share & Growth Trends Analysis by 2034 – Reports and Data. – URL: <https://www.reportsanddata.com/report-detail/thermoelectric-alloy-market> (дата обращения: 10.02.2026)
22. Comprehensive Thermoelectric Alloy Sales Market Size, Share & Industry Insights 2033 – Market Research Intellect. – URL: <https://www.marketresearchintellect.com/product/global-thermoelectric-alloy-sales-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
23. Controlled Expansion Alloys Market Size, Share & Trends Analysis 2033 – Market Research Intellect. – URL: <https://www.marketresearchintellect.com/product/global-controlled-expansion-alloys-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
24. Controlled Expansion Alloys Market Report – Global Forecast From 2025 To 2033 – Dataintelo Consulting. – URL: <https://dataintelo.com/report/controlled-expansion-alloys-market> (дата обращения: 10.02.2026)
25. Global High Purity Metals Sales Market Analysis, Share & Industry Outlook 2033 – Market Research Intellect. – URL: <https://www.marketresearchintellect.com/product/global-high-purity-metals-sales-market/> (дата обращения: 10.02.2026)

26. High Purity Metals Market Size, Share, Trends & Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/high-purity-metals-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
27. High Purity Metal Market Research Report 2033 – Market Intelo. – URL: <https://marketintelo.com/report/high-purity-metal-market> (дата обращения: 10.02.2026)
28. Shape Memory Alloys Market Size, Share, Trends and Forecast – IMARC Group. – URL: <https://www.imarcgroup.com/shape-memory-alloys-market> (дата обращения: 10.02.2026)
29. Shape Memory Alloys Market Size, Share, Analysis & Forecast – Verified Market Research. – URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/shape-memory-alloys-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
30. Shape Memory Alloys Market Size, Share & Forecast to 2032 – 360iResearch™. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/report/shape-memory-alloy> (дата обращения: 10.02.2026)
31. Shape Memory Alloys Market Size to Attain USD 45.35 Bn by 2034 – Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/shape-memory-alloys-market> (дата обращения: 10.02.2026)
32. Shape Memory Alloys Market (2025 – 2035) – Fact.MR. – URL: <https://www.factmr.com/report/shape-memory-alloys-market> (дата обращения: 10.02.2026)
33. Shape Memory Alloys Market Size & Share – Research Nester. – URL: <https://www.researchnester.com/reports/shape-memory-alloys-market/5145> (дата обращения: 10.02.2026)
34. Shape Memory Alloy Market (2025 – 2035) – Future Market Insights. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/shape-memory-alloy-market> (дата обращения: 10.02.2026)
35. Magnetostrictive Alloys Market Size, Share, Trends & Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/magnetostrictive-alloys-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
36. Amorphous Metals Market Size, Share & Growth Drivers Insights Report – Emergen Research. – URL: <https://www.emergenresearch.com/industry-report/amorphous-metals-market> (дата обращения: 10.02.2026)
37. Amorphous Metal Market Size, Share, Growth Trends & Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/amorphous-metal-market/> (дата обращения: 10.02.2026)
38. Metal Powder Market Size, Share, Trends and Forecast, 2026-2034 – IMARC Group. – URL: <https://www.imarcgroup.com/metal-powder-market> (дата обращения: 10.02.2026)
39. Metal Powder Market Size, Growth, Trends Share Report 2026 – The Business Research Company. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/metal-powder-global-market-report> (дата обращения: 10.02.2026)
40. Metal Powder Market Size, Share, Growth Report By 2034 – Polaris Market Research and Consulting. – URL: <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/metal-powder-market> (дата обращения: 10.02.2026)
41. Metal Powder Market Size to Hit USD 11.64 Billion by 2035 – Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/metal-powder-market> (дата обращения: 10.02.2026)
42. Metal Powder Market Analysis 2026 – Cognitive Market Research. – URL: <https://www.cognitivemarketresearch.com/metal-powder-market-report> (дата обращения: 10.02.2026)

43. Metal Powder Market Size, Share & Global Report 2035 – Market Research Future. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/metal-powder-market-5666> (дата обращения: 10.02.2026)
44. Metal Powder Market Size, Share & Growth Forecast 2035 – Research Nester. – URL: <https://www.researchnester.com/reports/metal-powder-market/6161> (дата обращения: 10.02.2026)
45. Metal Powder Market Share, Growth & Trends Analysis [2034] – Fortune Business Insights. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/metal-powder-market-101458> (дата обращения: 10.02.2026)
46. Metal Powder Market (2025 – 2035) – Fact.MR. – URL: <https://www.factmr.com/report/3202/metal-powder-market> (дата обращения: 10.02.2026)
47. Advanced Glass Market (2025 – 2035) – Future Market Insights. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/advanced-glass-market> (дата обращения: 11.02.2026)
48. Global Advanced Glass Market Size – Verified Market Research. – URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/advanced-glass-market/> (дата обращения: 11.02.2026)
49. Market Research Reports and Consulting – Global Insight Services Advanced Glass Market. – URL: <https://www.globalinsightservices.com/reports/advanced-glass-market/> (дата обращения: 11.02.2026)
50. Advanced Glass Market Size, Share, Trends and Forecast – IMARC Group. – URL: <https://www.imarcgroup.com/advanced-glass-market> (дата обращения: 11.02.2026)
51. Advanced Glass Market Size, Share, Trend and Forecast 2032 – Credence Research. – URL: <https://www.credenceresearch.com/report/advanced-glass-market> (дата обращения: 11.02.2026)
52. Advanced Glass Market Report 2026, Insights and Analysis – The Business Research Company. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/advanced-glass-global-market-report> (дата обращения: 11.02.2026)
53. Advanced Glass Market Size, Share & Trends Forecast 2035 – Research Nester. – URL: <https://www.researchnester.com/reports/advanced-glass-market/4664> (дата обращения: 11.02.2026)
54. Advanced Glass Market Size, Share & Industry Analysis, 2035 – Claight Corp. – URL: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/advanced-glass-market> (дата обращения: 11.02.2026)
55. Advanced Glass Market Size, Share, Trends, Industry Analysis Report – Polaris Market Research & Consulting. – URL: <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/advanced-glass-market> (дата обращения: 11.02.2026)
56. Advanced Glass Market – Global Industry Size, Share, Trends, Opportunity, and Forecast, 2021-2031 – TechSci Research. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5911378/advanced-glass-market-global-industry-size> (дата обращения: 11.02.2026)
57. Advanced Ceramics Market Size & Forecast, 2025 to 2035 – Future Market Insights. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/advanced-ceramics-market> (дата обращения: 11.02.2026)
58. Advanced Ceramics Market Size, Trends, Scope & Forecast – Verified Market Research. – URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/advanced-ceramics-market/> (дата обращения: 11.02.2026)
59. Advanced Ceramics Market Size & Share – Industry Growth 2032 – Data Bridge Market Research. – URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-advanced-ceramics-market> (дата обращения: 11.02.2026)

60. Advanced Ceramics Market Size, Share and Analysis, 2025-2032 – Coherent Market Insights. – URL: <https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/advanced-ceramics-market-5102> (дата обращения: 11.02.2026)
61. Advanced Ceramics Market Size, Share & Growth Report, 2034 – Global Market Insights. – URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/advanced-ceramics-market> (дата обращения: 11.02.2026)
62. Advanced Ceramics Market Industry Share And Analysis 2026 – The Business Research Company. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/advanced-ceramics-global-market-report> (дата обращения: 11.02.2026)
63. Advanced Ceramics Market – Global Market Analysis Report – 2036 – Fact.MR. – URL: <https://www.factmr.com/report/2993/advanced-ceramics-market> (дата обращения: 11.02.2026)
64. Advanced Ceramics Market Size, Share – Growth Report [2034] – Fortune Business Insights. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/advanced-ceramics-market-105073> (дата обращения: 11.02.2026)
65. Advanced Ceramics Market Size to Hit USD 327.15 Billion by 2035 – Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/advanced-ceramics-market> (дата обращения: 11.02.2026)
66. Advanced Ceramics Market Size & Forecast – Research Nester. – URL: <https://www.research-nester.com/reports/advanced-ceramics-market/977> (дата обращения: 11.02.2026)
67. Advanced Ceramics Market Report – IMARC Group. – URL: <https://www.imarcgroup.com/advanced-ceramics-market> (дата обращения: 12.02.2026)
68. Different Types of Fine Ceramics. – URL: <https://global.kyocera.com/fcworld/first/kind.html> (дата обращения: 14.03.2026)
69. Advanced Polymers Market CAGR, size, share, trends, growth, value, key players analysis – Statistics MRC report. – URL: <https://www.strategymrc.com/report/advanced-polymers-market> (дата обращения: 11.02.2026)
70. Advanced Polymer Market Research Report 2033 – Market Intelo. – URL: <https://marketintelo.com/report/advanced-polymer-market> (дата обращения: 11.02.2026)
71. Химия полимеров. – URL: <https://chemical42.ru/tutorials/khimiya-polimerov/> (дата обращения: 11.02.2026)
72. Полимеры: что это такое простыми словами. – URL: <https://zvenogroup.ru/blog/polimery-cto-eto-takoe/> (дата обращения: 11.02.2026)
73. Как создаются электропроводящие полимеры и где они применяются. – URL: https://dzen.ru/a/aGJp8zVQuA_529hK (дата обращения: 12.02.2026)
74. Conductive Polymers Market Size to Hit USD 12.74 Bn by 2034 – Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/conductive-polymers-market> (дата обращения: 12.02.2026)
75. Conductive Polymers Market – Global Market Analysis Report – 2035 – Future Market Insights. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/conductive-polymers-market> (дата обращения: 12.02.2026)
76. Conductive Polymers Market Size, Share & Growth Report, 2034 – Global Market Insights. – URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/conductive-polymers-market> (дата обращения: 12.02.2026)
77. Conducting Polymers Market Size, Share, Trends & Insights Report, 2035 – Roots Analysis. – URL: <https://www.rootsanalysis.com/conducting-polymers-market> (дата обращения: 12.02.2026)

78. Conductive Polymers Market Report – IMARC Group. – URL: <https://www.imarcgroup.com/conductive-polymers-market> (дата обращения: 12.02.2026)
79. Conductive Polymers Market Size, Share, Growth & Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/global-conductive-polymers-market-growth-2019-2024/> (дата обращения: 12.02.2026)
80. Conductive Polymers Market Share, Size, Forecast 2026 – The Business Research Company. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/conductive-polymers-global-market-report> (дата обращения: 12.02.2026)
81. Conductive Polymers Market Size, Share, Trends Report, 2034 – Fortune Business Insights. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/conductive-polymers-market-102833> (дата обращения: 12.02.2026)
82. Global Conductive Polymer Market – Maximize Market Research. – URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-conductive-polymer-market/31525/> (дата обращения: 12.02.2026)
83. Shape Memory Polymers Market Size, Share & Trends Report, 2034 – Global Market Insights. – URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/shape-memory-polymer-market> (дата обращения: 12.02.2026)
84. Shape Memory Polymer Market (2025 – 2035) – Future Market Insights. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/shape-memory-polymer-market> (дата обращения: 12.02.2026)
85. Shape-Memory Polymer Market Size, Share, Growth & Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/shape-memory-polymer-market-size-and-forecast/> (дата обращения: 12.02.2026)
86. Shape Memory Polymer Market Size, Share and Forecast 2032 – Credence Research. – URL: <https://www.credenceresearch.com/report/shape-memory-polymer-market> (дата обращения: 12.02.2026)
87. Shape-Memory Polymer Market Size, Share & Industry Trends Analysis 2033 – Market Research Intellect. – URL: <https://www.marketresearchintellect.com/product/global-shape-memory-polymer-market/> (дата обращения: 12.02.2026)
88. Global Shape Memory Polymer Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2032 – DataBridge. – URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-shape-memory-polymer-market> (дата обращения: 12.02.2026)
89. Shape Memory Polymer Market Size, Share & Global Report 2035 – Market Research Future. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/shape-memory-polymer-market-41337> (дата обращения: 12.02.2026)
90. Shape Memory Polymers Market Market Size & Forecast to 2030 – Market Glass. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/report/shape-memory-polymer> (дата обращения: 12.02.2026)
91. Self healing Polymers Market Research Report 2026 – InsightAce Analytic. – URL: <https://www.insightaceanalytic.com/report/self-healing-polymers-market/3379> (дата обращения: 12.02.2026)
92. Отчет о размере и доле рынка самовосстанавливающихся полимеров, 2024-2031 гг. – Persistence Market Research. – URL: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/self-healing-polymer-market.asp> (дата обращения: 12.02.2026)
93. Self healing Polymers Market Size & Forecast – Research Nester. – URL: <https://www.researchnester.com/reports/self-healing-polymers-market/6626> (дата обращения: 12.02.2026)

94. Self-Healing Polymers Market Size, Share & Forecast – Report, 2034 – The Brainy Insights. – URL: <https://www.thebrainyinsights.com/report/self-healing-polymers-market-14721> (дата обращения: 12.02.2026)
95. Self-Repairing Polymers Market Size, Growth and Forecast 2032 – Credence Research. – URL: <https://www.credenceresearch.com/report/self-repairing-polymers-market> (дата обращения: 12.02.2026)
96. Self Repairing Polymer Market Size, Share & Industry Growth by 2035 – Market Research Future. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/self-repairing-polymer-market-29101> (дата обращения: 12.02.2026)
97. Self-repairing Polymers Market Size & Forecasts 2026-2035 – Fundamental Business Insights. – URL: <https://www.fundamentalbusinessinsights.com/industry-report/self-repairing-polymers-market-20297> (дата обращения: 12.02.2026)
98. Self-repairing Polymers Market – Global Market Analysis Report 2035 – Future Market Insights. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/self-repairing-polymers-market> (дата обращения: 16.02.2026)
99. Electroactive Polymer Market – Global Market Analysis Report – 2035 – Future Market Insights. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/electroactive-polymer-market> (дата обращения: 13.02.2026)
100. Electroactive Polymers Market Report 2026, Analysis And Insights – The Business Research Company. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/electroactive-polymers-global-market-report> (дата обращения: 13.02.2026)
101. In-Depth Industry Outlook: Electroactive Polymer Market Size & Forecast – Verified Market Research. – URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/electroactive-polymer-market/> (дата обращения: 13.02.2026)
102. Electroactive Polymers (EAPs) Market Industry Size, Share & Growth Analysis 2033 – Market Research Intellect. – URL: <https://www.marketresearchintellect.com/product/global-electroactive-polymers-eaps-market/> (дата обращения: 13.02.2026)
103. Electroactive Polymer Market Size, Share & Trends – Forecast to 2035 – Research Nester. – URL: <https://www.researchnester.com/reports/electroactive-polymer-market/6649> (дата обращения: 13.02.2026)
104. High Temperature Polymer Market Size, Trends & Forecast – Verified Market Research. – URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/high-temperature-polymer-market/> (дата обращения: 13.02.2026)
105. High Temperature Polymer Market – Market Research Future. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/high-temperature-polymer-market-39880> (дата обращения: 13.02.2026)
106. High Barrier Polymers Market Report – Global Forecast From 2025 To 2033 – Dataintelo Consulting. – URL: <https://dataintelo.com/report/high-barrier-polymers-market> (дата обращения: 12.02.2026)
107. Polymers For Additive Manufacturing MarketForecast, 2032 – Coherent Market Insights. – URL: <https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/polymers-for-additive-manufacturing-market-4496> (дата обращения: 14.02.2026)
108. Polymer Additive Manufacturing Market Size, Growth & Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/polymer-additive-manufacturing-market/> (дата обращения: 14.02.2026)

109. 3D Printing Plastics Market Size, Share & Industry Forecast [2034] – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/3d-printing-plastics-market/> (дата обращения: 14.02.2026)
110. Polymers For Additive Manufacturing Market Size, Share & Trends Analysis 2033 – Market Research Intellect. – URL: <https://www.marketresearchintellect.com/product/global-polymers-for-additive-manufacturing-market-size-forecast/> (дата обращения: 14.02.2026)
111. 3D Printing Plastics Market Size to Hit USD 11.98 Bn by 2034 – Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/3d-printing-plastics-market> (дата обращения: 14.02.2026)
112. 3D Printing Plastics Market Report – IMARC Group. – URL: <https://www.imarcgroup.com/3d-printing-plastics-market> (дата обращения: 14.02.2026)
113. 3D Printing Plastics Market – Global Industry Analysis and Forecast (2025-2032) Trends, Statistics, Dynamics, and Region – Stellar Market Research. – URL: <https://www.stellarmr.com/report/3D-Printing-Plastics-Market/684> (дата обращения: 14.02.2026)
114. 3D Printing Plastics Market Report 2026, Industry By 2035 – The Business Research Company. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/3d-printing-plastics-global-market-report> (дата обращения: 14.02.2026)
115. 3D Printing Plastics Market – Global Forecast 2026-2032 – 360iResearch™. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5136113/3d-printing-plastics-market-global-forecast> (дата обращения: 16.02.2026)
116. 3D printing plastics market – Straits Research. – URL: <https://straitsresearch.com/report/3d-printing-plastics-market> (дата обращения: 20.02.2026)
117. Advanced Composite Market Size, Share, Trends & Insights Report, 2035 – Roots Analysis. – URL: <https://www.rootsanalysis.com/advanced-composite-market> (дата обращения: 14.02.2026)
118. Advanced Composites Market Insights & Growth 2025 to 2035 – Future Market Insights. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/advanced-composites-market> (дата обращения: 14.02.2026)
119. Advanced Composites Market Size to Hit USD 132.16 Bn by 2035 – Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/advanced-composites-market> (дата обращения: 14.02.2026)
120. Advanced Composites Market Report – IMARC Group. – URL: <https://www.imarcgroup.com/advanced-composites-market> (дата обращения: 14.02.2026)
121. Advanced Composites Market CAGR, size, share, trends, growth, value, key players analysis – Statistics MRC report. – URL: <https://www.strategymrc.com/report/advanced-composites-market> (дата обращения: 14.02.2026)
122. Advanced Composites Market Size, Share, Trends & Forecast – Verified Market Research. – URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/advanced-composites-market/> (дата обращения: 14.02.2026)
123. Advanced Composites Market Valuation and Future Projections to 2035 – Vantage Market Research & Consultancy Services. – URL: <https://www.vantagemarketresearch.com/industry-report/advanced-composites-market-2118> (дата обращения: 14.02.2026)
124. Advanced Composites Market Size, Growth Report [2033] – SkyQuest Technology Consulting. – URL: <https://www.skyquestt.com/report/advanced-composites-market> (дата обращения: 14.02.2026)

125. Market Research Reports and Consulting – Global Insight Services Advanced Composites Market. – URL: <https://www.globalinsightservices.com/reports/advanced-composites-market/> (дата обращения: 14.02.2026)
126. Advanced Composites Market Size and Share Report 2034 – Polaris Market Research and Consulting. – URL: <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/advanced-composites-market> (дата обращения: 14.02.2026)
127. Advanced Composites Market Size, Share, Growth Report, 2035 – Market Research Future. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/advanced-composites-market-4678> (дата обращения: 14.02.2026)
128. Advanced Composites Market Size, Share & Trends Forecast 2035 – Research Nester. – URL: <https://www.researchnester.com/reports/advanced-composites-market/6398> (дата обращения: 14.02.2026)
129. Advanced Composites Market Size, Share & Forecast to 2032 – 360iResearch™. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/report/advanced-composite> (дата обращения: 16.02.2026)
130. Global Advanced Materials Market Size, Share, Trends & Growth Forecast Report – Market Data Forecast. – URL: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/advanced-material-market> (дата обращения: 14.02.2026)
131. Advanced Materials Market Size, Share & Growth Report 2035 – Research Nester. – URL: <https://www.researchnester.com/reports/global-advanced-materials-market/2317> (дата обращения: 14.02.2026)
132. Advanced Materials Market Size, Share, Growth and Forecast 2032 – Credence Research. – URL: <https://www.credenceresearch.com/report/advanced-materials-market> (дата обращения: 14.02.2026)
133. Advanced Materials Market Size, Share, Growth, Demand, Forecast 2034 – Zion Market Research. – URL: <https://www.zionmarketresearch.com/report/advanced-materials-market> (дата обращения: 14.02.2026)
134. Advanced Materials Market – 360iResearch. – URL: <https://www.360iresearch.com/library/intelligence/advanced-materials> (дата обращения: 14.02.2026)
135. Market Research Reports and Consulting – Global Insight Services Advanced Materials Market. – URL: <https://www.globalinsightservices.com/reports/advanced-materials-market/> (дата обращения: 14.02.2026)
136. Advanced Materials Market Share Growth Report 2026 – The Business Research Company. – URL: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/advanced-materials-global-market-report> (дата обращения: 14.02.2026)
137. Advanced Materials Market Size, Share, Scope And Forecast – Verified Market Research. – URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/advanced-materials-market/> (дата обращения: 14.02.2026)
138. Advanced Materials Market Size to Worth USD 134.49 Bn By 2035 – Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/advanced-materials-market> (дата обращения: 14.02.2026)
139. Advanced Material Market – Market Research Future. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/advanced-material-market-11431> (дата обращения: 14.02.2026)
140. Advanced Materials Market Outlook Report: Industry Size, Market Shares Data, Latest Trends, Insights, Growth Potential, CAGR Forecasts to 2034 – OG Analysis. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/6027312/advanced-materials-market-outlook-report#cat-pos-3> (дата обращения: 16.02.2026)

141. Advanced materials market – Market.US. – URL: <https://market.us/report/advanced-material-market/> (дата обращения: 20.02.2026)
142. Composites Market Size, Share – Global Growth Report [2034] – Fortune Business Insights. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/composites-market-102295> (дата обращения: 14.02.2026)
143. Экспертно-аналитический доклад "Исследование международного и российского рынка аддитивных технологий в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году". – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2024/12/31/2024_1228_Additivnye_tekhnologii_ITOG3.pdf (дата обращения: 30.03.2026)
144. Аддитивные технологии в России и в мире: современное состояние, тренды, перспективы развития и сравнительный анализ. – URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/additivnye-tekhnologii-v-rossii-i-v-mire/> (дата обращения: 15.02.2026)
145. Global Composite Material Simulation Software Market Research Report – Wise Guy Reports. – URL: <https://www.wiseguysreports.com/reports/composite-material-simulation-software-market> (дата обращения: 15.02.2026)
146. Global Composite Simulation Software Market Size, Share, Growth Trends & Forecast 2026-2034 – Verified Market Reports. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/product/composite-simulation-software-market/> (дата обращения: 15.02.2026)
147. Composite Simulation Software Market Report – Global Forecast From 2025 To 2033 – Dataintelo Consulting. – URL: <https://dataintelo.com/report/composite-simulation-software-market> (дата обращения: 15.02.2026)
148. Composite Simulation Software Market Size, Share & Trends Analysis 2033 – Market Research Intellect. – URL: <https://www.marketresearchintellect.com//product/global-composite-simulation-software-market-size-and-forecast/> (дата обращения: 15.02.2026)
149. Composite Simulation Software Market Size, Share, Growth – CAGR Forecast 2032 – Future Market Report. – URL: <https://www.futuremarketreport.com/industry-report/composite-simulation-software-market> (дата обращения: 15.02.2026)
150. Composite Material Simulation Analysis Software Market – 360iResearch. – URL: <https://www.360iresearch.com/library/intelligence/composite-material-simulation-analysis-software> (дата обращения: 15.02.2026)
151. Composite Material Simulation Analysis Software Market Disruption and Future Trends – Market Report Analytics. – URL: <https://www.marketreportanalytics.com/reports/composite-material-simulation-analysis-software-56595> (дата обращения: 16.02.2026)
152. Кластер "Композиты без границ" – База рыночной аналитики по композитным материалам. – URL: <https://compositescluster.ru/documentation/> (дата обращения: 15.02.2026)
153. Вестник атомпрома №2, 2024. – URL: https://atomvestnik.ru/wp-content/uploads/2024/04/BA_02_2024_spread.pdf (дата обращения: 15.02.2026)
154. Композитный мир №2 (111), 2025. – URL: <https://compositeworld.ru/files/2-111-2025-WEB.pdf> (дата обращения: 15.02.2026)
155. Анализ российского рынка композитных материалов: итоги 2023 г., прогноз до 2027 г. – РБК Магазин исследований. – URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/14733/> (дата обращения: 15.02.2026)

156. Реализованный проект по исследованию рынка технической керамики. – URL: <https://r-monitoring.ru/cases/issledovanie-rynka-tekhnicheskoj-keramiki/> (дата обращения: 15.02.2026)
157. Анализ рынка безопасного стекла в России: текущая ситуация и прогнозы на 2026–2030 годы. – URL: <https://alto-group.ru/otchet/rossija/556-rynok-bezopasnogo-stekla-v-rossii-tekuschaja-situacija-i-prognoz-2021-2025-gg.html> (дата обращения: 15.02.2026)
158. Топ-10 трейдеров инженерных полимеров нарастили продажи в 2023 году. – URL: <https://ucgrus.com/news/rossiya-top-10-treyderov-inzhenernykh-polimerov-narastili-prodazhi-v-2023-godu/> (дата обращения: 15.02.2026)
159. Состояние российской отрасли переработки пластмасс – Полимерные материалы. – URL: <https://polymerbranch.com/articles/sostoyanie-rossijskoj-otrasli-pererabotki-plastmass/> (дата обращения: 15.02.2026)
160. Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4260-р "Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г.". – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963845/> (дата обращения: 15.02.2026)
161. Производство стали в России и мире в 2024 году. – URL: <https://mashprom.ru/press/news/proizodstvo-stali-v-rossii-i-mire-v-2024-godu/> (дата обращения: 15.02.2026)
162. Российский рынок аддитивных технологий в 2025 году вырос на 21%. – URL: <https://www.interfax.ru/business/1075788> (дата обращения: 15.02.2026)
163. Российский рынок САПР для композитов к 2035 году вырастет в 5 раз – Новости ИТ Компаний на IT-World.ru. – URL: <https://www.it-world.ru/news-company/s8t9j6h2nuow08o8k0ggwks84ock4so.html> (дата обращения: 20.04.2026)
164. 2024 Forecast: Top 10 Trends in the Materials and Chemicals Industries. – URL: <https://www.mapegy.com/reports/2024-top-10-materials-chemicals-trends> (дата обращения: 16.02.2026)
165. Будущее передовых материалов – Новости – Институт статистических исследований и экономики знаний – Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – URL: <https://issek.hse.ru/news/1143258675.html> (дата обращения: 20.04.2026)
166. Top 10 Material Trends in 2026 and Beyond – StartUs Insights. – URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/material-trends/> (дата обращения: 16.02.2026)
167. The future of advanced materials – PVcase. – URL: <https://pvcase.com/blog/the-future-of-advanced-materials> (дата обращения: 16.02.2026)
168. Графен: что это такое, где применяется и как получают материал будущего. – URL: <https://journal.sovcombank.ru/zhizn/grafen-chto-eto-takoe-gde-primenyaetsya-i-kak-poluchit-material-kotorii-izmenit-budushee> (дата обращения: 16.02.2026)
169. Artificial Intelligence (AI) in Chemicals Market to Worth USD 28.00 Billion by 2034. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-in-the-chemical-market> (дата обращения: 16.02.2026)
170. Advanced Materials Driving the Future of Electric Vehicles – Nanografi Advanced Materials. – URL: <https://shop.nanografi.com/blog/advanced-materials-driving-the-future-of-electric-vehicles/> (дата обращения: 16.02.2026)

171. Advanced recycling: Opportunities for growth – McKinsey. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/advanced-recycling-opportunities-for-growth> (дата обращения: 16.02.2026)
172. Advanced Materials Sector – Macro Trends. – URL: <https://www.researchnester.com/macro-trends/advanced-materials-sector> (дата обращения: 16.02.2026)
173. Middle East: a market full of promises – JEC. – URL: https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/a-market-full-of-promises/?news_type=business&end_use_application=aerospace,automotive-road-transportation,building-civil-engineering,defence-security-ballistics,electrical-electronics-telecoms-appliances,marine-transportation-shipbuilding,pipe-tanks-water-treatment-and-sewage,renewable-energy (дата обращения: 16.02.2026)
174. What's Currently Happening in Advanced Materials? Q2 2024. – URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/advanced-materials-news-brief/> (дата обращения: 16.02.2026)
175. Redefining supply chains closer to home in composites manufacturing – JEC. – URL: https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/redefining-supply-chains-closer-to-home-in-composites-manufacturing/?news_type=business (дата обращения: 16.02.2026)
176. Top 10 Trends in Composite Materials (2025) – StartUs Insights. – URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/trends-in-composite-materials/> (дата обращения: 20.05.2026)
177. Girmay M. Advances in Composite Structures: A Systematic Review of Design, Performance, and Sustainability Trends // Composite Materials. – 2025. – Vol. 9. – Issue 1. – P. 1-17.
178. ECOXY Project: bio-based epoxy resins and fibre-reinforcements for automotive and construction sectors – Compositi Magazine. – URL: <https://www.compositimagazine.it/ecoxy-project-bio-based-epoxy-resins-and-fibre-reinforcements-for-automotive-and-construction-sectors/> (дата обращения: 16.02.2026)
179. The Future of Advanced Ceramics: 5 Key Trends Shaping 2025 – Ceramics Expo USA. – URL: <https://www.ceramicsexpousa.com/industry-insights/blogs/the-future-of-advanced-ceramics-5-trends-shaping-2025> (дата обращения: 16.02.2026)
180. Polymers Market Report 2026 – StartUs Insights. – URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/polymers-market-report/> (дата обращения: 16.02.2026)
181. Discover Next-Gen Aerospace Metallurgy, Lightweight Metals & Innovations. – URL: <https://gar-anord.md/metallurgy-in-aerospace-key-developments-to-follow-in-2024/> (дата обращения: 16.02.2026)
182. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench® (часть 7): разработка и применение цифровых двойников композиционных материалов / А.И. Боровков, Д.Д. Ожгибесова, А.И. Глазунов, И. Михайлов, В. Штегман, Д. Зайнуллина, С. Асанидзе, М. Шульга, Д. Колчев, П. Мухаметова, Е.Р. Мартынец, Ю. А. Рябов // САПР и графика. – 2025. – Вып. 7(347). – С. 4-18.
183. Composite Material Simulation Analysis Software Market – Global Forecast 2025-2030 – 360iResearch™. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/6138904/composite-material-simulation-analysis-software> (дата обращения: 16.02.2026)
184. План действий для материаловедов на 2025-2030 годы. – URL: <https://roscongress.org/materials/dorozhnaya-karta-vedushchikh-materialovedov-na-2025-2030-gody/> (дата обращения: 16.02.2026)

185. Химическая отрасль России – 2025: трансформация, вызовы и стратегия роста. – URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/khimicheskaya-otrasl-rossii-2025-transformaciya-vyzovy-i-strategiya-rosta/> (дата обращения: 16.02.2026)
186. Ускорение в «цифре»: как «Росатом» развивает цифровое материаловедение. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2025/03/03/uskorenie-v-cifre-kak-rosatom-ra/> (дата обращения: 16.02.2026)
187. Market Insights: Polymers in the Russian Federation. – URL: <https://polymer-search.com/market-insights-polymers-in-the-russian-federation/> (дата обращения: 16.02.2026)
188. Критически важно: итоги нацпроекта «Новые материалы и химия» за 2025 год – Национальные проекты РФ. – URL: <https://национальныепроекты.рф/news/kriticheski-vazhno-itogi-natsproekta-novye-materialy-i-khimiya-za-2025-god/> (дата обращения: 16.02.2026)
189. Прогноз развития российского рынка композитов до 2030 г. – Росатом Композитные технологии, 2025. – URL: <https://compositescluster.ru/upload/iblock/f28/h5cu1pareyzm347met4rohp9d0h3wsjf.pdf> (дата обращения: 16.02.2026)
190. В Петербурге наладят производство комплектующих эндопротезов из российского полимера – Ведомости. Северо-Запад. – URL: <https://spb.vedomosti.ru/business/articles/2025/07/15/1124605-naladyat-proizvodstvo-endoprotezov> (дата обращения: 16.02.2026)
191. Первое производство сверхвысокомолекулярного полиэтилена в России: проект СВЭМ, роль ТГУ и технология ANTICOR POLY (АНТИКОР ПОЛИ). – URL: <https://anticorprof.ru/svmpe> (дата обращения: 16.02.2026)
192. Создание в РФ импортозамещающего производства полного цикла изделий из композиционных материалов на основе СВМПЭ, в т.ч. для медицины. – URL: <https://pt.2035.university/project/importozamesenie-syra-i-zagotovok-ispolzuemyh-otecestvennymi-proizvoditelami-endo-protezov-dla-razvitia-v-rf-proizvodstvennoj-tehnologiceskoj-i-naucnoj-bazy-po-napravleniu-n> (дата обращения: 16.02.2026)
193. В России разрабатываются новые материалы для промышленности – Российская газета. – URL: <https://rg.ru/2026/02/26/samolet-iz-kompozitov.html> (дата обращения: 17.02.2026)
194. Материалы нового поколения и нанотехнологии – Московский инновационный кластер. – URL: https://i.moscow/future_tech/8 (дата обращения: 17.02.2026)
195. Инновации в материаловедении: новые материалы для производства – Информационный промышленный сайт. – URL: <https://indpages.ru/materials/innovaczii-v-materialovedenii/> (дата обращения: 17.02.2026)
196. Материализация идей: над чем работают материаловеды «Росатома». – URL: <https://niirosatom.ru/press-center/news/materializatsiya-idey-nad-chem-rabotayut-materialovedy-rosatoma/> (дата обращения: 17.02.2026)
197. В Москве обсудили развитие отечественного материаловедения. – URL: <https://nrcki.ru/product/press-nrcki/-53261.shtml> (дата обращения: 17.02.2026)
198. Chemical Recycling Market Size, Report – Forecast 2025-2033. – URL: <https://www.reportsandinsights.com/report/chemical-recycling-market> (дата обращения: 17.02.2026)
199. Редкоземельные металлы Китая: ограничения поставок и последствия такого шага. – URL: https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/900596/ (дата обращения: 17.02.2026)

200. Редкие металлы остаются в КНР // Эксперт. – URL: <https://expert.ru/v-mire/redkie-metally-ostayutsya-v-knr/> (дата обращения: 05.03.2026)
201. Как развитие химпрома стимулирует российскую промышленность – РБК. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/12/09/2025/68c16a549a79470d15c414e3> (дата обращения: 17.02.2026)
202. ГОСТ Р 57272.3–2016 Менеджмент риска применения новых технологий. Часть 3. Применение к новым материалам и продукции. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293749/4293749694.pdf> (дата обращения: 30.03.2026)
203. Europe Composites Resource Guide. – URL: <https://www.export-u.com/INDUSTRIES/Composites%20for%20EU-2020.pdf> (дата обращения: 01.04.2026)
204. 3M Science. Applied to Life. 3M United States. – URL: <https://www.3m.com/> (дата обращения: 01.04.2026)
205. 3M Research and Development. – URL: https://www.3m.com/3M/en_US/about-3m/research-development/ (дата обращения: 01.04.2026)
206. AT&M – Advanced Materials & Precision Manufacturing Solutions. – URL: <https://www.antai-emarketing.com/> (дата обращения: 01.04.2026)
207. Antai Composite Inc. – Shandong, China. – URL: <https://b2bmap.com/antai-composite-inc> (дата обращения: 01.04.2026)
208. ATI: Proven to perform. – URL: <https://www.atimaterials.com/> (дата обращения: 02.04.2026)
209. Advanced Alloys and Solutions. – URL: <https://www.atimaterials.com/advanced-alloys-solutions/Pages/default.aspx> (дата обращения: 02.04.2026)
210. BASF. – URL: <https://www.basf.com/> (дата обращения: 02.04.2026)
211. Carpenter Technology – Global Leader in Specialty Alloys. – URL: <https://www.carpentertechnology.com/> (дата обращения: 02.04.2026)
212. Business Segments – Carpenter Technology. – URL: <https://www.carpentertechnology.com/business-segments> (дата обращения: 02.04.2026)
213. CeramTec – Ceramic Solutions for High-Tech Applications. – URL: <https://www.ceramtec-group.com/> (дата обращения: 03.04.2026)
214. Corning Incorporated. – URL: <https://www.corning.com/> (дата обращения: 03.04.2026)
215. Business Segments – Corning Incorporated. – URL: <https://www.corning.com/worldwide/en/about-us/corning-business-segments.html> (дата обращения: 30.04.2026)
216. DuPont. – URL: <https://www.dupont.com/> (дата обращения: 30.04.2026)
217. Fuyao Group 福耀集团. – URL: <https://www.fuyaogroup.com/> (дата обращения: 30.04.2026)
218. Hexcel. – URL: <https://www.hexcel.com/> (дата обращения: 30.04.2026)
219. KYOCERA Group. – URL: <https://global.kyocera.com/> (дата обращения: 30.04.2026)
220. Mitsubishi Companies. – URL: <https://www.mitsubishi.com/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
221. The Mitsubishi Chemical Group. – URL: <https://www.mcgc.com/english/> (дата обращения: 05.05.2026)

222. AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
223. Mitsubishi Materials Corporation. – URL: <https://www.mmc.co.jp/corporate/en/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)
224. Mitsubishi Steel MFG. Co., Ltd. – URL: <https://www.mitsubishisteel.co.jp/english/> (дата обращения: 08.05.2026)
225. Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc. – URL: <https://www.mgc.co.jp/eng/> (дата обращения: 08.05.2026)
226. MITSUBISHI ELECTRIC Global website. – URL: <https://www.mitsubishielectric.com/en/> (дата обращения: 08.05.2026)
227. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Global Website. – URL: <https://www.mhi.com/> (дата обращения: 08.05.2026)
228. Morgan Advanced Materials. – URL: <https://www.morganadvancedmaterials.com/en-gb/> (дата обращения: 30.04.2026)
229. Murata Manufacturing Co., Ltd. – URL: <https://www.murata.com/> (дата обращения: 05.05.2026)
230. Materials Technology – Murata Manufacturing Co., Ltd. – URL: <https://corporate.murata.com/en-eu/technology/technology-platform/materials-technology> (дата обращения: 05.05.2026)
231. Proterial, Ltd. – URL: <https://www.proterial.com/e/> (дата обращения: 05.05.2026)
232. Corporate History (Visual) – Proterial, Ltd. – URL: <https://www.proterial.com/e/brand/history/> (дата обращения: 05.05.2026)
233. SABIC. – URL: <https://www.sabic.com/en> (дата обращения: 05.05.2026)
234. Saint-Gobain. – URL: <https://www.saint-gobain.com/en> (дата обращения: 05.05.2026)
235. Sandvik Group. – URL: <https://www.home.sandvik/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
236. Our brands – Sandvik Group. – URL: <https://www.home.sandvik/en/about-us/sandvik-at-a-glance/brands/> (дата обращения: 05.05.2026)
237. Solvay. – URL: <https://www.solvay.com/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
238. Syensqo. – URL: <https://www.syensqo.com/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
239. Teijin Limited. – URL: <https://www.teijin.com/> (дата обращения: 05.05.2026)
240. Toray Industries, Inc. – URL: <https://www.toray.com/> (дата обращения: 05.05.2026)
241. Composites Value Chain. – URL: <https://www.jeccomposites.com/discover-composites/activities-scope/> (дата обращения: 08.05.2026)
242. Process of value creation – Murata Manufacturing Co., Ltd. – URL: <https://corporate.murata.com/en-eu/company/valuecreation> (дата обращения: 05.05.2026)
243. Material Analysis Technology – Murata Manufacturing Co., Ltd. – URL: <https://corporate.murata.com/en-eu/technology/technology-platform/common-technology/material-analysis> (дата обращения: 05.05.2026)
244. Value Creation Strategy – AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/innovation/value/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)

245. R&D Structure – AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/innovation/organization/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)
246. Research & Development – Proterial, Ltd. – URL: <https://www.proterial.com/e/rad/> (дата обращения: 05.05.2026)
247. Research & Development – Carpenter Technology. – URL: <https://www.carpentertechnology.com/results-driven-research> (дата обращения: 05.05.2026)
248. Global Locations – DuPont. – URL: <https://www.dupont.com/locations.html> (дата обращения: 05.05.2026)
249. Our Technology and Innovation Centers – SABIC. – URL: <https://www.sabic.com/en/about/innovation/our-technology-Innovation-centers> (дата обращения: 05.05.2026)
250. Our Transversal R&D Centers – Saint-Gobain. – URL: <https://www.saint-gobain.com/en/linnovation/nos-centres-de-rd-transversaux> (дата обращения: 05.05.2026)
251. Technology Center – Toray Industries, Inc. – URL: <https://www.toray.com/technology/organization/center.html> (дата обращения: 05.05.2026)
252. Technical Departments and Engineering Departments – Toray Industries, Inc. – URL: <https://www.toray.com/technology/organization/departments/> (дата обращения: 05.05.2026)
253. Innovation – Syensqo. – URL: <https://www.syensqo.com/en/innovation> (дата обращения: 05.05.2026)
254. Intellectual Property – KYOCERA. – URL: <https://global.kyocera.com/intellectual-property/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)
255. Intellectual Property – Murata Manufacturing Co., Ltd. – URL: <https://corporate.murata.com/en-eu/company/intellectual-property> (дата обращения: 05.05.2026)
256. Intellectual Property Strategy – AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/innovation/property/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)
257. Intellectual Property Strategy – TEIJIN. – URL: <https://www.teijin.com/rd/ipstrategy/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)
258. SABIC Ventures – SABIC. – URL: <https://ventures.sabic.com/en> (дата обращения: 05.05.2026)
259. Syensqo Ventures – Syensqo. – URL: <https://www.syensqo.com/en/innovation/syensqo-ventures> (дата обращения: 05.05.2026)
260. Open innovation – Saint-Gobain. – URL: <https://www.saint-gobain.com/en/innovation/open-innovation> (дата обращения: 05.05.2026)
261. Quality Assurance and Control – Carpenter Technology. – URL: <https://www.carpentertechnology.com/quality-assurance-and-control> (дата обращения: 05.05.2026)
262. Business Solutions – KYOCERA. – URL: <https://www.kyoceradocumentsolutions.com/global/en/our-business/business-solutions.html> (дата обращения: 05.05.2026)
263. ATI Services. – URL: <https://www.atimaterials.com/businessproducts/Pages/services.aspx> (дата обращения: 02.04.2026)
264. Order Specialty Parts & Alloy Components – Carpenter Technology. – URL: <https://www.carpentertechnology.com/parts-and-components> (дата обращения: 05.05.2026)

265. Core Technologies: Production Technology – AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/innovation/technology/industrial.html> (дата обращения: 05.05.2026)
266. Product Services – SABIC. – URL: <https://www.sabic.com/en/products/services> (дата обращения: 05.05.2026)
267. Value Added Services – Carpenter Technology. – URL: <https://www.carpentertechnology.com/value-added-services> (дата обращения: 05.05.2026)
268. Group Companies – AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/company/group/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)
269. Corporate Summary – KYOCERA. – URL: https://global.kyocera.com/company/company_profile.html (дата обращения: 05.05.2026)
270. Innovations for a sustainable future – BASF. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/innovation> (дата обращения: 02.04.2026)
271. CeramTec Group Purchasing. – URL: <https://www.ceramtec-group.com/en/company/purchasing> (дата обращения: 05.05.2026)
272. Engineering Performance with Purpose – Hexcel Corporation. – URL: <https://www.hexcel.com/about-us/#suppliers> (дата обращения: 05.05.2026)
273. Fuyao Global – Fuyao Group. – URL: <https://www.fuyaogroup.com/en/global.html> (дата обращения: 05.05.2026)
274. High-Performance Ceramics from CeramTec. – URL: <https://www.ceramtec-industrial.com/en/global-supplier> (дата обращения: 05.05.2026)
275. Unlocking Morgan's potential – Morgan Advanced Materials. – URL: <https://www.morganadvancedmaterials.com/en-gb/who-we-are/strategy/> (дата обращения: 05.05.2026)
276. Medium-Term Management Plan – AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/company/strategy/plan/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)
277. Renewable Materials and Biotechnology – Syensqo. – URL: <https://www.syensqo.com/en/innovation/renewable-materials-biotechnology> (дата обращения: 05.05.2026)
278. Advancing Markets Through Innovation – Syensqo. – URL: <https://www.syensqo.com/en/innovation/market-expertise> (дата обращения: 05.05.2026)
279. Digitalization – BASF. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/digitalization> (дата обращения: 02.04.2026)
280. Accelerating Innovation with AI-Powered Chemistry – Syensqo. – URL: <https://www.syensqo.com/en/innovation/ai> (дата обращения: 05.05.2026)
281. 10 Emerging AI Solutions for Material Science 2026. – URL: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/ai-solutions-for-material-science/> (дата обращения: 08.05.2026)
282. Common Basic Technologies – AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/innovation/technology/basic.html> (дата обращения: 05.05.2026)
283. Technology Development Strategy – AGC. – URL: <https://www.agc.com/en/innovation/strategy/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)

284. Murata technology platform. – URL: <https://corporate.murata.com/en-eu/technology/technology-platform> (дата обращения: 05.05.2026)
285. R&D, driving innovation – Saint-Gobain. – URL: <https://www.saint-gobain.com/en/rd-driving-innovation> (дата обращения: 05.05.2026)
286. Teijin's Technologies. – URL: <https://www.teijin.com/rd/technology/index.html> (дата обращения: 05.05.2026)
287. Arclin enters definitive agreement to purchase DuPont's Aramids business. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/arclin-completes-acquisition-of-duponts-aramid-business-including-kevlar-and-nomex/> (дата обращения: 05.05.2026)
288. Stratasys to acquire MarkForged and its continuous carbon fibre technology – JEC. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/stratasys-to-acquire-markforged-and-its-continuous-carbon-fibre-technology/> (дата обращения: 09.06.2026)
289. 3M participates in JOINT3, a next-generation semiconductor packaging consortium. – URL: <https://news.3m.com/2025-09-30-3M-participates-in-JOINT3,-a-next-generation-semiconductor-packaging-consortium> (дата обращения: 05.05.2026)
290. 3M joins consortium to accelerate semiconductor technology in the US // 3M News Center. – URL: <https://news.3m.com/2025-02-03-3M-joins-consortium-to-accelerate-semiconductor-technology-in-the-US> (дата обращения: 05.05.2026)
291. Penn State, Morgan Advanced Materials partner to improve semiconductor materials. – URL: <https://www.psu.edu/news/research/story/penn-state-morgan-advanced-materials-partner-improve-semiconductor-materials> (дата обращения: 05.05.2026)
292. SABIC and Cybershield team up to advance use of plated ULTEM™ resin in aircraft parts. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR706/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
293. Syensqo and Terma sign a new agreement, strengthening partnership. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/syensqo-and-terma-sign-a-new-agreement-strengthening-partnership/> (дата обращения: 05.05.2026)
294. Syensqo and Toray Group strengthen aerospace supply security through strategic partnership. – URL: <https://www.syensqo.com/en/press-release/syensqo-and-toray-strengthen-aerospace-supply-security-through-strategic-partnership> (дата обращения: 05.05.2026)
295. Toray Composite Materials America and Syensqo Enter into Long-Term Carbon Fiber Supply Agreement for Aerospace Applications. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=f1j40nbv> (дата обращения: 05.05.2026)
296. Hyundai Motor Group and Toray develop advanced materials for future mobility. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/spotted-by-jec/hyundai-motor-group-and-toray-will-develop-advanced-materials-for-future-mobility/> (дата обращения: 05.05.2026)
297. Five French companies join forces in thermoplastic composites. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/five-french-companies-join-forces-in-thermoplastic-composites/> (дата обращения: 05.05.2026)

298. KVE and Pinette to offer equipment for the assembly of thermoplastic composites. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/kve-and-pinette-to-offer-induction-welding-equipment-for-the-assembly-of-thermoplastic-composites/> (дата обращения: 05.05.2026)
299. Syensqo and Vartega collaborate to advance circularity of carbon fibre composites. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/spotted-by-jec/syensqo-and-vartega-collaborate-to-advance-circularity-of-carbon-fibre-composites/> (дата обращения: 05.05.2026)
300. Composite Recycling's reclaimed glass fibres used by Owens Corning. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/spotted-by-jec/composite-recycling-and-owens-corning-partner-to-make-composite-plastic-waste-more-circular/> (дата обращения: 05.05.2026)
301. Syensqo and Aramco to develop composites value chain in Saudi Arabia. – URL: <http://jeccomposites.com/news/by-jec/syensqo-and-aramco-to-develop-composites-value-chain-in-saudi-arabia/> (дата обращения: 05.05.2026)
302. Toray and Convergent partner to advance digital engineering. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/spotted-by-jec/toray-and-convergent-partner-to-advance-digital-engineering/> (дата обращения: 07.05.2026)
303. Toray Opens Advanced Semiconductor Technologies and Materials R&D Center in Taiwan. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=ndviu17d> (дата обращения: 05.05.2026)
304. BASF constructs new electronic grade ammonium hydroxide plant in Ludwigshafen. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/news-and-media/news-releases/2025/10/p-25-217> (дата обращения: 05.05.2026)
305. BASF invests in new semiconductor-grade sulfuric acid plant in Ludwigshafen. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/news-and-media/news-releases/2025/04/p-25-091> (дата обращения: 05.05.2026)
306. BASF to build additional production capacity for X3D® catalyst shaping technology in Ludwigshafen. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/news-and-media/news-releases/2024/11/p-24-317> (дата обращения: 05.05.2026)
307. SABIC expands PPE oligomers capacity for AI and 5G data-center PCBs. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR759/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
308. 3M announces capacity investment for Expanded Beam Optical (EBO) production // 3M News Center. – URL: <https://news.3m.com/2026-03-16-3M-announces-capacity-investment-for-Expanded-Beam-Optical-EBO-production> (дата обращения: 05.05.2026)
309. Saudi's SABIC gives go-ahead for \$6.4 bln China petrochemical plant. – URL: <https://www.reuters.com/markets/commodities/saudis-sabic-gives-go-ahead-64-bln-china-petrochemical-plant-2024-01-22/> (дата обращения: 05.05.2026)
310. SABIC launches certified low carbon chemicals with CO2 footprint savings. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR724/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
311. SABIC opens multi- million-dollar ULTEM™ resin manufacturing facility in Singapore to meet growing demand in Asia-Pacific. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR740/en/> (дата обращения: 05.05.2026)

312. Cellasto® strengthens its position in India by taking steps for capacity enhancement. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/news-and-media/news-releases/2025/02/p-25-003> (дата обращения: 05.05.2026)
313. A major carbon fibre production base opened in Inner Mongolia. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/shanghai-petrochemical-to-open-a-major-carbon-fibre-production-base-in-inner-mongolia/> (дата обращения: 05.05.2026)
314. 3M invests in green hydrogen leader Ohmium in continuing effort to advance breakthrough climate technologies. – URL: <https://news.3m.com/2024-07-16-3M-invests-in-green-hydrogen-leader-Ohmium-in-continuing-effort-to-advance-breakthrough-climate-technologies> (дата обращения: 05.05.2026)
315. AT&M Deepens Investment in Rare Earth Magnet Research Amid Global Tech War. – URL: <https://rareearthexchanges.com/news/atm-deepens-investment-in-rare-earth-magnet-research-amid-global-tech-war/> (дата обращения: 05.05.2026)
316. Proterial to Establish a Production Site for Amorphous Metal Material Metglas™ in India. – URL: <https://www.proterial.com/e/press/2026/n0227.html> (дата обращения: 05.05.2026)
317. BASF receives funding approval for the construction of a heat pump for CO2-free steam generation. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/news-and-media/news-releases/2024/10/p-24-300> (дата обращения: 05.05.2026)
318. The core of one of the most powerful industrial heat pumps has arrived at BASF's Ludwigshafen site. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/news-and-media/news-releases/2026/02/p-26-068> (дата обращения: 05.05.2026)
319. NCC's first carbon fibre development facility located in North-West England. – URL: <https://www.jec-composites.com/news/spotted-by-jec/ncc-first-carbon-fibre-development-facility-located-in-north-west-england/> (дата обращения: 05.05.2026)
320. China Chemical News – 英国新建碳纤维研发设施 – 资讯 – 中国化工信息周刊网. – URL: <https://www.chemnews.com.cn/c/2026-03-17/772981.shtml> (дата обращения: 05.05.2026)
321. Holy Technologies to launch autonomous factory for composite components. – URL: <https://www.jec-composites.com/news/spotted-by-jec/holy-technologies-to-launch-autonomous-factory-for-composite-components/> (дата обращения: 05.05.2026)
322. Closing the high-volume gap. – URL: <https://www.composites.mediaclosing-the-high-volume-gap> (дата обращения: 05.05.2026)
323. Mitsubishi to enhance its carbon fibre production in Japan and the US. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/mitsubishi-to-enhance-its-carbon-fibre-production-in-japan-and-the-us/> (дата обращения: 05.05.2026)
324. Perseus Materials closes strategic investment from Lockheed Martin. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/spotted-by-jec/perseus-materials-closes-strategic-investment-from-lockheed-martin/> (дата обращения: 05.05.2026)
325. Toray Unit to Set Up New High-Performance Plastic Compound Production Site in Southern China. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=17spe5hj> (дата обращения: 05.05.2026)
326. SABIC will exhibit at OFC 2025 specialty materials that empower robust data infrastructures. – URL: <https://www.pressreleasesfinder.com/SABIC/SABICPR749/en/> (дата обращения: 05.05.2026)

327. Toray Develops Highly Antistatic ABS Resin for Semiconductor and Electronic Component Processes. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=4xzibfeo> (дата обращения: 05.05.2026)
328. Toray Develops Photo definable Polyimide Sheet for Next-Gen Semiconductors that Shortens Processes and Cuts Costs. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=g5c42y8e> (дата обращения: 05.05.2026)
329. High Thermal Resistant, and Low-Residual Stress Photo-definable Polyimide Sealing Material – Contributing to Improved Reliability and Miniaturization of MEMS Devices. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=rzv61joa> (дата обращения: 05.05.2026)
330. SABIC testing shows high potential of phase-change thermoplastics in preventing thermal runaway in EV batteries. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR713/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
331. SABIC displays breakthrough solutions for energy storage and distribution at The Battery Show Europe 2024. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR704/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
332. SABIC features at PCIM Europe 2025 specialty thermoplastics that help address challenges with higher-voltage electrical applications. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR753/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
333. SABIC to highlight at PCIM Asia 2025 specialty dielectric films that address challenges of high-voltage, high-heat electrical applications. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR756/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
334. SABIC's new LNP™ THERMOCOMP™ compound with non-halogenated flame retardance helps boost EVCU safety and protection. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR747/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
335. SABIC's versatile ULTEM™ resins, on display at AIX 2024, support recycling and sustainability goals. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR707/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
336. SABIC introduces new LNP™ ELCRES™ FST resins that comply with the most stringent fire safety standards for railway interiors. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR720/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
337. SABIC debuts LNP™ ELCRES™ CXL PC copolymers to address high chemical exposure in mobility, electronics, industrial and infrastructure. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR736/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
338. SABIC introduces MEGAMOLDING™ platform to enable manufacturability of large thermoplastic parts across multiple industries. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR750/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
339. SABIC to debut non-fluorinated SILTEM™ resin blends with enhanced performance. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR758/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
340. SABIC debuts specialty materials for enhanced auto design, function & circularity at PIAE 2026. – URL: <https://www.pressreleasefinder.com/SABIC/SABICPR769/en/> (дата обращения: 05.05.2026)
341. Toray Develops PFAS-Free Flexible PPS Resin Combining Excellent Flame Retardancy and Heat Resistance for Cooling Pipes, Wiring Components, and Other Applications. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=usmwb85a> (дата обращения: 05.05.2026)

342. Toray Develops Spherical Polyamide 12 Particles for 3D Printers – Delivering Superior Surface Quality and High Impact Strength in 3D-Printed Parts – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=8w5xcqib> (дата обращения: 05.05.2026)
343. BASF inaugurates new Catalyst Development and Solids Processing Center in Ludwigshafen. – URL: <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/news-and-media/news-releases/2024/12/p-24-319> (дата обращения: 05.05.2026)
344. Toray Develops Energy-Saving Chemical Substance Conversion Bioreactor Technology. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=k2txj976> (дата обращения: 05.05.2026)
345. Advances in finite element analysis for anisotropic composites. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/advances-in-finite-element-analysis-for-anisotropic-composites/> (дата обращения: 05.05.2026)
346. GKN Aerospace and partners successfully complete ASCEND programme, transforming high-rate composite manufacturing. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/spotted-by-jec/gkn-aerospace-and-partners-successfully-complete-ascend-programme-transforming-high-rate-composite-manufacturing/> (дата обращения: 05.05.2026)
347. Saudi's SABIC to sell steel unit Hadeed to PIF for \$3.3 billion. – URL: <https://www.reuters.com/markets/deals/saudis-sabic-sell-steel-unit-hadeed-pif-33-bln-statement-2023-09-03/> (дата обращения: 05.05.2026)
348. SABIC Completes Sale of Hadeed Unit to Saudi Wealth Fund. – URL: <https://www.1arabia.com/2024/05/sabic-completes-sale-of-hadeed-unit-to.html> (дата обращения: 05.05.2026)
349. Dow announces agreement to sell its 50% ownership in DowAksa joint venture. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/spotted-by-jec/dow-announces-agreement-to-sell-its-50-ownership-in-dowaksa-joint-venture/> (дата обращения: 05.05.2026)
350. The sale of Owens Corning's glass fibre business to Praana completed, the entity becomes OCF. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/owens-corning-praana-sale-completed-new-chief-financial-and-operating-officer/> (дата обращения: 07.05.2026)
351. Saint-Gobain divests Freeglass, its manufacturing plastic components business for the automotive industry. – URL: <https://www.saint-gobain.com/en/news/saint-gobain-divests-freeglass-its-manufacturing-plastic-components-business-automotive> (дата обращения: 05.05.2026)
352. Teijin Limited divests its automotive business in the US. – URL: <https://www.jeccomposites.com/news/by-jec/aurelius-private-equity-to-acquire-teijin-automotive-technologies-north-america/> (дата обращения: 05.05.2026)
353. Toray to Divest Remaining Stake in Hungarian Battery Separator Film Joint Venture. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=hwmnqgpi> (дата обращения: 05.05.2026)
354. Toray Completes Sale of Stake in LG Toray Hungary Battery Separator Kft. – URL: <https://www.toray.com/news/article.html?contentId=cr3o6sj3> (дата обращения: 05.05.2026)
355. Bain consortium secures \$7.5bn Hitachi Metals deal. – URL: <https://www.financierworldwide.com/bain-consortium-secures-75bn-hitachi-metals-deal> (дата обращения: 05.05.2026)
356. Bain-led consortium to buy Hitachi Metals for \$7.5 bln. – URL: <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/bain-led-consortium-buy-hitachi-metals-75-bln-2021-04-28/> (дата обращения: 05.05.2026)

357. Corporate History (Detailed) – Proterial, Ltd. – URL: <https://www.proterial.com/e/corp/history.html> (дата обращения: 05.05.2026)
358. Аэро-Композит – ПАО "Яковлев". – URL: <https://yakovlev.ru/structure/aerocomposit/> (дата обращения: 19.04.2026)
359. Продукция – ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС». – URL: <https://eos.su/products-technologies/> (дата обращения: 19.04.2026)
360. Об институте – ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС». – URL: <https://eos.su/about-us/> (дата обращения: 19.04.2026)
361. Ростех – Ключевые отрасли – Новые материалы. – URL: https://rostec.ru/directions/advanced_materials/ (дата обращения: 19.04.2026)
362. Ростех – Медиа – Новости – Материалы «Технологии» обеспечили соответствие двигателей ПД-8 и ПД-14 экологическим нормативам. – URL: <https://rostec.ru/media/news/materialy-tehnologii-obespechili-sootvetstvie-dvigatelye-pd-8-i-pd-14-ekologicheskim-normativam/> (дата обращения: 19.04.2026)
363. Огнеупоры: огнеупорные керамические материалы — НТЦ Бакор. – URL: <https://ntcbakor.ru/napravleniya/ogneupory/> (дата обращения: 18.04.2026)
364. Бакор – Изготовление крупноформатных керамических огнеупорных изделий разного состава и структуры методом 3D-печати. – URL: <https://ntcbakor.ru/press-center/element/IZGOTOVLENIE-KRUPNOFORMATNYKH-KERAMICHESKIKH-OGNEUPORNYKH-IZDELIY-RAZNOGO-SOSTAVA-I-STRUKTURY-METODO/> (дата обращения: 18.04.2026)
365. Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом». – URL: <https://rosatom-composites.ru/> (дата обращения: 15.04.2026)
366. "Росатом Композитные технологии" запустил первое в России серийное производство термопластичных композитов. – URL: https://www.ruscable.ru/news/2025/07/07/_Rosatom_Kompozitnye_tehnologii_zapustil_pervoe/ (дата обращения: 15.04.2026)
367. «Росатом Композитные технологии» запустил первое в России серийное производство термопластичных композитов – Росатом. – URL: <https://rosatom.ru/journalist/news/rosatom-kompozitnye-tehnologii-zapustil-pervoe-v-rossii-seriynoe-proizvodstvo-termoplastichnykh-kom/> (дата обращения: 15.04.2026)
368. Продукция – ВСМПО-АВИСМА. – URL: <https://vsmpo.ru/products/> (дата обращения: 14.04.2026)
369. На ВСМПО-АВИСМА планируют построить экологичный комплекс по обработке титана. – URL: <https://vsmpo.ru/media-center/na-vsmpo-avisma-planiruyut-postroit-ekologichnyy-kompleks-po-obrabotke-titana/> (дата обращения: 14.04.2026)
370. На ВСМПО-АВИСМА выплавляли миллионный титановый слиток. – URL: <https://vsmpo.ru/media-center/na-vsmpo-avisma-vyplavili-millionnyy-titanovyy-slitok/> (дата обращения: 14.04.2026)
371. Структура Группы НЛМК. – URL: <https://www.nlmk.com/ru/about/group-structure/> (дата обращения: 13.04.2026)
372. Бизнес-модель Группы НЛМК. – URL: <https://www.nlmk.com/ru/about/business-model/> (дата обращения: 13.04.2026)

373. НЛМК запустил в работу третий 3D-принтер. – URL: <https://nlmk.com/ru/media-center/press-releases/nlmk-zapustil-v-rabotu-tretyi-3d-printer/> (дата обращения: 13.04.2026)
374. Каталог продуктов – Северсталь. – URL: <https://severstal.com/rus/clients/products-catalog/> (дата обращения: 10.04.2026)
375. «Северсталь» представила Интегрированный отчет за 2025 год. – URL: <https://severstal.com/rus/media/archive/severstal-predstavila-integrirovannyi-otchet-za-2025-god/> (дата обращения: 10.04.2026)
376. Бизнес-модель компании СИБУР. – URL: <https://www.sibur.ru/ru/about/business-model/> (дата обращения: 10.04.2026)
377. СИБУР впервые в России отработал пусконаладку будущего масштабного производства полипропилена на пилотной установке. – URL: <https://nauka.sibur.ru/news/sibur-vpervye-v-rossii-otrabotal-puskonaladku-budushchego-masshtabnogo-proizvodstva-polipropilena-na/> (дата обращения: 10.04.2026)
378. СИБУР и КБГУ объединяют научную экспертизу для масштабирования суперпластиков. – URL: <https://nauka.sibur.ru/news/sibur-i-kbgu-obedinyayut-nauchnyu-ekspertizu-dlya-masshtabirovaniya-superkonstruktsionnykh-plastiko/> (дата обращения: 10.04.2026)
379. СИБУР начал формирование операционного блока крупнейшей в России катализаторной фабрики. – URL: <https://nauka.sibur.ru/news/sibur-nachal-formirovanie-operatsionnogo-bloka-krupneyshego-v-rossii-proizvodstva-katalizatorov-dlya/> (дата обращения: 10.04.2026)
380. Об институте – ВИАМ. – URL: <https://viam.ru/about> (дата обращения: 09.04.2026)
381. НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ продемонстрировал новые решения на «Композит-Экспо 2026». – URL: <https://viam.ru/news/5122> (дата обращения: 09.04.2026)
382. RADAR – Единая витрина для поиска технологических компаний, инвесторов, корпораций, мер поддержки, экспертов, мероприятий и инвестиционных сделок. – URL: <https://radar.leader-id.ru/> (дата обращения: 29.04.2026)
383. Государственный информационный ресурс бухгалтерской (финансовой) отчетности (БФО). – URL: <https://bo.nalog.gov.ru/> (дата обращения: 29.04.2026)
384. Роспатент платформа – Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). – URL: <https://searchplatform.rospatent.gov.ru/> (дата обращения: 24.04.2026)
385. «Росатом» презентовал первый российский крупногабаритный SLM-принтер RusMelt 600M. – URL: https://rosat.tvel.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=20988&arrNewsFilter_idBlock=109 (дата обращения: 20.04.2026)
386. В НПО «Гелар» создан эффективный нейтронозащитный материал. – URL: https://kurchatov-r38.gosweb.gosuslugi.ru/dlya-zhiteley/novosti-i-reportazhi/novosti_10792.html (дата обращения: 20.04.2026)
387. В продажу поступили новые филаменты PLA Silk и Medium Flex. – URL: <https://rec3d.ru/novosti/v-prodazhu-postupili-novye-filamenty-pla-silk-i-medium-flex/> (дата обращения: 22.04.2026)
388. Новая марка ТЭП МК 120КИ(10) для изготовления изоляции кабеля – МК Полимер. – URL: <https://mk-polymer.ru/issledovaniya-i-razrabotki/novaya-marka-tep-mk-12010ki-dlya-izgotovleniya-izolyaczii-kabelya/> (дата обращения: 23.04.2026)

389. Разработка гибридной энергетической установки с электрохимическим генератором с водород-воздушным топливным элементом и накопителем электроэнергии для экологически чистых электрических городских автобусов, легковых и малотоннажных коммерческих транспортных средств. – URL: <https://pt.2035.university/project/503-razrabotka-gibridnoj-energeticeskoj-ustanovki-s-elektrohimiceskim-generatorom-s-vodorod-vozdusnym-toplivnym-elementom-i-nakopitelem-elektroenergii-dla-ekologiceski-cistyh-elektriceskih-gorodskih-avtobusov-legkovyh-i-malotonnaznyh-kommerceskih-transport> (дата обращения: 14.04.2026)
390. На Заводе по переработке пластмасс им. Комсомольской правды прошла презентация нового участка по производству заготовок из сверхвысокомолекулярного полиэтилена для Арктики и медицины. – URL: <https://kp-plant.ru/tpost/grpt38om71-150426g-na-zavode-po-pererabotke-plastma> (дата обращения: 22.04.2026)
391. Создание полного цикла производства СВМПЭ в России. – URL: <https://kp-plant.ru/svmpe> (дата обращения: 22.04.2026)
392. Создание научно – производственных консорциумов по масштабированию отечественной технологии производства СВМПЭ мед.назначения. Расширение сфер применения СВМПЭ. – URL: <https://pt.2035.university/project/importozamesenie-syra-i-zagotovok-ispolzuemyh-otecestvennymi-proizvoditelami-endo-protezoj-dla-razvitiya-v-rf-proizvodstvennoj-tehnologiceskoj-i-naucnoj-bazy-po-napravleniu-n> (дата обращения: 22.04.2026)
393. Проекты ООО «НИЦ «СПМ». – URL: <https://ниц-спм.рф/projects> (дата обращения: 21.04.2026)
394. Materials Genome Initiative. – URL: <https://www.mgi.gov/> (дата обращения: 27.02.2026)
395. NSF Efforts to Achieve the Nation's Vision for the Materials Genome Initiative: Designing Materials to Revolutionize and Engineer Our Future (DMREF). – URL: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26723/nsf-efforts-to-achieve-the-nations-vision-for-the-materials-genome-initiative> (дата обращения: 27.02.2026)
396. Materials Genome Initiative Strategic Plan – 2021. – URL: None (дата обращения: 27.02.2026)
397. Designing Materials to Revolutionize and Engineer our Future (DMREF). NSF – National Science Foundation. – URL: <https://www.nsf.gov/funding/opportunities/dmref-designing-materials-revolutionize-engineer-our-future/nsf25-508/solicitation> (дата обращения: 27.02.2026)
398. Investing in Manufacturing Communities Partnership (IMCP). – URL: <https://www.eda.gov/archives/2016/imcp/> (дата обращения: 27.02.2026)
399. Utah Advanced Materials and Manufacturing Initiative. – URL: <https://americanmcc.org/utahmc/> (дата обращения: 27.02.2026)
400. Manufacturing USA. – URL: <https://www.manufacturingusa.com/> (дата обращения: 01.04.2026)
401. Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation (IACMI). – URL: <https://iacmi.org/our-story/> (дата обращения: 03.04.2026)
402. America Makes. – URL: <https://www.americamakes.us/> (дата обращения: 27.02.2026)
403. Science Survives Existential Threat From Trump Budget as Senate Rejects Gutting NASA, NSF, & NIST – U.S. Senate Committee on Commerce, Science, & Transportation. – URL: <https://www.commerce.senate.gov/2026/1/ves-existential-threat-from-trump-budget-as-senate-rejects-gutting-nasa-nsf-nist> (дата обращения: 27.02.2026)

404. Manufacturing USA – IACMI. – URL: <https://www.iacmi.org/about/manufacturing-usa/> (дата обращения: 27.02.2026)
405. CHIPS and Science Act – H.R.4346 – 117th Congress (2021-2022). – URL: <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346> (дата обращения: 27.02.2026)
406. Regional Technology and Innovation Hubs (Tech Hubs) – U.S. Economic Development Administration. – URL: <https://www.eda.gov/funding/programs/regional-technology-and-innovation-hubs> (дата обращения: 27.02.2026)
407. Catalyzing Innovation in Technology through Regional Tech Hubs. – URL: <https://2021-2025.state.gov/briefings-foreign-press-centers/catalyzing-innovation-in-tech-through-regional-tech-hubs/> (дата обращения: 27.02.2026)
408. Facts and Figures: EDA Awards Phase 2 Grants Under Tech Hubs and Recompete Programs. – URL: https://www.congress.gov/crs_external_products/IN/HTML/IN12413.web.html (дата обращения: 27.02.2026)
409. Division of Materials Research: Topical Materials Research Programs (DMR-TMRP) – U.S. National Science Foundation. – URL: <https://www.nsf.gov/funding/opportunities/dmr-tmrp-division-materials-research-topical-materials-research> (дата обращения: 27.02.2026)
410. Division of Materials Research: Topical Materials Research Programs (DMR:TMRP). – URL: <https://www.nsf.gov/funding/opportunities/dmr-tmrp-division-materials-research-topical-materials-research/nsf23-612/solicitation> (дата обращения: 27.02.2026)
411. Critical Minerals and Materials Accelerator. – URL: <https://www.energy.gov/eere/ammto/critical-minerals-and-materials-accelerator-0> (дата обращения: 27.02.2026)
412. Entries open for Critical Minerals and Materials Accelerator Funding Opportunity (US) – fundsforNGOs. – URL: <https://www2.fundsforngos.org/infrastructure-support/entries-open-for-critical-minerals-and-materials-accelerator-funding-opportunity-us/> (дата обращения: 27.02.2026)
413. National Composites Centre. – URL: <https://www.nccuk.com/about-us/> (дата обращения: 27.02.2026)
414. Advanced Manufacturing Research Centre (AMRC). – URL: <https://hvm.catapult.org.uk/centre/advanced-manufacturing-research-centre-amrc/> (дата обращения: 27.02.2026)
415. 2023 Update to the 'Catapult Network Review. – URL: None (дата обращения: 27.03.2026)
416. AMSCI funding approved for the Composites Innovation Cluster. – URL: <https://www.composites.media/amsci-funding-approved-for-the-composites-innovation-cluster> (дата обращения: 27.02.2026)
417. Composites Research Group: Composites Innovation Cluster (CIC). – URL: <https://www.nottingham.ac.uk/research/groups/composites-research-group/research/composites-manufacturing/composites-innovation-cluster-cic.aspx> (дата обращения: 02.03.2026)
418. Composites Innovation Cluster celebrates its first year. – URL: <https://innovationintextiles.com/composites-innovation-cluster-celebrates-its-first-year/> (дата обращения: 02.03.2026)
419. 2016 UK National Composites Strategy. – URL: <https://nearyou.imeche.org/near-you/UK/Western/event-detail?id=12125> (дата обращения: 02.03.2026)
420. Largest ever UK Government R&D investment will make UK composites world leader – 10.12.2018. – URL: <https://hvm.catapult.org.uk/news/largest-ever-uk-government-rd-investment-will-make-uk-composites-world-leader/> (дата обращения: 02.03.2026)

421. National materials innovation strategy. – URL: <https://www.royce.ac.uk/wp-content/uploads/2025/05/National-Materials-Innovation-Strategy-8-1-25-Website.pdf> (дата обращения: 02.03.2026)
422. Shaping the UK's Materials Future: Launching the National Materials Innovation Strategy. – URL: <https://www.royce.ac.uk/news/shaping-the-uks-materials-future-launching-the-national-materials-innovation-strategy/> (дата обращения: 02.03.2026)
423. National Materials Innovation Strategy: Unlocking UK Economic Growth Through Materials Innovation. – URL: <https://www.royce.ac.uk/collaborate/innovationstrategy/> (дата обращения: 02.03.2026)
424. National Materials Innovation Programme: Feasibility Studies – Innovation Funding Service. – URL: <https://apply-for-innovation-funding.service.gov.uk/competition/2326/overview/ca8aab61-a03b-431f-94a8-5c9b008495d5> (дата обращения: 02.03.2026)
425. Advanced Manufacturing Sector Plan. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/advanced-manufacturing-sector-plan> (дата обращения: 02.03.2026)
426. National Materials Innovation Programme: Feasibility Studies (United Kingdom) – Funds for Companies. – URL: <https://fundsforcompanies.fundsforngos.org/grant/national-materials-innovation-programme-feasibility-studies-united-kingdom/> (дата обращения: 02.03.2026)
427. Horizon Europe the EU's funding programme for research and innovation. – URL: https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/horizon-europe_en (дата обращения: 02.03.2026)
428. CORDIS EU research result. – URL: [https://cordis.europa.eu/search?q=startDate%3E%3D2003-01-01%20AND%20endDate%3C%3D2024-01-01%20AND%20\(%27composite%27\)&p=1&num=10&srt=Relevance:decreasing](https://cordis.europa.eu/search?q=startDate%3E%3D2003-01-01%20AND%20endDate%3C%3D2024-01-01%20AND%20(%27composite%27)&p=1&num=10&srt=Relevance:decreasing) (дата обращения: 02.03.2026)
429. Advanced Materials for Industrial Leadership – Research and innovation. – URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/chemicals-and-advanced-materials/advanced-materials-industrial-leadership_en (дата обращения: 02.03.2026)
430. European Partnership Innovative Advanced Materials for Europe. – URL: <https://www.iam-i.eu/iam4eu-partnership/> (дата обращения: 02.03.2026)
431. Advanced Materials calls under IAM4EU. – URL: <https://www.iam-i.eu/our-work/#priorities> (дата обращения: 02.03.2026)
432. European Circular Composites Alliance – EuCIA. – URL: <https://eucia.eu/ecca/> (дата обращения: 02.03.2026)
433. ECCA: European Circular Composites Alliance – European Circular Economy Stakeholder Platform. – URL: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/dialogue/existing-eu-platforms/ecca-european-circular-composites-alliance> (дата обращения: 02.03.2026)
434. Over 160 companies join the ECCA. – URL: https://www.jecomposites.com/news/by-jec/over-160-companies-join-the-ecca/?news_type=announcement,business&exceptionaltags=sustainability (дата обращения: 02.03.2026)
435. Advanced Materials Act – European Commission. – URL: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14952-Advanced-Materials-Act_en (дата обращения: 02.03.2026)

436. EU Commission launches consultation on future Advanced Materials Act. – URL: <https://www.bayfor.org/en/news/latest-news/news-detail/5300-eu-commission-launches-consultation-on-future-advanced-materials-act.html> (дата обращения: 02.03.2026)
437. 中国制造2025 (Made in China 2025) // 微信公众平台. – URL: http://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzUzODAx-MjA0OQ==&mid=2247496764&idx=1&sn=69edafcff965c8b48b3820fea5bad2a5&chksm=fadc84c2cdab0dd43bcd5efda4edb59018872c87ca9d18475e8ba2f636fc9b6a7d119f96b963#rd (дата обращения: 04.04.2026)
438. Инициатива "Сделано в Китае 2025". – URL: <https://www.rcpm.ru/madeinchina2025> (дата обращения: 02.03.2026)
439. 13th Five-Year Plan on Scientific and Technological Innovation in Material Science. – URL: <https://un.china-mission.gov.cn/eng/chinaandun/economicdevelopment/kj/201709/P020210901031849043248.pdf> (дата обращения: 02.03.2026)
440. Wang H., Xie J. Editorial for Special Issue on Materials Genome Engineering – 24.01.2020. – Vol. 6. – Issue 6. – P. 585-586. – ISSN 2095-8099. – DOI 10.1016/j.eng.2020.05.007.
441. 工信部联原 (National New Material Testing and Evaluation Platform Construction Plan, 2017). – URL: <https://www.waizi.org.cn/doc/29785.html> (дата обращения: 02.03.2026)
442. 盘点|国家新材料测试评价平台崛起的高峰时刻 (National New Material Testing and Evaluation Platform Construction Plan). – URL: <http://www.ciamite.com/medias/news/4341.html> (дата обращения: 02.03.2026)
443. 国家新材料测试评价平台_百度百科 (About National New Material Testing and Evaluation Platform Construction Plan). – URL: <https://baike.baidu.com/item/%E5%9B%BD%E5%AE%B6%E6%96%B0%E6%9D%90%E6%96%99%E6%B5%8B%E8%AF%95%E8%AF%84%E4%BB%B7%E5%B9%B3%E5%8F%B0/63109058#reference-4> (дата обращения: 02.03.2026)
444. China's 14th Five-Year Plan (2021–2025) for National Economic and Social Development and Vision 2035 of the People's Republic of China. – URL: None (дата обращения: 02.03.2026)
445. Recommendations of the Central Committee of the Communist Party of China for Formulating the 15th Five-Year Plan for National Economic and Social Development. – URL: https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0660_CCP_4th_plenum_proposal_EN.pdf (дата обращения: 02.03.2026)
446. 工信部等九部门联合印发《原材料工业数字化转型工作方案（2024—2026年）》_上海市企业服务云 (Work Plan for Digital Transformation of the Raw Materials Industry). – URL: <https://www.ssme.sh.gov.cn/public/news!loadNewsDetail.do?id=2c9e88328d3592a1018d449bc2770a6c> (дата обращения: 02.03.2026)
447. China Unveils Three-Year Plan to Digitize Raw Materials Industry. – URL: <https://thegulfobserver.com/china-unveils-three-year-plan-to-digitize-raw-materials-industry/> (дата обращения: 02.03.2026)
448. China's new Catalogue for Encouraged Foreign Investment – effective from February 2026. – URL: <https://www.roedl.com/en/insights/chinas-new-catalogue-foreign-investments-2026/> (дата обращения: 02.03.2026)

449. Годовой отчет Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2022 год. – URL: <https://rosatom.ru/upload/iblock/850/850acf8ec0dd0a8e1a1abc4f23246b2f.pdf> (дата обращения: 04.03.2026)
450. В РАН обсудили выполнение дорожной карты развития направления «Технологии новых материалов и веществ». – URL: <https://new.ras.ru/press-center/v-ran-obsudili-vypolnenie-dorozhnoy-karty-razvitiya-napravleniya-tehnologii-novykh-materialov-i-veshch/> (дата обращения: 04.03.2026)
451. Правительство утвердило комплексную научно-техническую программу «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства». – URL: <http://government.ru/docs/49027/> (дата обращения: 04.03.2026)
452. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2025 г. № 3260-р О внесении изменений в распоряжение Правительства Российской Федерации от 4 июля 2023 г. № 1789-р. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/412949777/> (дата обращения: 04.03.2026)
453. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 04.07.2023 № 1789-р "Об утверждении комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла "Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства". – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202307130029> (дата обращения: 04.03.2026)
454. Национальный проект «Новые материалы и химия». – URL: <https://национальныепроекты.рф/new-projects/novye-materialy-i-khimiya/> (дата обращения: 04.03.2026)
455. Новый элемент. Как в Прикамье реализуется нацпроект «Новые материалы и химия». – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7737606> (дата обращения: 04.03.2026)
456. Основные показатели и мероприятия национального проекта «Новые материалы и химия». – URL: <http://government.ru/info/54322/> (дата обращения: 04.03.2026)
457. Навигатор возможностей кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления "Технет" НТИ (2025). – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2025/12/12/Navigator_TechNet_12-2025.pdf (дата обращения: 03.04.2026)
458. "Новые материалы и химия" 2025-2030: как химическим производствам получить господдержку и гранты – Реестр Гарант. – URL: <https://vnesenie-v-reestr.ru/news/novye-materialy-i-himiya-2025-2030-kak-himicheskim-proizvodstvam-poluchit-gospodderzhku-i-granty> (дата обращения: 04.03.2026)
459. Национальные проекты обеспечат инновационный рост российской экономики. – URL: <https://rg.ru/2026/02/09/neogranichennaia-himiia.html> (дата обращения: 05.03.2026)
460. Новые реализованные проекты 2025: торжество антисанкционной малотоннажки. – URL: <http://rupec.ru/articles/56427/> (дата обращения: 05.03.2026)
461. CSIR Labs (Council of Scientific & Industrial Research). – URL: <https://www.csir.res.in/en/csir-labs> (дата обращения: 05.03.2026)
462. Council of Scientific & Industrial Research. – URL: <https://www.csir.res.in/en/about-us/about-csir> (дата обращения: 05.03.2026)
463. PLI push: Govt launches third round for speciality steel, eyes Rs 44,000 crore fresh investment for boosting production. – URL: <https://timesofindia.indiatimes.com/business/india-business/pli-push-govt-launches-third-round-for-speciality-steel-eyes-rs-44000-crore-fresh-investment-for-boosting-production/articleshow/125088167.cms> (дата обращения: 05.03.2026)

464. India Updates Specialty Steel PLI Scheme. – URL: <https://www.india-briefing.com/news/india-updates-specialty-steel-pli-scheme-35740.html/> (дата обращения: 05.03.2026)
465. IIT Kanpur to lead one of the three Integrated Clean Energy Material Acceleration Platforms (ICMAP) launched by Department of Science & Technology. – URL: <https://www.iitk.ac.in/new/integrated-clean-energy-material-acceleration-platforms> (дата обращения: 03.04.2026)
466. Integrated Clean Energy Material Acceleration Platform launched & funding opportunity announced for Hydrogen Valley Platform at MI meeting – Department Of Science & Technology. – URL: <https://dst.gov.in/integrated-clean-energy-material-acceleration-platform-launched-funding-opportunity-announced> (дата обращения: 05.03.2026)
467. National document on advanced material science, technology unveiled. – URL: <https://www.tehrantimes.com/news/522957/National-document-on-advanced-material-science-technology-unveiled> (дата обращения: 05.03.2026)
468. EMBRAPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial). – URL: <https://embrapii.org.br/> (дата обращения: 05.03.2026)
469. EMBRAPII technology area "Materials and Chemistry". – URL: <https://embrapii.org.br/en/areas-atuacao/materials-and-chemistry/> (дата обращения: 05.03.2026)
470. Brazil's Rare Earth Policy: Strategic Development Guide. – URL: <https://discoveryalert.com.au/brazil-rare-earth-strategy-2025-industrial-policy/> (дата обращения: 05.03.2026)
471. 100 ideas for Brazil to lead in critical minerals and rare earths – BRICS Brasil. – URL: <https://bricsbrasil.com.br/en/critical-minerals-are-earths/> (дата обращения: 05.03.2026)
472. CEBRI wins international call to support the Brazilian Government in developing the National Rare Earth Strategy. – URL: <https://cebri.org/en/midia/701/cebri-wins-international-call-to-support-the-brazilian-government-in-developing-the-national-rare-earth-strategy> (дата обращения: 05.03.2026)
473. National Defense Industrial Strategy Implementation Plan (NDIS-IP). – URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-D-PURL-gpo234260/pdf/GOVPUB-D-PURL-gpo234260.pdf> (дата обращения: 05.03.2026)
474. 7 Lessons from the National Defense Industrial Strategy (NDIS) – BCE Consulting. – URL: <https://bceconsulting.com/insights/7-lessons-from-the-national-defense-industrial-strategy-ndis> (дата обращения: 05.03.2026)
475. ASTRO America issues plan for Guam Additive Materials & Manufacturing Accelerator // Metal Additive Manufacturing. – URL: <https://www.metal-am.com/astro-america-issues-plan-for-guam-additive-materials-manufacturing-accelerator/> (дата обращения: 05.03.2026)
476. A U.S. AM Hub in the Indo-Pacific: ASTRO America's Guam Ecosystem Is Officially Open. – URL: <https://3dprint.com/322009/u-s-am-hub-in-indo-pacific-astro-americas-guam-ecosystem-is-officially-open/> (дата обращения: 05.03.2026)
477. America Makes Announces Two Project Calls Worth \$8M in Funding – America Makes. – URL: <https://www.americamakes.us/america-makes-announces-two-project-calls-worth-8m-in-funding/> (дата обращения: 05.03.2026)
478. The BRICS Network Centre for Materials Science and Nanotechnology. – URL: <https://brics-ncmsn.com/> (дата обращения: 05.03.2026)

479. УрФУ обеспечит работу виртуального сетевого Центра стран БРИКС по материаловедению и нанотехнологиям. – URL: <https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka-i-obrazovanie/25330/> (дата обращения: 05.03.2026)
480. US to reshape critical minerals market, signs multiple pacts to build secure and resilient supply chains. – URL: <https://www.tribuneindia.com/news/business/us-to-reshape-critical-minerals-market-signs-multiple-pacts-to-build-secure-and-resilient-supply-chains/> (дата обращения: 05.03.2026)
481. UAE and United States Sign Framework to Strengthen Secure Supply of Critical Minerals and Rare Earths on the Sidelines of U.S. Critical Minerals Ministerial – UAE Embassy in Washington, DC. – URL: <https://www.uae-embassy.org/news/uae-and-united-states-sign-framework-strengthen-secure-supply-critical-minerals-and-rare> (дата обращения: 05.03.2026)
482. Breaking into Project Vault: A U.S. Role for Central Asia's Strategic Minerals – The Times Of Central Asia. – URL: <https://timesca.com/breaking-into-project-vault-a-u-s-role-for-central-asias-strategic-minerals/> (дата обращения: 05.03.2026)
483. MME inicia estudos para construção da Estratégia Nacional de Terras Raras. – URL: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-inicia-estudos-para-construcao-da-estrategia-nacional-de-terras-raras> (дата обращения: 05.03.2026)
484. Critical Minerals and Metals Strategy South Africa. – URL: https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/202505/critical-minerals-and-metals-strategy-south-africa-2025.pdf (дата обращения: 05.03.2026)
485. South Africa's new critical minerals strategy: promises and paradoxes. – URL: <https://afripoli.org/south-africas-new-critical-minerals-strategy-promises-and-paradoxes#> (дата обращения: 05.03.2026)
486. Перечень поручений по итогам Восточного экономического форума. – URL: <http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/78375> (дата обращения: 05.03.2026)
487. Минпромторг: план развития отрасли редкоземельных металлов в РФ рассчитан до 2030 года. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8342512> (дата обращения: 05.03.2026)
488. Минпромторг: план развития отрасли редкоземов рассчитали до 2030 года. – URL: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/180316> (дата обращения: 05.03.2026)
489. Нормативно-правовое и нормативно-техническое регулирование кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ. 2025 год. Аналитический доклад. – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2025/23/2025_Technet_Pravo.pdf (дата обращения: 20.02.2026)
490. ISO – Materials. – URL: <https://www.iso.org/sectors/materials> (дата обращения: 01.03.2026)
491. ISO/TC 61 – Plastics. – URL: <https://www.iso.org/committee/49256.html> (дата обращения: 01.03.2026)
492. ISO/TC 206 – Fine ceramics. – URL: <https://www.iso.org/committee/54756.html> (дата обращения: 01.03.2026)
493. ISO/TC 33 – Refractories. – URL: <https://www.iso.org/committee/47812.html> (дата обращения: 01.03.2026)
494. ISO/TC 261 – Additive manufacturing. – URL: <https://www.iso.org/committee/46232.html> (дата обращения: 01.03.2026)
495. ISO/TC 17 – Steel. – URL: <https://www.iso.org/committee/46232.html> (дата обращения: 01.03.2026)

496. ISO/TC 26 – Copper and copper alloys. – URL: <https://www.iso.org/committee/47228.html> (дата обращения: 01.03.2026)
497. ISO/TC 79 – Light metals and their alloys. – URL: <https://www.iso.org/committee/50084.html> (дата обращения: 01.03.2026)
498. ISO/TC 107 – Metallic and other inorganic coatings. – URL: <https://www.iso.org/committee/51358.html> (дата обращения: 01.03.2026)
499. ISO/TC 119 – Powder metallurgy. – URL: <https://www.iso.org/committee/51896.html> (дата обращения: 01.03.2026)
500. ISO/TC 132 – Ferroalloys. – URL: <https://www.iso.org/committee/52364.html> (дата обращения: 01.03.2026)
501. ISO/TC 155 – Nickel and nickel alloys. – URL: <https://www.iso.org/committee/53216.html> (дата обращения: 01.03.2026)
502. ISO/TC 156 – Corrosion of metals and alloys. – URL: <https://www.iso.org/committee/53264.html> (дата обращения: 01.03.2026)
503. ISO/TC 164 – Mechanical testing of metals. – URL: <https://www.iso.org/committee/53550.html> (дата обращения: 01.03.2026)
504. ISO/TC 183 – Copper, lead, zinc and nickel ores and concentrates. – URL: <https://www.iso.org/committee/54074.html> (дата обращения: 01.03.2026)
505. ISO/TC 333 – Lithium. – URL: <https://www.iso.org/committee/8031128.html> (дата обращения: 01.03.2026)
506. ISO/TC 298 – Rare earth. – URL: <https://www.iso.org/committee/5902483.html> (дата обращения: 01.03.2026)
507. CEN/TC 249 – Plastics. – URL: https://standards.cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6230,25&cs=13C5B65D4442F7B29E867B5BD1D471F44 (дата обращения: 05.03.2026)
508. CEN/WS 115 – Test method for the evaluation of the adhesive properties of fibre reinforced polymer composite joints. – URL: https://standards.cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:3016314,25&cs=12BABDC3DDBCCD5BCA7559C846E16E571 (дата обращения: 05.03.2026)
509. CEN/TC 184 – Advanced technical ceramics. – URL: https://standards.cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6165,25&cs=1C65F3DEFD44E16F8E6DD9494B1E04AA4 (дата обращения: 05.03.2026)
510. CEN/TC 187 – Refractory products and materials. – URL: https://standards.cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6168,25&cs=115B678A61AC18BCA342B2D5E8CB EAFDE (дата обращения: 05.03.2026)
511. CEN/TC 438 – Additive Manufacturing. – URL: https://standards.cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1961493,25&cs=1405339F09D9DE7E10E88FD2406D31084 (дата обращения: 05.03.2026)

512. CEN/SS M11 – Powder metallurgy. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6334,25&cs=15A343950F21DBA26C1E18E50C7074C63 (дата обращения: 05.03.2026)
513. CEN/SS M14 – Nickel. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:18419,25&cs=16A97121B9A4EB46DBA7B0D1C7205A1BC (дата обращения: 05.03.2026)
514. CEN/TC 132 – Aluminium and aluminium alloys. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6114,25&cs=1640716A6FF4F33153295B0C000305753 (дата обращения: 05.03.2026)
515. CEN/TC 133 – Copper and copper alloys. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6115,25&cs=1A46CABD7BF5717E9E1151FFA935494AC (дата обращения: 05.03.2026)
516. CEN/TC 209 – Zinc and zinc alloys. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6190,25&cs=13706DFFFE027E0985339F1E8768DE813 (дата обращения: 05.03.2026)
517. CEN/TC 262 – Metallic and other inorganic coatings, including for corrosion protection and corrosion testing of metals and alloys. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6243,25&cs=1B55C59BDFA5EF7074F6940FE-AAFF65E2 (дата обращения: 05.03.2026)
518. CEN/TC 306 – Lead and lead alloys. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6287,25&cs=1D602F2BBAA1108DEF3934C46F90946AE (дата обращения: 05.03.2026)
519. CEN/TC 459/SC 1 – Test methods for steel (other than chemical analysis). – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:733642,25&cs=1D17B74CD0C06D45F1548237A1CC02170 (дата обращения: 05.03.2026)
520. CEN/TC 459/SC 2 – Methods of chemical analysis for iron and steel. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:733643,25&cs=11B6521E7DB1035B704AED0C0C97AEE6A (дата обращения: 05.03.2026)
521. CEN/TC 459/SC 3 – Structural steels other than reinforcements. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:734438,25&cs=156E78ACC71015E067B0E36BF7DCB3DBF (дата обращения: 05.03.2026)
522. CEN/TC 459/SC 5 – Steels for heat treatment, alloy steels and free cutting steels. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:734440,25&cs=12F5EA9B278A41FF645F0D17F02A9B0B2 (дата обращения: 05.03.2026)
523. CEN/TC 459/SC 7 – Steels for pressure purposes. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:734448,25&cs=13AAF5BC07D65F91E87516C3E94E70A79 (дата обращения: 05.03.2026)
524. CEN/TC 459/SC 8 – Steel sheet and strip for electrical applications. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:734449,25&cs=18A8D0D7B2C14E8111518305A995C7733 (дата обращения: 05.03.2026)

525. CEN/TC 459/SC 10 – Steel tubes, and iron and steel fittings. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:734451,25&cs=1BF30666C81295D524F59A5E4900FD065 (дата обращения: 05.03.2026)
526. CEN/TC 459/SC 11 – Steel castings and forgings. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:734452,25&cs=11BAAA70CE758B0E67B44E7BBC9E1D62F (дата обращения: 05.03.2026)
527. CEN/TC 459/SC 12 – General issues. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:733637,25&cs=14D5AE9F3346F2BE393B82B973304181D (дата обращения: 05.03.2026)
528. CEN/TC 459/SC 13 – Stainless steels. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:3571002,25&cs=1B0D9A23C8CBDFC08DDFD984613E52F37 (дата обращения: 05.03.2026)
529. CEN/TC 472 – Rare Earth Elements. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:7:::FSP_ORG_ID:3307816&cs=193905FAC81D1B87D76E89346DB340EB8 (дата обращения: 05.03.2026)
530. CEN/WS OntoWF – Terminology definition for domain ontologies in materials science. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:3622146,25&cs=1483755B7A99F79E7D8A027D859D3B033 (дата обращения: 05.03.2026)
531. CEN/WS NAN – Materials characterization – terminology and structured documentation. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:3480033,25&cs=11EC19878FBF64CD9527F6FD5366BDDBA (дата обращения: 05.03.2026)
532. CEN/WS MODA – Materials modelling terminology, classification and metadata. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:2301711,25&cs=1525DDC5A89E6C04A33846E6C7B3CAF3D (дата обращения: 05.03.2026)
533. CEN/WS rPVB – Plastics – Recycled plastics – Characterization of polyvinyl butyral (PVB) recyclates. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:7:::FSP_ORG_ID:3443012&cs=102735D8E9720909B5CE21E586471D838 (дата обращения: 05.03.2026)
534. CEN/WS BIOUPTAKE fibres – Development of reinforced fibres based on recycled materials. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:32:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:3650387,25&cs=10DCAEE236B6ADE572936D9635B4F47FF (дата обращения: 05.03.2026)
535. CEN/WS Biouptake ecotoxicity – BIOUPTAKE – Technical and ecotoxicological analysis of biobased materials. – URL: https://standards.cen-cenelec.eu/ords/f?p=205:7:::FSP_ORG_ID:3736972&cs=19EC21BA1D9EBA0318EA99DBEEDEF57A3 (дата обращения: 05.03.2026)
536. Technical Committees by Designation – ASTM. – URL: <https://www.astm.org/membership-participation/technical-committees/committee-all> (дата обращения: 09.03.2026)

537. Advanced materials – BSI. – URL: <https://knowledge.bsigroup.com/categories/advanced-materials> (дата обращения: 13.03.2026)
538. How do standards support the development of advanced materials. – URL: <https://knowledge.bsigroup.com/articles/how-do-standards-support-the-development-of-advanced-materials> (дата обращения: 13.03.2026)
539. PRI/10 – Terminology for rubbers and plastics – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001407> (дата обращения: 13.03.2026)
540. PRI/21 – Testing of plastics – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001411> (дата обращения: 13.03.2026)
541. PRI/26 – Burning behaviour of plastics and rubbers – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001416> (дата обращения: 13.03.2026)
542. PRI/42 – Fibre reinforced plastics and intermediates – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001425> (дата обращения: 13.03.2026)
543. PRI/52 – Plastics products – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001431> (дата обращения: 13.03.2026)
544. PRI/82 – Thermoplastic materials – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001451> (дата обращения: 13.03.2026)
545. PRI/89 – Plastics – Environmental Aspects – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50092402> (дата обращения: 13.03.2026)
546. WEE/3 – Welding and Thermal Joining of Plastics – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50242467> (дата обращения: 13.03.2026)
547. RPI/1 – Refractory products and materials – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001460> (дата обращения: 13.03.2026)
548. RPI/13 – Advanced technical ceramics – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001461> (дата обращения: 13.03.2026)
549. AMT/8 – Additive manufacturing – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50226095> (дата обращения: 13.03.2026)
550. ACE/61 – Metallic materials for aerospace purposes – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50000719> (дата обращения: 13.03.2026)
551. ACE/61/-/15 – Steels for Aerospace Purposes – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50000700> (дата обращения: 13.03.2026)
552. ACE/61/-/24 – Light Alloys for Aerospace Purposes – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50000704> (дата обращения: 13.03.2026)
553. ACE/65 – Non-metallic materials for aerospace purposes – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50000723> (дата обращения: 13.03.2026)
554. ISE/1 – Iron and steel standards co-ordinating committee – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50000797> (дата обращения: 13.03.2026)

555. ISE/100 – Stainless Steels, Steels for Pressure purposes, Steels for Heat Treatment and Environment related to climate change in the iron and steel industry – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50216843> (дата обращения: 13.03.2026)
556. ISE/101 – Test methods for metals – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50000823> (дата обращения: 13.03.2026)
557. ISE/101/1 – Uniaxial and Ductility Testing – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50002380> (дата обращения: 13.03.2026)
558. ISE/101/4 – Toughness testing – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50002382> (дата обращения: 13.03.2026)
559. ISE/101/5 – Indentation hardness testing – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50002383> (дата обращения: 13.03.2026)
560. ISE/101/6 – Fatigue testing of metals and metal matrix composites – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50002384> (дата обращения: 13.03.2026)
561. ISE/108 – Magnetic alloys and steels including magnetic components, ferrite and magnetic powder materials – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50216851> (дата обращения: 16.03.2026)
562. ISE/110 – Steel Tubes, and Iron and Steel Fittings – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50216853> (дата обращения: 16.03.2026)
563. ISE/111 – Steel Castings and Forgings – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50216854> (дата обращения: 16.03.2026)
564. ISENFE/8 – Corrosion of metals and alloys – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50000832> (дата обращения: 16.03.2026)
565. NFE/8 – Zinc – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001120> (дата обращения: 16.03.2026)
566. NFE/34 – Copper and copper alloys – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001117> (дата обращения: 16.03.2026)
567. NFE/35 – Light metals and their alloys – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001118> (дата обращения: 16.03.2026)
568. STI/40 – Thermal spraying and thermally sprayed coatings – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50001486> (дата обращения: 16.03.2026)
569. WEE/46/2 – Surface Methods – Penetrant, Magnetic Particles – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50003398> (дата обращения: 16.03.2026)
570. LII/1 – Lithium – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50298329> (дата обращения: 16.03.2026)
571. REI/1 – Rare Earths – British Standards Institution. – URL: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/committees/50298273> (дата обращения: 16.03.2026)
572. List of Chinese Standards. – URL: <https://www.chinesestandard.net/StandardList.aspx> (дата обращения: 18.03.2026)

573. Библиография китайских стандартов – Стандартизация в Китае. – URL: <https://cn1.gostinfo.ru/bibliography> (дата обращения: 18.03.2026)
574. Коды китайских стандартов – Стандартизация в Китае. – URL: <https://cn1.gostinfo.ru/cncodes> (дата обращения: 18.03.2026)
575. КНР: нормативное регулирование в строительстве. – URL: <https://ss-center.tilda.ws/chinastandards> (дата обращения: 18.03.2026)
576. JIS部門一覧 – 日本規格協会. – URL: <https://webdesk.jisa.or.jp/books/W11M0220/> (дата обращения: 20.03.2026)
577. JSA規格、国内団体出版物詳細検索 – 日本規格協会. – URL: <https://webdesk.jisa.or.jp/books/W11M0330> (дата обращения: 20.03.2026)
578. Технический комитет 041 «Стекло». – URL: <https://www.gostinfo.ru/pages/Standardization/tk041?ysclid=mnh51q1yus537986811> (дата обращения: 25.03.2026)
579. Перечень документов национальной системы стандартизации, закрепленных за техническим комитетом по стандартизации «Стекло» (ТК 041). – URL: https://www.gostinfo.ru/Content/img/tksecretary/tk041/perechen_standartov.pdf (дата обращения: 25.03.2026)
580. Технический комитет 063 «Стеклопластики, стекловолокна и изделия из них» – НПО Стеклопластик имени Н.Н. Трофимова. – URL: <https://npo-stekloplastic.ru/services/tekhnikeskij-komitet-063/> (дата обращения: 25.03.2026)
581. О закреплении документов национальной системы стандартизации за техническим комитетом по стандартизации "Стеклопластики, стекловолокна и изделия из них" (ТК 063) (с изменениями на 12 декабря 2024 года). – URL: <http://kodeks.karelia.ru/api/show/1301110765> (дата обращения: 25.03.2026)
582. Технический комитет по стандартизации ТК 099 «Алюминий». – URL: <http://tk099.aluminas.ru/> (дата обращения: 25.03.2026)
583. Область деятельности ТК 099 «Алюминий». – URL: http://tk099.aluminas.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=139 (дата обращения: 25.03.2026)
584. Утвержденные документы ТК 099 «Алюминий». – URL: http://tk099.aluminas.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=32&Itemid=145 (дата обращения: 25.03.2026)
585. Проекты стандартов ТК 099 «Алюминий». – URL: http://tk099.aluminas.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=31&Itemid=144 (дата обращения: 25.03.2026)
586. Утвержденные стандарты ТК 182 – ВИАМ. – URL: <https://viam.ru/tk182/uproject> (дата обращения: 25.03.2026)
587. ТК 182 «Аддитивные технологии». – URL: <https://inmm.ru/tk182.php> (дата обращения: 25.03.2026)
588. ТК 214/МТК 543 «Защита изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений». – URL: <https://www.gostinfo.ru/pages/Standardization/tk214?ysclid=mnh8ef4349346043130> (дата обращения: 25.03.2026)

589. Технический комитет 214. – URL: <http://www.sopcor.ru/committee/rukovodstvo-tk-214/> (дата обращения: 25.03.2026)
590. Фонд стандартов ТК 214. – URL: <http://www.sopcor.ru/committee/fond-standartov-tk-214/> (дата обращения: 25.03.2026)
591. Утвержденные стандарты ТК 214. – URL: <http://www.sopcor.ru/committee/utverzhdannye-standarty/> (дата обращения: 25.03.2026)
592. ТК 230 «Пластмассы, полимерные материалы, методы их испытаний» – НИИ Пластмасс. – URL: <https://instplast.ru/ru/tk-230/> (дата обращения: 01.04.2026)
593. Технический комитет по стандартизации ТК 241 "Трубы, фитинги и другие изделия из пластмасс, методы испытаний". – URL: <https://tk241.ru/> (дата обращения: 01.04.2026)
594. Стандартизация электронного машиностроения – в новом техническом комитете. – URL: <https://www.gost.ru/newsRST/redirect/news/1/9842> (дата обращения: 01.04.2026)
595. Перечень национальных стандартов Российской Федерации и межгосударственных стандартов, сводов правил и иных документов по стандартизации, действующих в Российской Федерации на национальном уровне и относящихся к компетенции технического комитета № 312 по стандартизации «Электронное машиностроение и специальные материалы». – URL: <http://imash.ru/tehnicheskij-komitet-312-po-standartizatsii-tk-312/dokumenty/perechen-standartov/perechen-natsionalnyh-standartov/> (дата обращения: 01.04.2026)
596. Технический комитет по стандартизации ТК 357 "Стальные и чугунные трубы и баллоны". – URL: http://tk357.com/?page_id=21 (дата обращения: 01.04.2026)
597. Утвержденные стандарты ТК 357. – URL: http://tk357.com/?page_id=19 (дата обращения: 01.04.2026)
598. Разрабатываемые стандарты ТК 357. – URL: http://tk357.com/?page_id=17 (дата обращения: 01.04.2026)
599. Приказ Росстандарта от 30.12.2022 N 3375 "О закреплении документов национальной системы стандартизации за техническим комитетом по стандартизации "Чугун, прокат и металлоизделия" (ТК 367)". – URL: <https://law.tks.ru/document/722439?ysclid=mnh75rxesu438408732> (дата обращения: 01.04.2026)
600. ТК 367 "Чугун, прокат и металлоизделия". – URL: <https://uim-stavan.ru/tk-367--chugun--prokat-i-metalloizdelija/> (дата обращения: 01.04.2026)
601. Технический комитет ТК 368 "Медь". – URL: <https://www.umbr.ru/ru/project/razrabotka-natsionalnykh-i-gosudarstvennykh-standartov-v-ramkakh-tk-368-med/> (дата обращения: 02.04.2026)
602. Приказ Росстандарта от 30.12.2022 N 3391 "О закреплении документов национальной системы стандартизации за техническим комитетом по стандартизации "Никель. Кобальт" (ТК 370)". – URL: <https://law.tks.ru/document/744188> (дата обращения: 02.04.2026)
603. Стандартизация ЦНИИЧЕРМЕТ. – URL: <https://chermet.net/standardization/> (дата обращения: 02.04.2026)
604. Перечень документов национальной системы стандартизации, закрепленных за техническим комитетом по стандартизации «Редкие и редкоземельные металлы» (ТК 372). – URL: <https://chermet.net/include/standartization/372/Фонд%20стандартов%20ТК%20372.pdf> (дата обращения: 02.04.2026)

605. Приказ Росстандарта от 29.03.2023 N 680 "О закреплении документов национальной системы стандартизации за техническим комитетом по стандартизации "Цветные металлы и сплавы" (ТК 373)". – URL: <https://law.tks.ru/document/729842> (дата обращения: 02.04.2026)
606. Технический комитет по стандартизации – АО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ». – URL: <https://gintsvetmet.ru/patenty-i-standarty/tehnicheskij-komitet-po-standartizacii/> (дата обращения: 02.04.2026)
607. Перечень документов национальной системы стандартизации, закрепленных за техническим комитетом по стандартизации «Металлопродукция из черных металлов и сплавов» (ТК 375). – URL: <https://chermet.net/include/standartization/375/Фонд%20стандартов%20ТК%20375.pdf> (дата обращения: 02.04.2026)
608. Стандарты, разработанные ТК 497. – URL: http://tk497.org/standartyi_razrabotannyye_tk.html (дата обращения: 02.04.2026)
609. Модификаторы расплавов получают стандарты. – URL: <https://www.rst.gov.ru/newsRST/redirect/news/1//8758> (дата обращения: 02.04.2026)
610. ПТК 712 «Модификаторы расплавов» – Ярославский государственный технический университет. – URL: <https://www.ystu.ru/information/university/ptk-712/> (дата обращения: 02.04.2026)
611. ГОСТ Р 57700.42-2023 Численное моделирование полимерных композиционных материалов. Общие положения. – URL: <https://protect.gost.ru/default.aspx/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=4&month=1&year=2024&search=&id=257099&ysclid=m7dg0g0oap306705839> (дата обращения: 20.05.2026)
612. ГОСТ Р 57700.43-2023 Численное моделирование полимерных композиционных материалов. Верификация программного обеспечения. – URL: <https://protect.gost.ru/default.aspx/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=2&month=1&year=2024&search=&id=257031&ysclid=m7dg0xndyn498957871> (дата обращения: 20.05.2026)
613. Перечень действующих национальных стандартов, разработанных ТК 700 "Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии". – URL: <https://vniief.ru/vniief/activity/TK700/list/> (дата обращения: 02.04.2026)
614. Новая система документов по стандартизации – За рубежом. – URL: https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/international/abroad?portal:componentId=a625fc70-bd4a-47f7-aa17-aef2ae45838f&portal:isSecure=false&portal:portletMode=view&navigationalstate=JBPNs_r00ABXdHAAZhY3RpB24AAAAABABBJb25jcmV0ZURvY3VtZW50AARmcm9tAAAAAQADMTlwAAZkb2NfaWQAAAAABAAMyNDQAB19fRU9GX18* (дата обращения: 02.04.2026)
615. Overview of all published DIN SPECs. – URL: <https://www.din.de/en/innovation-and-research/din-spec-en> (дата обращения: 02.04.2026)
616. The Lens. – URL: <https://www.lens.org/lens> (дата обращения: 08.04.2026)
617. Patent № 9839480 B2, Int. Cl. A61B 17 / 00 (2006. 01). Surgical adapter assemblies for use between surgical handle assembly and surgical end effectors: 29.05.2013: published: 12.12.2017; application filed by COVIDIEN LP – 12.12.2017. – URL: <https://patents.google.com/patent/US9839480B2/en> (дата обращения: 08.04.2026)

618. Patent № 9711345B2, Int. Cl. H01L 2L/02 (2006.01), H01L 2.3/532 (2006.01), H01L 2L/768 (2006.01). Method for forming aluminum nitride-based film by PEALD: 2.03.2017: published: 18.07.2017; application filed by ASM IP Holding B.V. – 18.07.2017. – URL: <https://patents.google.com/patent/US9711345B2/en?q=US+9711345+B2+%C2%ABMethod+for+forming+aluminum+nitride-based+film+by+PEALD%C2%BB> (дата обращения: 08.04.2026)
619. Patent № 9456901 B2, Int.Cl. B22F 3/II (2006.01), A6F 2/30 (2006.01). Laser-produced porous structure: 29.07.2010: published 04.10.2016; application filed by Howmedica Osteonics Corp. – 4.10.2016. – URL: <https://patents.google.com/patent/US9456901B2/en?q=US+9456901+B2+%C2%ABLaser-produced+porous+structure%C2%BB> (дата обращения: 09.04.2026)
620. Patent № 9370896B2, Int.Cl. B29C 70/40 (2006.01), B29C 70/42 (2006.01) Methods for fiber reinforced additive manufacturing: 05.07.2014: published 21.06.2016; application filed by MarkForged, Inc. – URL: <https://patents.google.com/patent/US9370896B2/en?q=US+9370896+B2+%C2%ABMethods+for+fiber+reinforced+additive+manufacturing%C2%BB> (дата обращения: 09.04.2026)
621. Patent № 10003168 B1, Int. Cl. H01S 3/09 (2006 . 01), H01S 3/094 (2006 . 01), G01S 77486 (2006 . 01), G01S 17/10 (2006 . 01), H01S 3/067 (2006 . 01), H01S 3/00 (2006 . 01), H01S 3/08 (2006 . 01), G02B 27/09 (2006 . 01), H01S 5/00 (2006 . 01), G01S 7/48 (2006 . 01). Fiber laser with free-space components: 30.11.2017: published 19.07.2018; application filed by LUMINAR TECHNOLOGIES , INC – 19.07.2018. – URL: <https://patents.google.com/patent/US10003168B1/en?q=US+10003168+B1+«Fiber+laser+with+free-space+components»> (дата обращения: 09.04.2026)
622. Miracle D., Senkov O. A critical review of high entropy alloys and related concepts // Acta Materialia. – 2016. – DOI 10.1016/j.actamat.2016.08.081. – URL: https://www.researchgate.net/publication/309370948_A_critical_review_of_high_entropy_alloys_and_related_concepts (дата обращения: 08.04.2026)
623. Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing / S. Ligon, R. Liska, J. Stampfl, M. Gurr, R. Mülhaupt // Chemical Reviews. – 2017. – DOI <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00074>. – URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.7b00074> (дата обращения: 08.04.2026)
624. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review / M. Sanjay, P. Madhu, M. Jawaid, P. Sentharamaikkannan, S. Senthil, S. Pradeep // Journal of Cleaner Production. – 20.01.2018. – Vol. 172. – P. 566–581. – ISSN 0959-6526. – DOI 10.1016/j.jclepro.2017.10.101.
625. Additive manufacturing of advanced ceramic materials / Y. Lakhdar, C. Tuck, J. Binner, A. Terry, R. Goodridge // Progress in Materials Science. – 1.02.2021. – Vol. 116. – Article 100736. – ISSN 0079-6425. – DOI 10.1016/j.pmatsci.2020.100736.
626. Recent advances in soft optical glass fiber and fiber lasers / W. Wang, B. Zhou, S. Xu, Z. Yang, Q. Zhang // Progress in Materials Science. – 1.04.2019. – Vol. 101. – P. 90–171. – ISSN 0079-6425. – DOI 10.1016/j.pmatsci.2018.11.003.
627. Функциональные характеристики отечественных систем автоматизированного проектирования (CAD-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, А.С. Алексахин, А.А. Михайлов, Н.К. Ефимов-Сойни, Ю.Б. Житков, Ю.В. Мурашов, М.А. Жмайло, Д.Т. Лавренко, А.В. Волков, Н.Н. Минин, Ф.Д. Тарасенко, И.Н. Логинов, И.М. Мартынов, И.Ф. Шандер, М.В. Иванов, И.И. Поняева, В.Д. Ануфриева, А.Х. Кайданова, А.С. Голякевич, И.И. Мас-сух, П. А. Буюджи, А.В. Данилин, А.Е. Тимофеев, Д.А. Рытова, В.А. Пастухов, Э.И. Мухаметшина, А.С. Тихонов – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 214 с. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/i24-179.pdf/info> (дата обращения: 16.03.2026)

628. Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа. Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на 2023 год): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, А.С. Алексахин, А.А. Михайлов, И.Б. Войнов, Н.К. Ефимов-Сойни, А.А. Себелев, С.Д. Чишко, Ю.Б. Житков, Ю.А. Рябов, Л.А. Щербина, Ю.В. Мурашов, М.А. Жмайло, И.М. Мартынов, П.А. Воробьев, М.А. Никитин, М.И. Кузьмин, Д.А. Лобачев, Ю.А. Горский, И.Ф. Шандер, Д.С. Евстратов, Ф.Д. Тарасенко, Т.В. Калинина, В.А. Клишкин, А.С. Ковтун, И.Л. Маслова, Д.О. Соловьев, Е.Р. Мартынец, И.И. Поняева, И.И. Массух, А.В. Данилин, Д.О. Лебедев – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 122 с. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/i24-58.pdf/info> (дата обращения: 19.05.2026)

629. Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, А.С. Алексахин, А.А. Михайлов, И.Б. Войнов, Н.К. Ефимов-Сойни, А.А. Себелев, С.Д. Чишко, Ю.Б. Житков, Ю.А. Рябов, Л.А. Щербина, Ю.В. Мурашов, М.А. Жмайло, И.М. Мартынов, П.А. Воробьев, М.А. Никитин, Д.А. Лобачев, И.Ф. Шандер, Ю.А. Горский, М.И. Кузьмин, Д.С. Евстратов, Ф.Д. Тарасенко, Т.В. Калинина, В.А. Клишкин, А.С. Ковтун, И.Л. Маслова, Д.О. Соловьев, И.И. Поняева, Е.Р. Мартынец, В.Д. Ануфриева, А.Х. Кайданова, А.С. Голякевич, И.И. Массух, П.А. Буяджи, А.В. Данилин, А.Е. Тимофеев, Д.А. Рытова, В.А. Пастухов, Э.И. Мухаметшина – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 228 с. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/i24-181.pdf/info> (дата обращения: 19.05.2026)

630. Функциональные характеристики отечественных систем технологической подготовки производства (CAPP-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на апрель 2025 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, Е.П. Чхеидзе, Е.И. Тимофеева, П.С. Распопина, А.А. Старостенко, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, И.И. Массух, П.А. Буяджи, Я.Ю. Попов, А.В. Данилин, Д.А. Рытова, А.Д. Белов, М.П. Суздалева, А.В. Кузнецов, К.Ю. Самсонов, Д.Ю. Борисов, Н.И. Лобода, А.А. Сироткин, С.П. Щейников, В.Н. Аксёнов, М.А. Крутов, И.Е. Ямаев, Л.В. Иванов, Д.Н. Лопаткин, Д.Э. Мотовилов, Д.О. Солонцов – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 226 с. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/i25-257.pdf/info> (дата обращения: 19.05.2026)

631. Функциональные характеристики отечественных систем управления оборудованием с числовым программным управлением (CAM-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, В.Д. Ануфриева, А.Х. Кайданова, А.С. Голякевич, И.И. Массух, П.А. Буяджи, А.В. Данилин, А.Е. Тимофеев, Д.А. Рытова, В.А. Пастухов, Э.И. Мухаметшина, В.Н. Власов, Д.В. Рассохин, К.Ю. Кравченко, В.В. Силин, А.А. Аввакумов, А.М. Сальников, Д.С. Иванов, О.С. Овчинникова, В.А. Елисеев, А.А. Мелехин – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 188 с. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/i24-180.pdf/info> (дата обращения: 19.05.2026)

632. Анализ рынка систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем) в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад: монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова, И. И. Поняева, А.Х. Кайданова, Е. П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П. С. Распопина, А. С. Голякевич, С. А. Чварков, Н. М. Луковникова, И. Б. Андреев, А. О. Ольховик, П. А. Джелали, К.В. Кукушкин, В.Н. Будилов, П.В. Скопин – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 204 с. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/i25-147.pdf/info> (дата обращения: 19.05.2026)

633. ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – URL: <https://protect.gost.ru/gost/details/70271efd-da60-4b0f-b48b-d1431de56f46> (дата обращения: 19.05.2026)

634. Китай официально признал российский ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ИЗДЕЛИЙ. Общие положения» – НЦМУ «Передовые цифровые технологии». – URL: <https://ncmu.spbstu.ru/news/8683> (дата обращения: 14.05.2026)

635. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография / А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, Л.А. Щербина, Е.Р. Мартынец, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, К.В. Кукушкин, А.А. Гамзикова; ред. А.И. Боровков. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 492 с. – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2024/01/29/2023_1129_Монография_ЦД_в_высокотехнологичной_промышленности_Small.pdf (дата обращения: 14.05.2026)
636. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 "О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года". – URL: <https://minek.rk.gov.ru/documents/77bccce-fee7-4cae-b98b-8e3e5fffd454> (дата обращения: 19.05.2026)
637. DTIC ADA426516: Composite Materials Handbook. Volume 1. Polymer Matrix Composites Guidelines for Characterization of Structural Materials. – URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA426516.pdf> (дата обращения: 20.05.2026)
638. Certification of Large Aircraft Composite Structures, Recent Progress and New Trends in Compliance Philosophy 1990. – URL: https://www.icas.org/icas_archive/ICAS1990/1990.html (дата обращения: 20.05.2026)
639. Jahan A., Edwards K., Bahraminasab M. Multi-criteria decision analysis: for supporting the selection of engineering materials in product design. – 2nd ed. – Amsterdam : Butterworth-Heinemann, 2016. – 252 p. – ISBN 978-0-08-100541-5.
640. Ashby M., Shercliff H., Cebon D. Materials: engineering, science, processing and design. – Fourth edition. – Amsterdam : Butterworth-Heinemann, 2019. – ISBN 978-0-08-102376-1.
641. Эксперты – о том, что мешает развитию композитной промышленности в России. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2023/04/10/tabula-rasa-kak-razvivaetsya-kompozitnaya-otras/> (дата обращения: 19.05.2026)
642. Алексей Боровков представил опыт Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» на XII Международном форуме «Эффективные системы менеджмента: Качество. Биоэкономика. Кад- ровый и технологический суверенитет» в Казани. – URL: <http://pish.spbstu.ru/news/9088> (дата обращения: 20.05.2026)
643. Инженеры Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» впервые в России со- здали промышленную технологию производства композита из непрерывного углеволокна для 3D-печати. – URL: <http://pish.spbstu.ru/news/8787> (дата обращения: 20.05.2026)
644. Федор Конюхов и Игорь Потапкин достигли Северного полюса на паралёте с композитным обтека- телем, который разработали и изготовили инженеры Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой ин- жиниринг». – URL: <http://pish.spbstu.ru/news/8874> (дата обращения: 20.05.2026)
645. Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ от 22.09.2020 N 486 "Об утверждении классификатора программ для электронных вычислительных машин и баз данных" (с из- менениями и дополнениями). – URL: <https://base.garant.ru/74832091/?ysclid=ml0w9ig5a388163836> (дата обращения: 26.03.2026)
646. Новейшая версия системы Fibersim от Siemens способствует сокращению сроков разработки изде- лий. OSPData – исследования и анализ рынка информационных технологий. Издательство «Открытые си- стемы». – URL: <https://www.osp.ru/resources/releases?rid=16913> (дата обращения: 19.05.2026)

647. ANSYS Workbench – среда для интеграции инженерных проектов в рамках единого информационного пространства предприятия. – URL: <https://www.ansysadvantage.ru/ansys-workbench/> (дата обращения: 20.05.2026)
648. Ansys GRANTA MI, Управление данными о материалах. – URL: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/materials/granta-mi/> (дата обращения: 20.05.2026)
649. Программный комплекс Digimat. – URL: <https://compositeworld.ru/articles/tech/id60213ba46f331564116760bf> (дата обращения: 20.05.2026)
650. pSeven, Design Exploration & Collaborative Engineering. – URL: <https://www.pseven.io/> (дата обращения: 21.05.2026)
651. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®. – URL: <https://cml-bench.ru> (дата обращения: 20.05.2026)
652. Росатом выпустил обновленную версию программного пакета «Логос». – URL: <https://наука.рф/news/rosatom-vypustil-obnovlennuyu-versiyu-programmnogo-paketa-logos/> (дата обращения: 20.05.2026)
653. САРУС+ Композиты. – URL: <http://sarusplus.ru/composites> (дата обращения: 19.05.2026)
654. Modelling of Nonlinear-Elastic Properties of Composites with Finite Deformations by Asymptotic Homogenization Method. – URL: <http://izvuzmash.ru/catalog/tpmachines/hidden/1232.html> (дата обращения: 20.05.2026)
655. ASTM D3039/D3039M-17 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. – URL: https://www.astm.org/d3039_d3039m-17.html (дата обращения: 15.05.2026)
656. ASTM D3410/D3410M-16e1 Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading. – URL: https://www.astm.org/d3410_d3410m-16e01.html (дата обращения: 15.05.2026)
657. ASTM D3518/D3518M-18 Standard Test Method for In-Plane Shear Response of Polymer Matrix Composite Materials by Tensile Test of a $\pm 45^\circ$ Laminate. – URL: https://www.astm.org/d3518_d3518m-18.html (дата обращения: 19.05.2026)

ИЗДАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СПБПУ



Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, И.И. Поняева, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, М.Ю. Корчков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2026. – 304 с.



Тенденции и перспективы развития технологий «умного» производства. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Е.Р. Мартынец, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 184 с.



Обзор применяемых технологий проведения цифровых испытаний элементов беспилотных летательных аппаратов в России и странах-участниках БРИКС. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, М.Ю. Корчков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 248 с.



Обзор технологий цифрового моделирования композиционных материалов для применения в атомной отрасли. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 176 с.





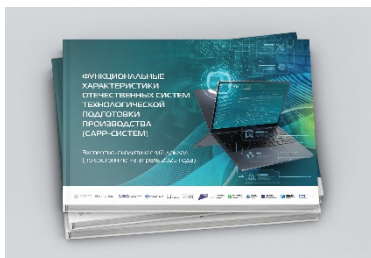
Популяризация инструментов цифрового инжиниринга в деятельности современного инженерного университета в рамках концепции достижения технологического лидерства России: монография / под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 206 с.



Функциональные характеристики отечественных средств информационного моделирования (BIM). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на апрель 2025 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 244 с.



Функциональные характеристики отечественных систем управления производством (MES-систем) для дискретных производств. Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на апрель 2025 года): монография / А.И. Боровков [и др.]; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 244 с.



Функциональные характеристики отечественных систем технологической подготовки производства (САРР-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на апрель 2025 года): монография / А.И. Боровков [и др.]; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 226 с.



Тренды и перспективы развития цифрового проектирования и моделирования (включая цифровые технологии моделирования изделий из композиционных материалов на основе инструментов разработки и применения цифровых двойников композиционных материалов). Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Е.Р. Мартынец, Л.А. Щербина, Е.Р. Хуторцова, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Л.А. Нездоймышапко, Д.Д. Ожигбесова, Е.П. Чхеидзе, И.И. Поняева, Е.И. Павлова, О.И. Рождественский; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 140 с.





Обзор цифровых технологий обеспечения эксплуатации композитных и гибридных конструкций БВС. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, М.Ю. Корчков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 262 с.



Перспективы и сценарии развития промышленной робототехники в рамках направления «Технет» НТИ в 2024 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Л.А. Щербина, Е.Р. Мартынец, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, А.М. Трапезникова, Л.А. Нездодоймышапко; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 122 с.



Перспективы и сценарии развития цифровых платформ в рамках направления «Технет» НТИ в 2024 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Е.Р. Мартынец, Л.А. Нездодоймышапко, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Е.Р. Хуторцова; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 164 с.



Анализ рынка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM-систем) в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, А.Х. Кайданова, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали, К.В. Кукушкин, П.В. Скопин; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 169 с.





Анализ рынка систем инженерного анализа (CAE-систем), в том числе использующих технологии искусственного интеллекта, в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, А.Х. Кайданова, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали, К.В. Кукушкин, А.А. Михайлов, И.Б. Войнов, С.Д. Чишко, А.Д. Новокшенов; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 219 с.



Анализ рынка систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем) в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, А.Х. Кайданова, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали, К.В. Кукушкин, В.Н. Будилов, П.В. Скопин; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 204 с.



Анализ рынка систем управления производством (MES-систем) в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, А.Х. Кайданова, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали, К.В. Кукушкин, В.П. Шкодырев, В.Н. Хохловский, Е.А. Башкирова, А. Диб, П. Жан-Зуауи, И.А. Скогликов, И.В. Бевз, Д.Я. Чавелипарамбил; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 208 с.





Анализ рынка систем диспетчерского управления технологическими процессами и сбором данных (SCADA) в рамках направления «Технет» НТИ: монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, А.Х. Кайданова, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали, К.В. Кукушкин, В.П. Шкодырев, В.Н. Хохловский, Е.А. Башкирова, А. Диб, П. Жан-Зуауи, И.А. Скогликов; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 243 с.



Тренды и сценарии развития рынка систем расширенного планирования производства (APS-систем) в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, С.Н. Гудырин, А.В. Морозов, А.В. Чеславский, И.Б. Гиндин, А.М. Шакин, А.Р. Залыгин, Н.И. Прытков, А.М. Трапезникова, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 112 с.



Исследование рынка цифровых платформ для оптовой торговли в странах БРИКС и Ближнего Востока. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.Т. Хуторцова, А.А. Корчевская, Е.Н. Дьяченко, Н.И. Прытков, А.М. Трапезникова, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 144 с.



Перспективы и сценарии развития новых материалов в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Л.А. Щербина, Е.Р. Мартынец, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, Н.И. Прытков, А.М. Трапезникова, О.В. Толочко, И.А. Кобыхно, Е.В. Бобрылина; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 184 с.





Функциональные характеристики отечественных систем автоматизированного проектирования (САД-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 214 с.



Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (САЕ-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 228 с.



Функциональные характеристики отечественных систем управления оборудованием с числовым программным управлением (САМ-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 188 с.



Функциональные характеристики отечественных систем управления жизненным циклом изделия (РЛМ-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 174 с.



Направления и формы сотрудничества отечественных разработчиков индустриального программного обеспечения с системой образования. Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на апрель 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 132 с.





Тренды и сценарии развития рынка авиационных двигателей, включая двигатели беспилотных летательных аппаратов, в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Е.Р. Мартынец, Л.А. Щербина, Н.И. Прытков, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 204 с.



Тренды и сценарии развития рынков решений в области цифровой трансформации промышленных компаний в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Л.А. Щербина, Е.Р. Мартынец, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, Н.И. Прытков, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 116 с.



Тренды и сценарии развития рынков, относящихся к «цифровой фабрике», по направлению «Технет» НТИ в условиях новой экономической реальности. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, Л.А. Щербина, Е.Р. Мартынец, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, Н.И. Прытков, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 108 с.



Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, Л.А. Щербина, Е.Р. Мартынец, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, К.В. Кукушкин, А.А. Гамзикова; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 492 с.





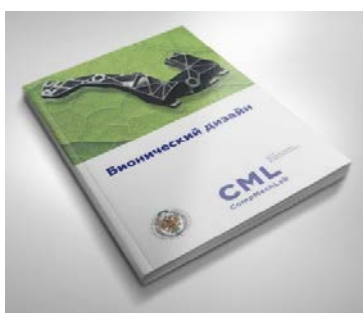
Цифровые двойники: вопросы терминологии / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 28 с.



Передовые производственные технологии: возможности для России. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов, С.В. Салкуцан, Е.О. Касяненко, И.С. Метревели, К.О. Вишневский, Ю.В. Туровец, М.С. Липецкая, Д.В. Санатов, Н.С. Андреева, Е.А. Римских, В.А. Пастухов, Н.В. Гоголь, М.А. Королькова под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – 436 с.



Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года): монография / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 62 с.



Бионический дизайн: монография / А.И. Боровков, В.М. Марусева, Ю.А. Рябов, Л.А. Щербина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 92 с.





Современное инженерное образование /
А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин,
М.П. Мельникова, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина.
– СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.



Компьютерный инжиниринг / А.И. Боровков,
С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельни-
кова, А.А. Михайлов, А.С. Немов, В.А. Паль-
мов, Е.Н. Силина – СПб.: Изд-во Политехн. ун-
та, 2012. – 93 с.



ОБ ИНФРАСТРУКТУРНОМ ЦЕНТРЕ НТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» СПбПУ

Инфраструктурный центр НТИ по направлению «Технет» СПбПУ (далее – Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ) создан в октябре 2024 года по итогам конкурсного отбора инфраструктурных центров направлений Национальной технологической инициативы (НТИ).

Деятельность Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ направлена на поддержку проектов, популяризацию технологий, разработку нормативных правовых актов, а также проведение аналитических исследований, в том числе в области цифровой трансформации промышленных компаний.

Цель программы Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ: формирование и развитие институциональной среды, обеспечивающей устойчивое формирование комплекса ключевых компетенций, обеспечивающих интеграцию отечественных передовых производственных технологий (ППТ) и бизнес-моделей для их распространения в качестве «Фабрик Будущего» первого и последующего поколений и нацеленных на создание глобально конкурентоспособной кастомизированной / персонализированной продукции нового поколения для рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности в контексте национальных стратегических приоритетов импортонезависимости и технологического суверенитета РФ.

Достижению поставленной цели способствует выполнение следующих задач:

1. Поэтапное совершенствование нормативной правовой базы в целях устранения барьеров для использования передовых технологических решений и создания системы стимулов для их внедрения.
2. Развитие системы профессиональных сообществ и популяризация Национальной технологической инициативы.
3. Организационно-техническая и экспертно-аналитическая поддержка, информационное обеспечение Национальной технологической инициативы.
4. Создание механизмов акселерации компаний Национальной технологической инициативы и механизмов экспортного продвижения создаваемых продуктов.



*Боровков Алексей Иванович
Мартынец Екатерина Романовна
Щербина Людмила Александровна
Рябов Юрий Александрович
Хуторцова Екатерина Романовна
Поняева Ирина Игоревна
Чхеидзе Екатерина Павловна
Ожгибесова Дарья Дмитриевна*

**ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ВКЛЮЧАЯ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ИНСТРУМЕНТОВ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ
ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ)
ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД**

Монография

Подписано в печать 26.06.2026. Формат 60×84/8. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 21,5. Тираж 500. Заказ 3468.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.