



ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого



Технет
Национальная
технологическая
инициатива | Передовые
производственные
технологии



**ЦИФРОВОЙ
ИНЖИНИРИНГ**
ПИШ СПбГУ



НЦМУ
ПЕРЕДОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

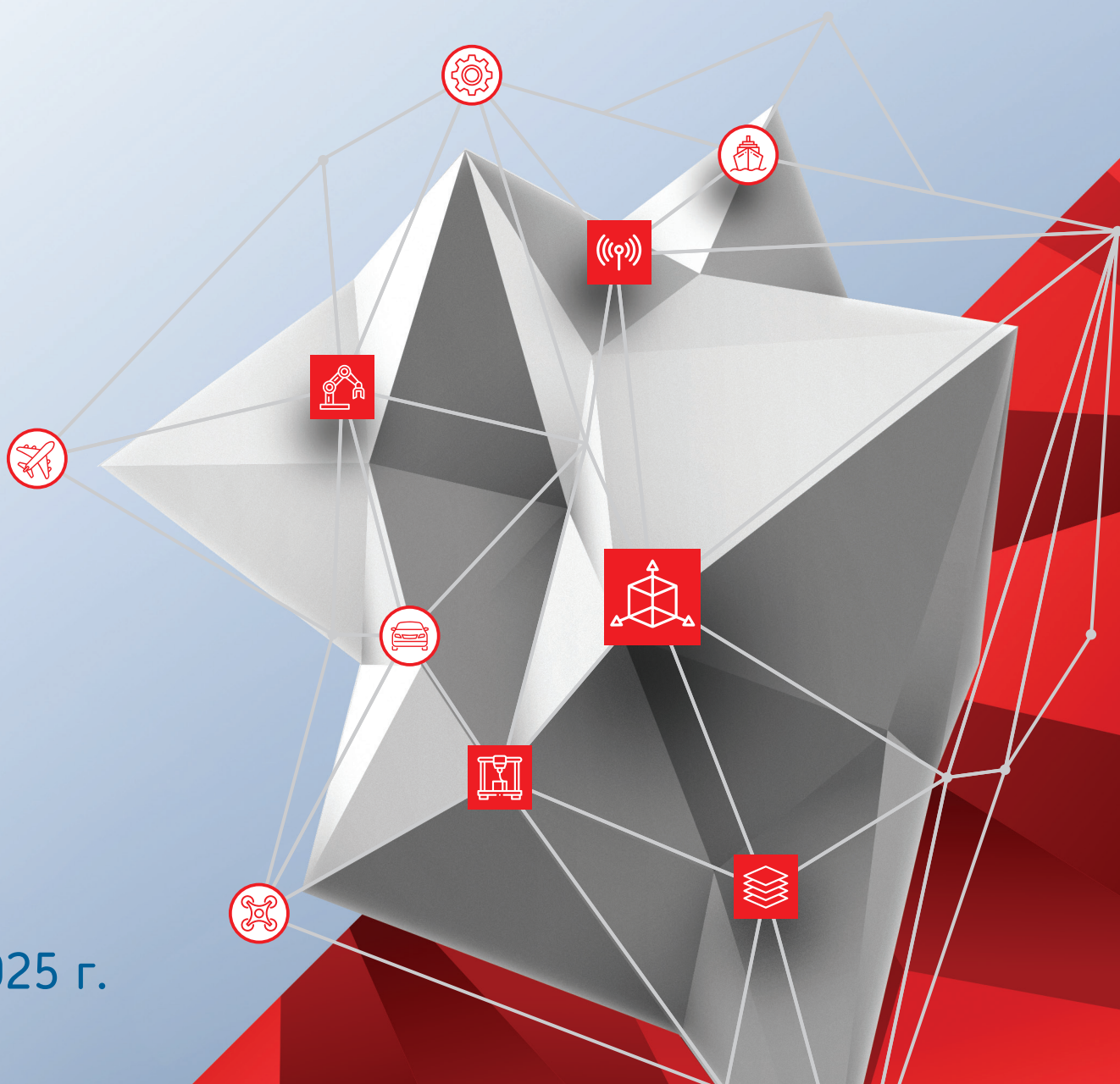


ПОЛИТЕХ
Центр Национальной
технологической инициативы
Новые производственные технологии



CML ЦЕНТР
КОМПЬЮТЕРНОГО
ИНЖИНИРИНГА СПбГУ
CompMechLab

Архитектура кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ



2025 г.



ПОЛИТЕХ

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого



Технет

Национальная
технологическая
инициатива

Передовые
производственные
технологии



**ЦИФРОВОЙ
ИНЖИНИРИНГ**
ПИШ СПбПУ



НЦМУ

ПЕРЕДОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



ПОЛИТЕХ

Центр Национальной
технологической инициативы
Новые производственные технологии



ЦЕНТР
КОМПЬЮТЕРНОГО
ИНЖИНИРИНГА СПбПУ

CompMechLab

АРХИТЕКТУРА КРОСС-РЫНОЧНОГО, КРОСС-ОТРАСЛЕВОГО НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

Экспертно-аналитический доклад

Санкт-Петербург

2025

Авторы:

А. И. Боровков, Е. Р. Мартынец, Л. А. Щербина,
Е. Р. Хуторцова, Ю. А. Рябов

Архитектура кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад

Экспертно-аналитический доклад направлен на формирование концептуальной архитектуры направления «Технет» НТИ в разрезе технологических сегментов, объединяемых комплексом передовых производственных технологий. В докладе представлены цепочки коопераций, отраслевые применения технологий и продуктов, оценка зависимости от импорта технологий, а также бенчмарки показателей развития технологических сегментов направления «Технет» НТИ. Представленные результаты анализа позволяют оценить текущее состояние и вектор дальнейшего развития технологий направления «Технет» НТИ, тенденции, достижения и перспективы развития данного направления.

Подготовлен Инфраструктурным центром по развитию направления Национальной технологической инициативы «Технет» (передовые производственные технологии) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.



NTI's TECHNET: A CROSS-MARKET AND CROSS-INDUSTRY FOCUS AREA FRAMEWORK

An expert and research report

St. Petersburg

2025

Authored by:

A. I. Borovkov, E. R. Martynets, L. A. Shcherbina,
E. R. Khutortsova, Yu. A. Ryabov

NTI's Technet: A Cross-Market and Cross-Industry Focus Area Framework. An Expert and Research Report.

This expert research report establishes a conceptual framework for the National Technology Initiative's (NTI) Technet focus area. It analyzes technology segments integrated through advanced manufacturing technologies, examining collaboration chains, industry applications, import dependencies, and performance benchmarks. The findings provide a comprehensive assessment of the current state, future outlook, trends, and progress within the NTI Technet focus area.

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК РИСУНКОВ	6
СПИСОК ТАБЛИЦ.....	7
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. ЦЕПОЧКИ КООПЕРАЦИЙ В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ	10
1.1. Концепция цепочек коопераций направления «Технет» НТИ.....	10
1.2. Архитектура современных промышленных систем и цепочек коопераций.....	11
1.3. Цепочки коопераций в рамках направления «Технет» НТИ.....	17
ГЛАВА 2. ОТРАСЛЕВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОДУКТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» НТИ	33
ГЛАВА 3. ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ИНОСТРАННЫХ ПОСТАВЩИКОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ.....	45
ГЛАВА 4. БЕНЧМАРКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СЕГМЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ	60
ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ.....	67
БИБЛИОГРАФИЯ.....	79

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Пирамида автоматизации промышленных предприятий	11
Рисунок 2. Модель RAMI 4.0 (Германия).....	12
Рисунок 3. Модель IMSA (КНР).....	13
Рисунок 4. Типы сотрудничества в рамках кастомизированного производственного процесса.....	15
Рисунок 5. Схема SMCS с учетом типов сотрудничества в рамках кастомизированного производственного процесса	16
Рисунок 6. Цепочка коопераций в рамках Фабрик Будущего направления «Технет» НТИ.....	18
Рисунок 7. Механизм формирования цепочек кооперации в рамках направления «Технет» НТИ	19
Рисунок 8. Цепочка кооперации в области цифрового проектирования и моделирования, управления жизненным циклом.....	20
Рисунок 9. Цепочка кооперации в области промышленного интернета вещей.....	23
Рисунок 10. Цепочка кооперации в области новых материалов с фокусировкой на композиционные материалы	24
Рисунок 11. Цепочка кооперации в области промышленной робототехники.....	28
Рисунок 12. Цепочка кооперации в области аддитивного производства.....	30
Рисунок 13. Объем и темпы роста рынка инженерного ПО и ПО для автоматизации управления производством, млрд руб.....	46

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Цепочка кооперации в области цифрового проектирования и моделирования, управления жизненным циклом.....	20
Таблица 2. Цепочка кооперации в области промышленного интернета вещей	23
Таблица 3. Цепочка кооперации в области новых материалов с фокусировкой на композиционные материалы.....	25
Таблица 4. Цепочка кооперации в области промышленной робототехники.....	28
Таблица 5. Цепочка кооперации в области аддитивного производства.....	30
Таблица 6. Типы бенчмарков показателей технологических сегментов направления «Технет» НТИ.....	60

ВВЕДЕНИЕ

Аналитическое исследование архитектуры рынка «Архитектура кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ» подготовлено Инфраструктурным центром по развитию направления Национальной технологической инициативы «Технет» (передовые производственные технологии), созданным в 2024 году на базе Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ИЦ «Технет» СПбПУ).

В рамках работы сформирована концептуальная архитектура направления «Технет» НТИ, выделены сегменты и оформлен классификатор-справочник технологий данного направления, а также подготовлен реестр компаний, относящихся к направлению «Технет» НТИ.

Архитектура направления «Технет» НТИ является основой для формирования ежегодных аналитических исследований в период деятельности Инфраструктурного центра (2024–2026 гг.), и их актуализация проходит с учетом глобальных тенденций развития сегментов направления «Технет» НТИ и целей технологического лидерства, обозначенных в Указе Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [1], а также соответствует приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации, обозначенным в Указе Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [2].

Результаты данного исследования архитектуры направления «Технет» НТИ могут быть использованы в целях:

- совершенствования системы анализа и формирования механизма сбора и мониторинга данных о текущем состоянии комплекса передовых производственных технологий в России;
- развития механизмов и инструментов, направленных на эффективные стратегические партнерства, оптимизацию цепочек поставок и бизнес-моделей;
- определения приоритетных направлений реализации мер поддержки и инвестирования в технологические сегменты, выявления «узких мест» и критических технологий, требующих интенсивного развития;
- формирования долгосрочных стратегий развития, программ импортозамещения и технологического лидерства с учетом целевых показателей развития и лучших практик.

В рамках проведенного аналитического исследования сформированы разделы, посвященные анализу цепочек коопераций в разрезе технологических сегментов, отраслевым применениям технологий и продуктов, оценке зависимости от зарубежных технологий и бенчмаркам показателей развития технологических сегментов направления «Технет» НТИ.

Первая глава описывает цепочки коопераций направления «Технет» НТИ. В главе сформирована цепочка коопераций, которая сочетает в себе основные взаимосвязи и взаимодействия между различными участниками цепочки и технологии, обеспечивающие реализацию Цифровых (Digital), «Умных» (Smart) и Виртуальных (Virtual) Фабрик Будущего, составляющих концептуальную основу направления «Технет» НТИ, а также цепочки коопераций в разрезе технологических сегментов.

К технологическим сегментам направления «Технет» НТИ относятся технологии цифрового проектирования и моделирования, технологии управления жизненным циклом изделий, новые материалы, технологии «умного» производства.

В рамках второй главы раскрыты примеры применения технологий, составляющих основу технологических сегментов направления «Технет» НТИ, в различных отраслях промышленности, а также представлен обзор категорий продуктов, разрабатываемых с использованием передовых производственных технологий.

Третья глава посвящена оценке зависимости российских компаний от иностранных поставщиков технологических решений в сегментах цифрового проектирования и моделирования, технологий управления жизненным циклом изделий, технологий «умного» производства (с фокусировкой на аддитивных технологиях, робототехнике и др.) и новых материалов (в особенности, композиционных материалов).

В четвертой главе представлены бенчмарки показателей, распределенные на три группы, при формировании которых учитывались функциональные возможности, экономическое значение и уровень распространения технологий рассматриваемых сегментов направления «Технет». Представленные результаты анализа позволяют оценить текущее состояние и вектор дальнейшего развития технологий направления «Технет» НТИ.

Кроме того, в экспертно-аналитическом отчете представлен глоссарий основных терминов и определений, применяемых в области технологических сегментов, составляющих основу направления «Технет» НТИ.

Таким образом, каждая глава аналитического исследования отражает определенные аспекты архитектуры кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ и формирует представление об актуальных тенденциях, достижениях и перспективах направления «Технет» НТИ.

ГЛАВА 1. ЦЕПОЧКИ КООПЕРАЦИЙ В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

1.1. Концепция цепочек коопераций направления «Технет» НТИ

Одной из задач исследования является формирование подходов к определению цепочек кооперации в рамках направления «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ.

В научной литературе кооперация зачастую рассматривается в контексте цепочек поставок, которые стали активно исследовать в 1980-е годы. Цепочки поставок представляют собой набор подходов, которые используются для эффективной интеграции поставщиков, производителей, складов, точек реализации для того, чтобы продукция производилась, распределялась в необходимых количествах, своевременно доставлялась в требуемые места в нужное время. При этом подходы направлены на минимизацию издержек при сохранении качества услуг [3].

Большая часть определений цепочек поставок основана на идее **кооперации различных участников рынка с целью получения выгод** [3].

Кооперация в рамках цепочек поставок определяется как процесс координации целей и действий агентов (участников рынка), при этом в англоязычной литературе помимо слова «cooperation» (кооперация) используется слово «collaboration» (сотрудничество). Так, сотрудничество в рамках цепочек поставок предполагает совместную работу нескольких участников цепочки, принятие совместных решений и получение совместных выгод от взаимодействия [3].

Также выделяют несколько видов кооперации в рамках цепочек поставок:

1. Кооперация внутри организации и между организациями.
2. Горизонтальная кооперация (покупатель – покупатель, продавец – продавец) и вертикальная кооперация (покупатель – продавец).

К ключевым различиям горизонтальной и вертикальной кооперации относится фокус кооперации: для первого типа – это получение синергетических эффектов (экономия на масштабе, объем, скорость деятельности), а для второго типа – это фокусировка на технических аспектах и оптимизации характеристик объекта (как правило, товара или технологии). Именно вертикальная кооперация закладывает основу для развития цепочек поставок в целом [3].

В отечественной научной литературе цепочки коопераций также рассматриваются в контексте промышленной кооперации, которая представляет собой «добровольное и долгосрочное сотрудничество на взаимовыгодной основе субъектов хозяйствования, позволяющее предприятиям развивать собственные конкурентные преимущества и получать дополнительные финансово-экономические эффекты, в том числе за счет наращивания потенциальных возможностей от участия в промышленной кооперации» [4]. Существующие определения позволяют сопоставить промышленную кооперацию и теорию управления цепочек поставок.

В литературе, посвященной передовым производственным технологиям и «умным» производствам, тема кооперации рассматривается в двух взаимобратных контекстах:

1. Изменения кооперации в рамках цепочки поставок под влиянием технологий Индустрии 4.0 [5]. Так, внедрение информационных коммуникационных технологий в управление цепочками поставок способствует развитию сетей кооперации [6].

2. Влияние кооперации на внедрение технологий Индустрии 4.0 по цепочке добавленной стоимости промышленных предприятий. Так, кооперация в рамках сетей цепочек поставок способствует быстрому внедрению технологий Индустрии 4.0 [6].

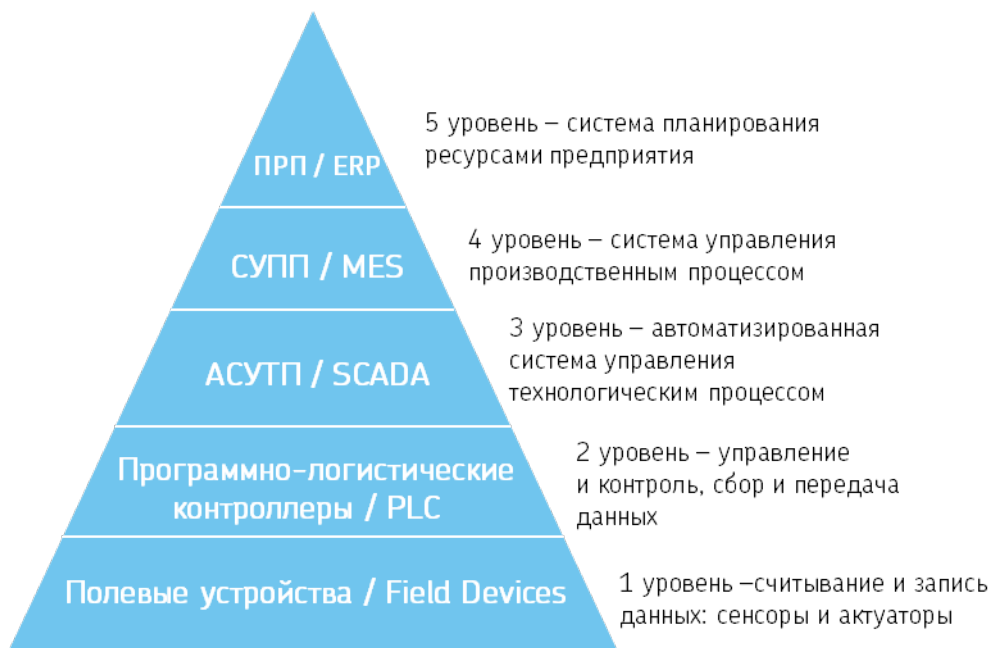
1.2. Архитектура современных промышленных систем и цепочек коопераций

Эволюция промышленных систем и технологий, а также III и IV промышленные революции способствовали трансформации подходов к анализу роли коммуникации и кооперации на различных этапах промышленного производства.

«Пирамида автоматизации»

Традиционная «пирамида автоматизации» была сформирована в рамках III промышленной революции в 1990-е годы. Можно выделить 5 уровней автоматизации, которые описывают процессы управления промышленным производством и ранжированы снизу вверх, от более простого к более сложному [7].

Рисунок 1. Пирамида автоматизации промышленных предприятий



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [7], 2025

Все слои пирамиды тесно связаны друг с другом. Аппаратное обеспечение определяет структуру системы, а также принципы коммуникации и взаимодействия элементов системы, функции элементов привязаны к аппаратному обеспечению, коммуникация и взаимодействие последовательно переходят с уровня на уровень пирамиды, продукт существует отдельно от иерархии уровней [8].

Жесткая иерархия пирамиды автоматизации предприятий накладывает соответствующие ограничения на цепочки поставок и кооперации, делая их более устойчивыми и менее гибкими.

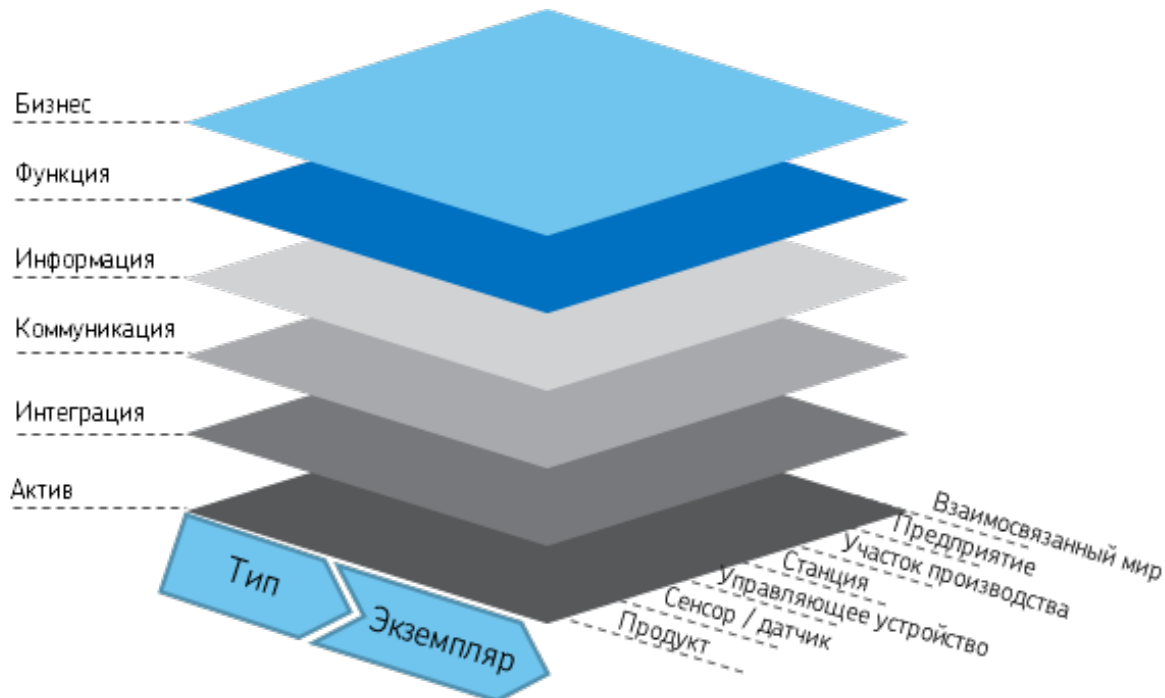
Архитектурная модель Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Для модели архитектуры и взаимодействия в рамках Индустрии 4.0 характерны гибкие системы и оборудование, а также распределение функций по сети. Сетевая организация позволяет преодолеть ограничения бизнеса, участники взаимодействуют друг с другом в рамках разных уровней иерархии, информация передается свободно, продукты являются частью сети [8].

Модель архитектуры рынков Индустрии 4.0 (RAMI 4.0, Reference Architectural Model for Industrie 4.0 / Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0), созданная в Германии, структурирует производственные процессы также через три измерения: основные слои модели, жизненный цикл и поток создания ценности, а также уровни иерархии. Система слоев состоит из шести уровней, начиная с физического слоя активов и заканчивая уровнем бизнеса, который определяет бизнес-процессы, правовые рамки и общую организацию взаимодействий.

Жизненный цикл делится на две основные составляющие: «Тип», охватывающий разработку и тестирование продукта, и «Экземпляр», который включает производство и эксплуатацию. Такое деление упрощает управление процессами и оптимизирует взаимодействие внутри цепочек поставок. Иерархические уровни учитывают как локальные процессы, так и глобальные взаимодействия. Модель RAMI 4.0 направлена на создание универсального стандарта для всех этапов производства, что делает ее подходящей для широкого применения [9].

Рисунок 2. Модель RAMI 4.0 (Германия)



Источник: ИЦ «Технет» СПбГУ по материалам [8], 2025

Таким образом, RAMI 4.0 представляет собой описание не отдельной пирамиды технологий, а срез уровней коммуникации различных участников производственного процесса по производству, распределению, потреблению продукции.

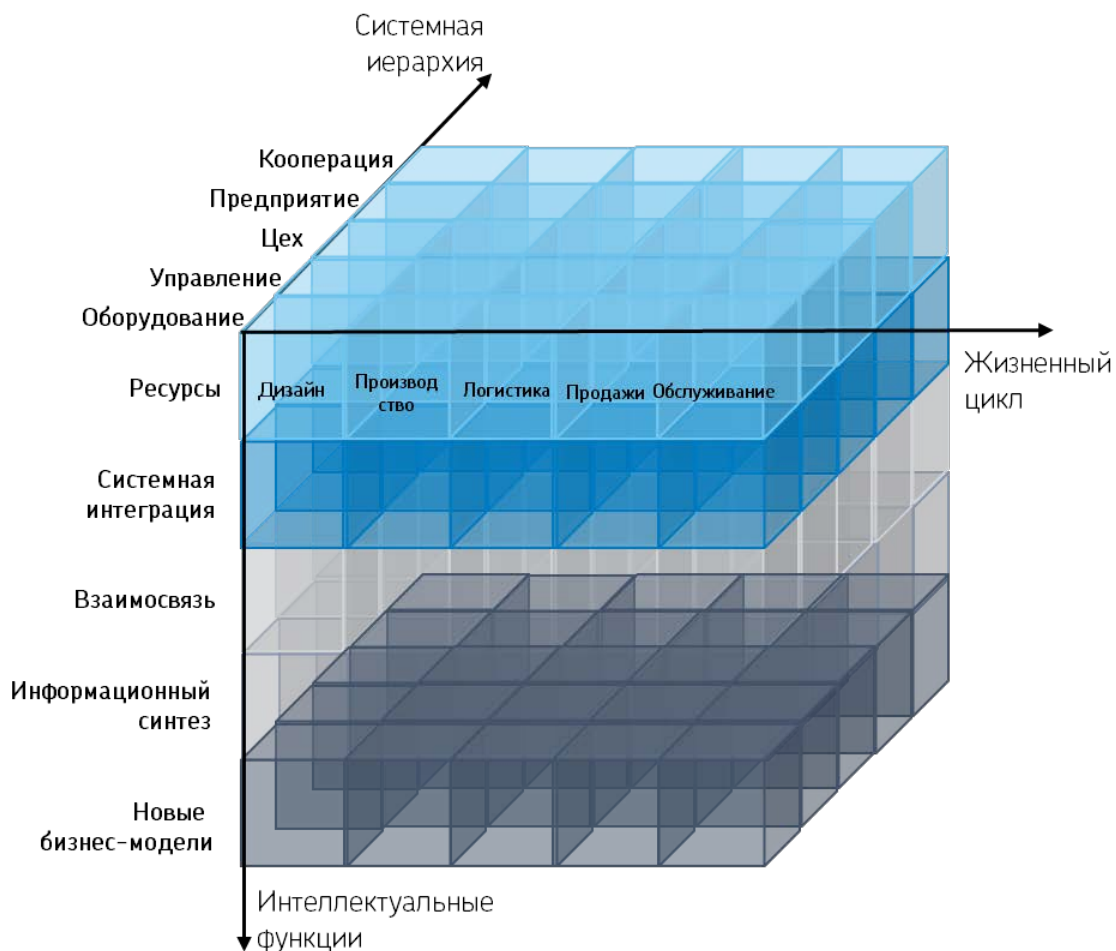
Архитектура интеллектуальной производственной системы (IMSA)

Интегрирующим уровнем для системы является, с одной стороны, уровень бизнеса, с другой стороны – взаимосвязанный мир, а не уровень предприятия. В рамках построенной системы игроки рынка могут свободно коммуницировать в соответствии с принципами кооперации.

Модель IMSA (Intelligent Manufacturing System Architecture, Архитектура интеллектуальной производственной системы), разработанная в КНР, включает три ключевых измерения: жизненный цикл, иерархию систем и интеллектуальные функции. В основе подхода IMSA – охват всех стадий жизненного цикла продукта: от проектирования и производства до логистики, продаж и утилизации. Каждый этап направлен на создание взаимосвязанной цепочки ценности, оптимизированной с точки зрения устойчивого развития.

Иерархия систем делится на пять уровней: оборудование, управление, цех, предприятие и кооперация. Данные уровни обеспечивают связь между физическими процессами и цифровыми решениями на производстве. Интеллектуальные функции в рамках модели направлены на самообучение, саморегулирование и автоматизацию, что позволяет предприятиям адаптироваться к изменяющимся условиям. Модель IMSA подчеркивает важность интеграции данных, внедрения ИТ-решений и адаптации бизнес-моделей к потребностям локальных рынков.

Рисунок 3. Модель IMSA (КНР)



Обе модели охватывают весь процесс производства, от разработки до утилизации, с некоторыми различиями, например, в RAMI 4.0 отсутствует этап маркетинга. Обе модели учитывают структуру производственной организации и расширение сотрудничества за пределы организации, включая взаимодействие с поставщиками и клиентами. Также обе модели рассматривают влияние ИТ-технологий на производство, уделяя внимание интеграции систем и обработке информации. При этом в IMSA больший акцент сделан на ускорении инноваций за счет внедрения информационных технологий.

Таким образом, обе модели предлагают эффективные решения для интеллектуального производства. IMSA лучше подходит для реализации локальных задач и ускорения развития технологий. RAMI 4.0, в свою очередь, нацелена на унификацию и стандартизацию, что делает ее предпочтительной для международных проектов. Обе модели подразумевают широкую кооперацию участников рынка передовых производственных технологий [9].

Архитектура Индустрии 4.0 с позиции цепочек кооперации

Существующие концепции архитектуры системы «умного» производства (Smart Manufacturing System, SMS) охватывают все элементы, уровни, виды деятельности и функции, присущие «умному» производству. Однако отсутствует детализированное описание содержания каждой подсистемы.

Кроме того, текущие определения жизненного цикла опираются на традиционные процессы, ориентированные на массовое производство. Между тем, потребители формируют спрос на персонализированные продукты и сервисы, ориентированные на получение уникального опыта. Для адаптации к этим изменениям предприятиям необходимо трансформировать свои модели производства: от массового производства – к массовой кастомизации или полностью персонализированному подходу. Новые требования рынка формируют и запрос на трансформацию подходов к описанию цепочек добавленной стоимости и оценке кооперации.

Для учета новых вызовов исследователи предлагают сформировать Smart Manufacturing Collaborative System (SMCS), или Умную производственную систему кооперации [10].

Структура SMCS формируется на основе кастомизированного производственного процесса, ориентированного на запросы клиентов, а также на основе кастомизации продукции, проектирования, производства и обслуживания. Система базируется на трех ключевых измерениях: многопроцессном, многостороннем сотрудничестве на стыке разных этапов и сотрудничестве различных операторов [10].

Рисунок 4. Типы сотрудничества в рамках кастомизированного производственного процесса



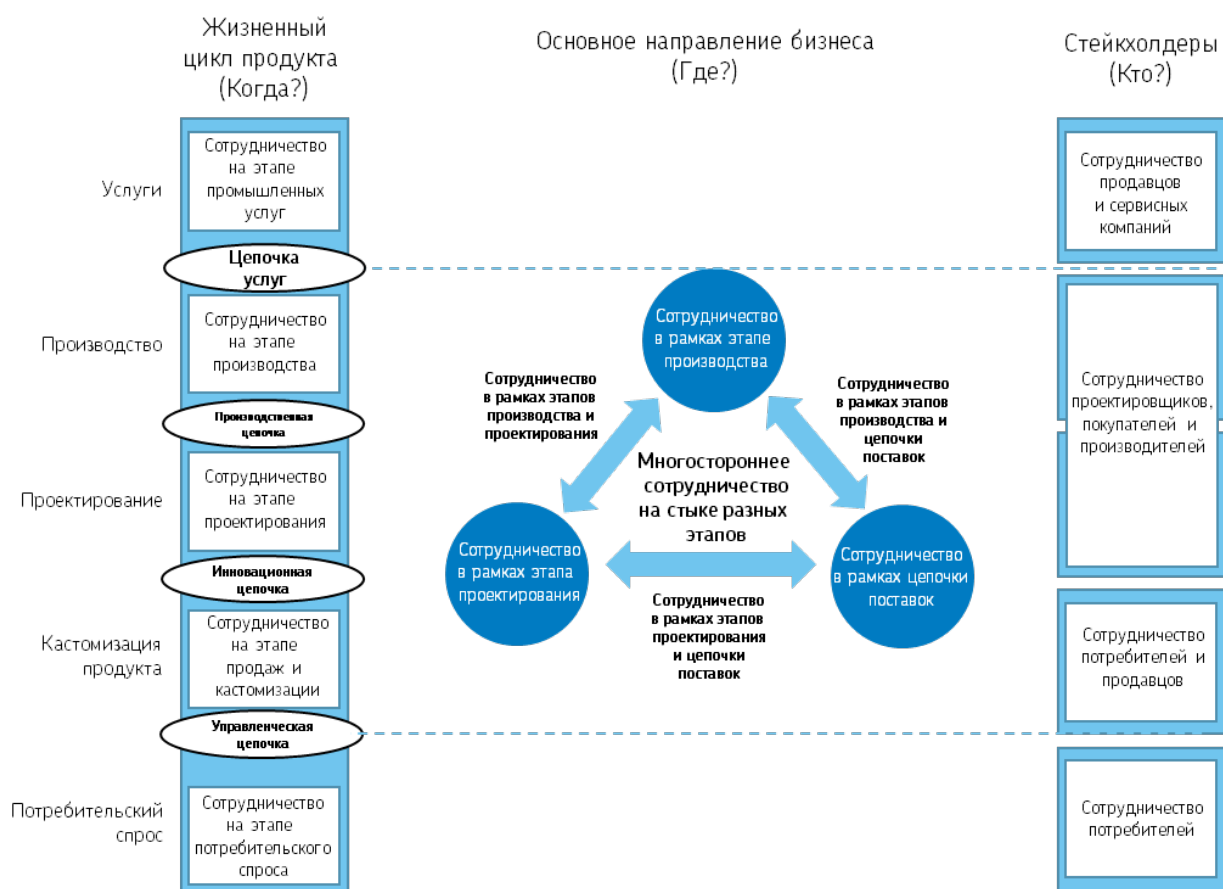
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [10], 2025

Многопроцессное сотрудничество характерно для жизненного цикла продукта (фокус – продукт, вопрос: когда?), то есть взаимодействие идет внутри этапов, между этапами и включает интеграцию всех процессов.

Многостороннее сотрудничество формируется на стыке разных этапов цепочки добавленной стоимости и внутри этих этапов (фокус – цепочка добавленной стоимости, вопрос: где?).

Сотрудничество различных операторов или субъектов процесса осуществляется на разных стадиях жизненного цикла продукта и в рамках цепочки добавленной стоимости (фокус – субъекты процесса, вопрос: кто?) [10].

Рисунок 5. Схема SMCS с учетом типов сотрудничества в рамках кастомизированного производственного процесса



Источник: ИЦ «Технет» СПбГУ по материалам [10], 2025

SMCS предполагает формирование интегрированной схемы кооперации:

1. Подсистема многопроцессного сотрудничества помимо основных этапов включает управленческую цепочку между стадиями запроса и кастомизации, инновационную цепочку между стадиями кастомизации и проектирования, производственную цепочку между стадиями проектирования и производства, а также сервисную цепочку между стадиями производства и обслуживания.
2. Подсистема многостороннего сотрудничества на стыке разных этапов (взаимодействие между несмежными процессами) включает взаимодействие между этапами проектирования, взаимодействие в рамках производственных процессов, координацию между различными цепочками поставок, а также интеграцию между проектированием и производством, производством и цепочками поставок, проектированием и цепочками поставок. При этом цепочки поставок пронизывают весь процесс кастомизации, включая этапы формирования запроса, непосредственно кастомизации, проектирования, производства и обслуживания. Ключевой характеристикой этой подсистемы является ее замкнутость и цикличность в отличие от традиционной цепочки добавленной стоимости.

3. Подсистема сотрудничества различных операторов (взаимодействие заинтересованных сторон во всех процессах) включает сотрудничество между клиентами, взаимодействие клиентов с продавцами, взаимодействие проектировщиков с производителями, а также взаимодействие между отделами продаж и обслуживания и другие взаимодействия. Кроме того, данная подсистема охватывает сотрудничество с внешними подрядчиками, поставщиками компонентов и провайдерами социальных ресурсов, включая поставщиков программного и аппаратного обеспечения, дизайнерских решений, логистических услуг и других специализированных ресурсов. Взаимодействие между всеми участниками осуществляется через платформы и сети [10].

1.3. Цепочки коопераций в рамках направления «Технет» НТИ

Направление «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ – кросс-отраслевое кросс-рыночное направление, которое изначально формировалось как система, развитие которой зависит от плотной кооперации участников.

Так, одной из важнейших задач направления является преодоление проблем-вызовов, то есть крупных задач национального уровня, за счет формирования проектных консорциумов. Ключевая роль в преодолении таких задач принадлежит высокотехнологичным компаниям промышленности, отраслевым институтам, университетам.

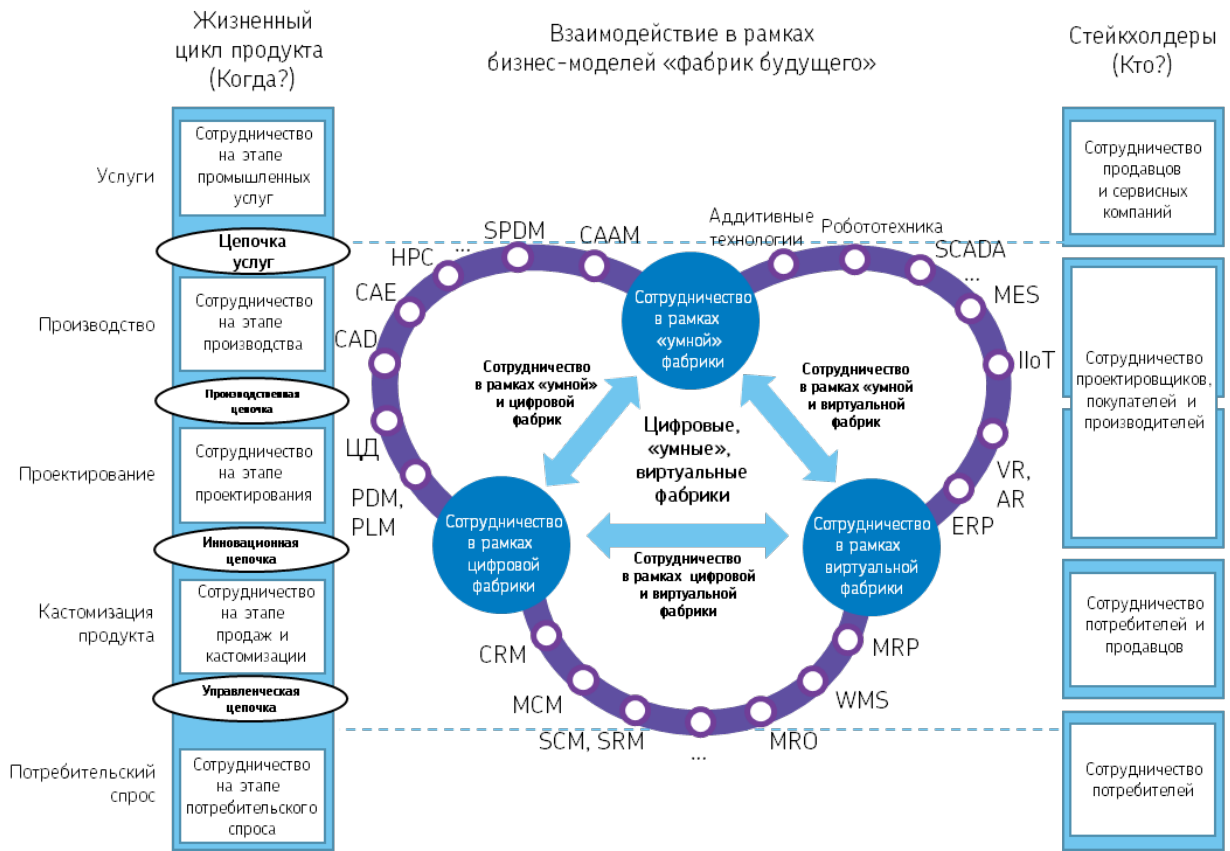
Цепочки коопераций в рамках Фабрик Будущего

Деятельность в рамках направления «Технет» НТИ фокусируется на «создании в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособной и кастомизированной продукции нового поколения за счет отбора и комплексирования технологий мирового уровня в технологические цепочки, называемые Цифровыми, «Умными», Виртуальными Фабриками Будущего (Digital, Smart, Virtual Factories of the Future)» [11].

Три важнейших элемента направления «Технет» НТИ, формирующих «фабрику будущего», это системы комплексных решений, обеспечивающие производство глобальной конкурентоспособной продукции: цифровые фабрики (проектирование), «умные» фабрики (производство), виртуальные фабрики (маркетинг, продажи, общее управление, цепочки поставок).

При этом ключевым элементом формирования цепочек коопераций в рамках направления «Технет» НТИ становится отбор лучших доступных «сквозных» технологий для решения конкретных задач промышленности. В связи с этим наиболее подходящей из рассмотренных моделей коопераций является Умная производственная система кооперации (SMCS).

Рисунок 6. Цепочка коопераций в рамках Фабрик Будущего направления «Технет» НТИ

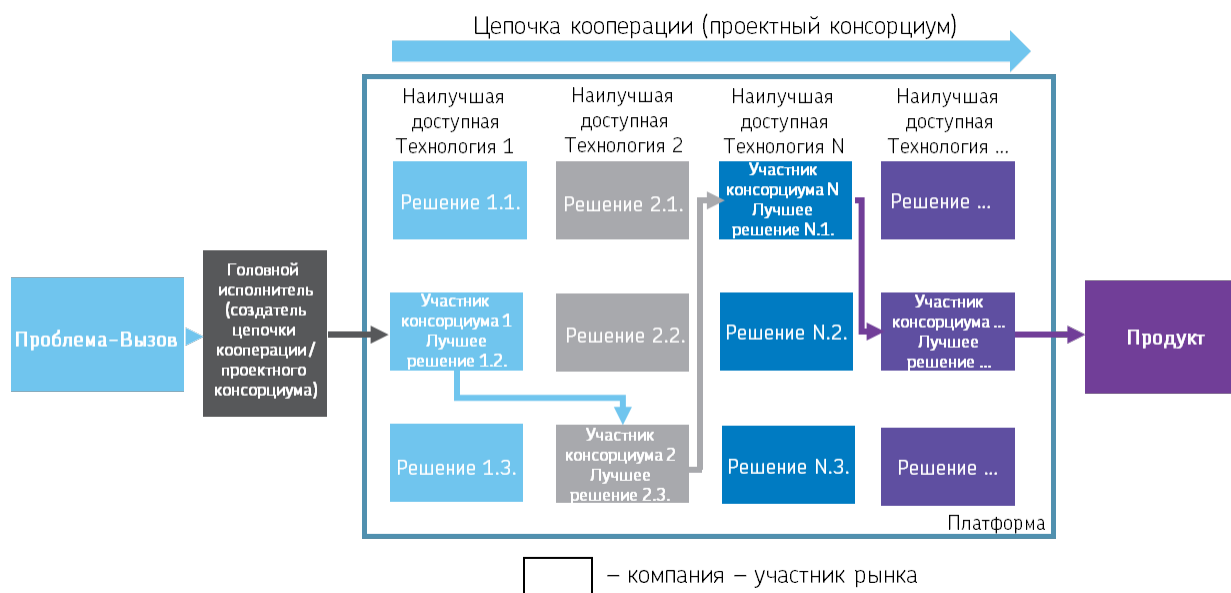


Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [10,12], 2025

В рамках схемы SMCS [10], в интерпретации направления «Технет» НТИ, технологии интегрируют цепочки коопераций внутри этапов сотрудничества в рамках цифровой, «умной» и виртуальной фабрик, а также связывают ключевые этапы создания продукции, обеспечивая коммуникацию между этапами за счет использования платформенных решений.

Цепочка кооперации в рамках Фабрик Будущего «Технет» НТИ формируется на основе решения проблем-вызовов, стоящих перед промышленными отраслями или заказчиками.

Рисунок 7. Механизм формирования цепочек кооперации в рамках направления «Технет» НТИ



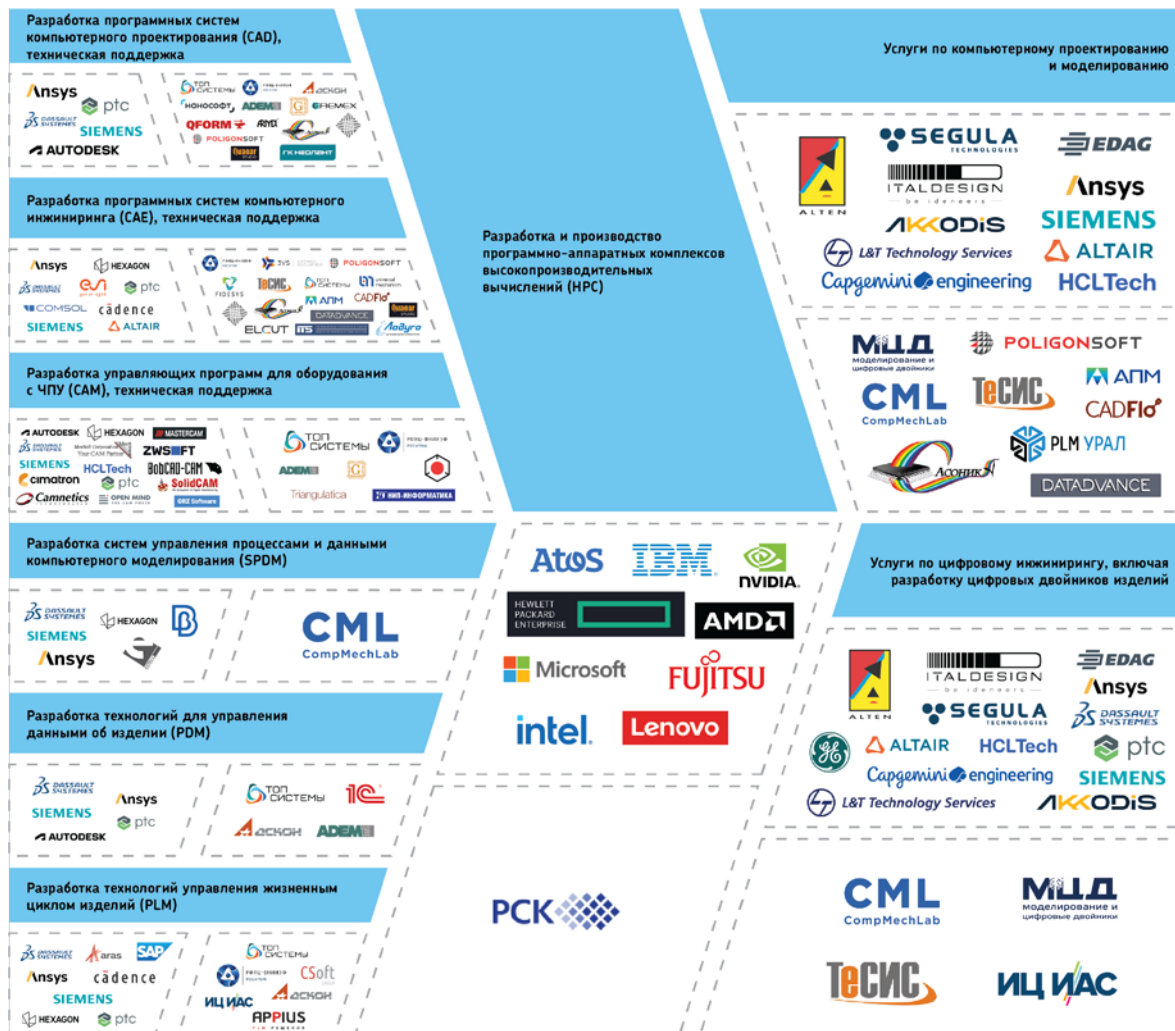
Источник: ИЦ «Технет» СПбГУ [12], 2025

Головной исполнитель получает задачу от заказчика и декомпозирует ее на подзадачи, решая, какие из них могут быть выполнены самостоятельно (головной исполнитель обладает достаточными компетенциями, технологиями и ресурсами), а для каких требуется привлечь других игроков рынка. После этого формируются цепочки коопераций в формате проектных консорциумов.

В рамках выбора поставщиков решений головной исполнитель ищет потенциальных членов проектного консорциума, обладающих необходимыми компетенциями и наилучшими доступными технологиями на рынке и включает поставщика в консорциум, формируя как кооперационную цепочку, так и цепочку добавленной стоимости. По результатам кооперации появляется продукт, который решает проблему-вызов. В ходе формирования проектного консорциума головной исполнитель особое внимание уделяет оптимизации расходов и снижению времени вывода нового продукта на рынок.

Цепочки коопераций в рамках технологических сегментов направления «Технет» НТИ

Рисунок 8. Цепочка кооперации в области цифрового проектирования и моделирования, управления жизненным циклом



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2025

Таблица 1. Цепочка кооперации в области цифрового проектирования и моделирования, управления жизненным циклом

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
1	Разработка программных систем компьютерного проектирования (Computer-Aided Design, CAD), техническая поддержка	Охватывает разработку и сопровождение программных систем компьютерного проектирования, обеспечивающих построение и редактирование 3D-моделей изделий, а также оформление конструкторской и технологической документации на их основе. Компьютерное проектирование представляет процесс разработки 3D-моделей в CAD-системах,	Мировые игроки: Ansys Inc. ¹ , Autodesk Inc., Dassault Systèmes SE, PTC Inc., Siemens Digital Industries Software и др. Отечественные игроки: АО «АСКОН», АО «Топ Системы», АО ГК «НЕОЛАНТ», ООО «АДЕМ-инжиниринг», ООО «КванторФорм», ООО «Нанософт разработка», ООО «НИИ «АСОНИКА», ООО «НТЦ ГемМа», ООО «СТУДИЯ КВАВАР», ООО «Цифровые

¹ Компания Ansys Inc. приобретена компанией Synopsys Inc. в июле 2025 года.

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
		которые позволяют на основе 3D-моделей выполнять создание чертежей и/или оформление конструкторской и/или технологической документации.	производственные системы», ООО «ЭРЕМЕКС», ООО НПО «ПК», СКМ ЛП «ПолигонСофт», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и др.
2	Разработка программных систем компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE), техническая поддержка	Включает разработку и поддержку программных систем компьютерного инжиниринга, предназначенных для решения научно-технических задач на основе математического и компьютерного моделирования, а также цифрового инжиниринга. Цифровой инжиниринг объединяет методы и средства решения научно-технических проблем и задач с помощью CAE-систем, позволяющих исследовать поведение материалов, физико-механических и технологических процессов, изделий, машин и конструкций на основе математических моделей различного класса и уровня сложности.	<p>Мировые игроки: Altair Engineering Inc., Ansys Inc., Cadence Design Systems Inc., COMSOL AB, Dassault Systèmes SE, ESI Group, Hexagon AB, PTC Inc., Siemens AG и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «Инновационные технологии и решения», АО «Топ Системы», НТЦ «АПМ», ООО «ЗВ Сервис» (ООО «ЗВС»), ООО «Вычислительная механика» (программный комплекс «Универсальный механизм»), ООО «ДАТАДВАНС», ООО «КАДФло», ООО «Ладуга», ООО «НИИ «АСОНИКА», ООО «СТУДИЯ КВАВАР», ООО «ТЕСИС», ООО «Тор» (ELCUT), ООО «ФИДЕСИС», ООО НПО «ПК», СКМ ЛП «ПолигонСофт», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и др.</p>
3	Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ (Computer-Aided Manufacturing, CAM), техническая поддержка	Представляет деятельность по разработке и сопровождению систем компьютерного управления производственными процессами, предназначенных для разработки управляющих программ для обработки изделий на оборудовании с числовым программным управлением. Процесс разработки управляющих программ для такого оборудования осуществляется в CAM-системах на основе 3D-моделей из CAD-систем и предназначен для обработки изделий на фрезерных, сверлильных, токарных, шлифовальных, эрозионных, пробивных и других станках.	<p>Мировые игроки: Autodesk Inc., BobCAD-CAM Inc., Camnetics Inc., Cimatron LTD, Dassault Systèmes SE, GRZ Software, HCL Technologies Limited, Hexagon AB, Mastercam, MecSoft Corporation, OPEN MIND Technologies AG, PTC Inc., Siemens Digital Industries Software, SolidCAM Ltd., ZWSOFT Co., Ltd. и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «Топ Системы», ООО «АДЕМ-инжиниринг», ООО «НИП-Информатика», ООО «НТЦ ГеММа», ООО «СПРУТ-Технология», ООО «ТРИАНГУЛЯТИКА», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и др.</p>
4	Разработка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (Simulation Process and Data Management, SPDM)	Охватывает создание и внедрение систем управления процессами и данными компьютерного моделирования. Такие системы обеспечивают управление конфигурацией данных моделирования, оптимизацию рабочих процессов, прослеживаемость расчетных вариантов и совместную работу распределенных инженерных команд. SPDM-среды связывают входные и выходные данные препроцессинга, расчетов с применением метода конечных элементов, постпроцессинга, повышая степень автоматизации и улучшая результативность моделирования.	<p>Мировые игроки: Ansys Inc., BETA CAE Systems, Dassault Systèmes SE, Esteco S.p.A., Hexagon AB, Siemens Digital Industries Software и др.</p> <p>Отечественные игроки: ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) и др.</p>
5	Разработка технологий для управления данными об изделии (Product Data Management, PDM)	Включает разработку и поддержку организационно-технических систем управления данными об изделии, обеспечивающих централизованное хранение и использование всей информации, связанной с жизненным циклом технических объектов. Основное назначение PDM-систем – поддержка коллективной работы специалистов предприятия с едиными информационными ресурсами в реальном времени. Такие системы обеспечивают организацию доступа к	<p>Мировые игроки: Ansys Inc., Autodesk Inc., Dassault Systèmes SE, PTC Inc., Siemens PLM Software и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «АСКОН», АО «Топ Системы», ООО «1С», ООО «АДЕМ-инжиниринг» и др.</p>

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
		данным об изделии и управление жизненным циклом сложных технических объектов и являются частью PLM-решений.	
6	Разработка технологий управления жизненным циклом изделий (Product Lifecycle Management, PLM)	Представляет деятельность по разработке и сопровождению систем управления жизненным циклом изделия. PLM-технологии формируют основу для интеграции человеческих ресурсов, процессов и информации в едином пространстве предприятия, обеспечивая совместное создание, распространение и использование данных об изделии на всех этапах жизненного цикла – от концепции до утилизации. Подход PLM использует набор технических решений для поддержки совместного создания, управления, распространения и применения информации об изделии.	<p>Мировые игроки: Ansys Inc., Aras Corporation, Cadence Design Systems Inc., Dassault Systèmes SE, Hexagon AB, PTC Inc., SAP SE, Siemens Digital Industries Software и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «АСКОН», АО «Топ Системы», ГК «СиСофт», ООО «АППИУС-СОФТ», ООО «ИЦ ИАС», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и др.</p>
7	Разработка и производство программно-аппаратных комплексов высокопроизводительных вычислений (High Performance Computing, HPC)	Охватывает проектирование, разработку и производство высокопроизводительных вычислительных систем. Суперкомпьютерный инжиниринг включает методы и средства решения научно-технических задач посредством математического и суперкомпьютерного моделирования на базе CAE-систем и высокопроизводительных вычислительных систем, построенных, как правило, на сочетании CPU- и GPU-процессоров. Такой подход позволяет эффективно реализовать подход параллельного решения нескольких вариантов задач или разных задач из разных отраслей промышленности.	<p>Мировые игроки: Advanced Micro Devices Inc., Atos SE, Fujitsu, Hewlett Packard Enterprise Development LP, IBM Corporation, Intel Corporation, Lenovo, Microsoft Corporation, NVIDIA Corporation и др.</p> <p>Отечественные игроки: ГК «РСК» и др.</p>
8	Услуги по компьютерному проектированию и моделированию	Инжиниринговые услуги в сфере создания промышленной продукции, которые объединяют сервисную, проектную и инженерно-консультационную деятельность организаций по разработке, совершенствованию и созданию промышленной продукции на основе технологий компьютерного проектирования (CAD), инженерного анализа и моделирования (CAE), цифрового инжиниринга и разработки цифровых двойников изделий.	<p>Мировые игроки: Akkodis, Altair Engineering Inc., ALTEN Group, Ansys Inc., Capgemini Engineering, EDAG Group, HCL Technologies Limited, Italdesign-Giugiaro S.p.A., L&T Technology Services Limited, SEGULA Technologies, Siemens Digital Industries Software и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «МЦД», ГК «ПЛМ Урал», НТЦ «АГМ», ООО «ДАТА-ДВАНС», ООО «КАДФло», ООО «НИИ «АСОНИКА», ООО «ТЕСИС», ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®), СКМ ЛП «ПолигонСофт» и др.</p>
	Услуги по цифровому инжинирингу, включая разработку цифровых двойников изделий		<p>Мировые игроки: Akkodis, Altair Engineering Inc., ALTEN Group, Ansys Inc., Capgemini Engineering, Dassault Systèmes SE, EDAG Group, GE Vernova, HCL Technologies Limited, Italdesign-Giugiaro S.p.A., L&T Technology Services Limited, PTC Inc., SEGULA Technologies, Siemens AG и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «МЦД», ООО «ИЦ ИАС», ООО «ТЕСИС», ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) и др.</p>

Рисунок 9. Цепочка кооперации в области промышленного интернета вещей



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2025

Таблица 2. Цепочка кооперации в области промышленного интернета вещей

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
1	Разработка программных систем промышленного интернета вещей	Цифровое ядро промышленного интернета вещей, объединяющее сбор, хранения и анализа данных. Включает системы управления устройствами, аналитические модули, платформы предиктивного обслуживания и интерфейсы визуализации данных.	Мировые игроки: ABB Ltd., Bosch Global Software Technologies GmbH, Cisco Systems Inc., General Electric Company, Honeywell International Inc., Huawei Technologies Co., Ltd., Microsoft Corporation, Rockwell Automation Inc., Schneider Electric, Siemens AG и др. Отечественные игроки: АО «Дизайн центр «Кристал», ООО «ДекСтрим», ПАО «ВымпелКом» («Билайн»), ПАО «МегаФон», ПАО «МТС» («Мобильные ТелеСистемы»), ПАО «Ростелеком» и др.
2	Разработка, производство и обслуживание устройств промышленного интернета вещей	Основа аппаратной инфраструктуры промышленного интернета вещей, охватывающая производство сенсоров, модулей связи, контроллеров и промышленных узлов. Ориентирована на повышение точности, энергоэффективности и устойчивости устройств, работающих в промышленных условиях и обеспечивающих передачу сигналов, в том числе в режиме реального времени.	Мировые игроки: ABB Ltd., Bosch Rexroth AG, Cisco Systems Inc., Honeywell International Inc., Huawei Technologies Co., Ltd., Intel Corporation, Rockwell Automation Inc. и др. Отечественные игроки: GS Group (ООО «Концерн «Инновационные технологии»), АО «Дизайн центр «Кристал», ООО «Вега-Абсолют», ООО «СПУТНИКС» («Спутниковые инновационные космические системы») и др.
3	Разработка и внедрение платформ по интеграции	Связующее звено между физическими устройствами и прикладным программным уровнем. Обеспечивает управление подключениями, маршрутизацию данных, безопасность и совместимость протоколов, а также интеграцию между отдельными устройствами, в том числе территориально распределенными, а также между устройствами и программными решениями.	Мировые игроки: ABB Ltd., Bosch Global Software Technologies GmbH, Cisco Systems Inc., General Electric Company, Honeywell International Inc., Huawei Technologies Co., Ltd., Intel Corporation, Microsoft Corporation, Rockwell Automation Inc., Schneider Electric, Siemens AG и др. Отечественные игроки: GS Group (ООО «Концерн «Инновационные технологии»), АО «Нэксайн» («Nexign»), ПАО «ВымпелКом» («Билайн»), ПАО «МегаФон», ПАО «МТС» («Мобильные ТелеСистемы»), ПАО «Ростелеком» и др.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [19–22], 2025

Рисунок 10. Цепочка кооперации в области новых материалов с фокусировкой на композиционные материалы



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2025

Таблица 3. Цепочка кооперации в области новых материалов с фокусировкой на композиционные материалы

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
1	Разработка, производство и продажа сырья/компонентов	Разработка и/или усовершенствование компонентов, включая создание химического состава, подбор физических свойств материалов, включая полимеры, волокна, добавки и т.п.	<p>Мировые игроки: 3DXTech LLC, Airtech Advanced Materials Group, Arkema S.A., Avient Corporation, BASF SE, Celanese Corporation, Covestro AG, DuPont de Nemours Inc., Ensinger GmbH, Evonik Industries AG, Greene, Tweed & Co., Inc., Lanxess AG, MaruHachi Corporation, Mitsui Chemicals Europe GmbH, Mitsubishi Chemical Group Corporation, Owens Corning, Roboze S.p.A., Saudi Basic Industries Corporation, SGL Carbon SE, Solvay S.A., Teijin Ltd., Toray Industries Inc., Victrex plc и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «Институт пластмасс имени Г.С. Петрова», АО «Композит», ООО «МК-ПОЛИМЕР», АО «НИИГрафит», Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом», ООО «НИАГАРА», ООО «ПолиМикс Казань», ООО «СМАРТСЕРВИС», ООО «ТД ПЛАСТМАСС ГРУПП», ООО «ФЕРРОПОЛИМЕР», ПАО «СИБУР Холдинг» и др.</p>
2	Разработка композиционных материалов	Сфокусировано на подготовке новых составов и рецептур композиционных материалов из двух и более компонентов с различными физико-химическими свойствами, которые в сочетании дают уникальные характеристики.	<p>Мировые игроки: 9T Labs AG, A+ Composites GmbH, Accudyne Systems Inc., AFPT GmbH, Airborne International B.V., Airtech Advanced Materials Group, Aniso-print 3D Printing Technology Limited Company, Arkema S.A., ATC Manufacturing, AVANCO GmbH, Avient Corporation, BASF SE, C. A. Litzler Co., Inc., Cannon S.p.A., Cetma Composites S.r.l., CGN Juner New Materials Co., Ltd., Coriolis Composites SAS, Creative Composites Group, CRP Technology S.r.l., Dieffenbacher Holding GmbH & Co., econcore N.V., Ensinger GmbH, Eurocarbon B.V., Fokker Services Group, GPM Machinery (Shanghai) Co., Ltd., Greene, Tweed & Co., Inc., Hefei Genius Advanced Material Co., Ltd., Interma S.r.l., Jiangsu Qiyi Technology Co., Ltd., Jota Machinery Industrial (Kunshan) Co., Ltd., Krempel GmbH, KVE Composites Group B.V., Lanxess AG, MAE S.p.A., Mark-forged Holding Corporation, MaruHachi Corporation, Mikrosam DOO, Mitsubishi Chemical Group Corporation, Prodrive, Pultrex Ltd., Roboze S.p.A., Roth Composite Machinery GmbH, SGL Carbon SE, Sinergo S.r.l., SONIMAT, Suprem S.A., Syensqo S.A., Teijin Ltd., Toray Industries Inc., Victrex plc, Zhongfu Shenying Carbon Fiber Co., Ltd. и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «Институт пластмасс имени Г.С. Петрова», АО «Композит», АО «НИИГрафит», АО ПУЛТЕХ (АО «Пултрузионные технологии»), Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ), ГК «ТЕХПРОМ», Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом», Научно-образовательный центр «Композиты России» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), НИЦ «Курчатовский Институт», ООО «Би Питрон», ООО «ИТЕКМА», ООО «МЕТАКЛЭЙ Исследования и Разработки», ООО «Наномет», ООО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ГАРАНТ КОМПОЗИТ», ООО «НИЦ «СПМ», ООО «НПО ГЕЛАР», ООО «ПолиМикс Казань», ООО «ПОЛИФЕМ», ООО «Росизолит», ООО «РЭК», ООО «ТД ПЛАСТМАСС ГРУПП», ООО «ТЕКСАЙС»,</p>
	Разработка технологии изготовления композиционных материалов	Включает разработку методов и процессов производства материалов и конечных изделий из них.	
	Разработка и производство оборудования для изготовления композиционных материалов	Направлено на разработку и производство специализированных промышленных установок и машин для изготовления композитов.	

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
			<p>ООО «Термопластиковые композитные технологии», ООО «ТК «ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АДДИТИВЫ», ООО «ФОРМОПЛАСТ», ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®), ООО НПО «ЗД Солюшнс», Центральный институт авиационного моторостроения имени П. И. Баранова и др.</p>
3	Производство композиционных материалов	Представляет собой промышленный выпуск композиционных материалов в различных формах (полуфабрикат, препрег и др.).	<p>Мировые игроки: A+ Composites GmbH, Arkema S.A., Avient Corporation, BASF SE, Celanese Corporation, Covestro AG, DuPont de Nemours Inc., Ensinger GmbH, Eurocarbon B.V., Evonik Industries AG, Greene, Tweed & Co., Inc., Krempel GmbH, MaruHachi Corporation, Mitsubishi Chemical Group Corporation, Mitsui Chemicals Europe GmbH, Owens Corning, Saudi Basic Industries Corporation, SGL Carbon SE, Solvay S.A., Suprem S.A., Teijin Ltd., Toray Industries Inc., Victrex plc и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «ИНУМИТ», АО «Композит», АО «НИИГрафит», АО ПУЛТЕХ (АО «Пултрузионные технологии»), ГК «ТЕХПРОМ», Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом», ООО «Би Питрон», ООО «ИТЕКМА», ООО «МК-ПОЛИМЕР», ООО «НПО ГЕЛАР», ООО «ПМ-Композит», ООО «ПолиМикс Казань», ООО «Росизолит», ООО «РЭК», ООО «Татнефть-Пресскомпозит», ООО «ТД ПЛАСТМАСС ГРУПП», ООО «Термопластиковые композитные технологии», ООО «ТК «ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АДДИТИВЫ», ООО «Ф2 Инновации», ООО НПО «ЗД Солюшнс», ООО НПП «АпАТЭК» и др.</p>
4	Разработка и производство оборудования для изготовления изделий из композиционных материалов	Направлено на создание средств производства, таких как автоматизированные системы выкладки и намотки, для изготовления деталей и конечных изделий из композиционных материалов.	<p>Мировые игроки: 9T Labs AG, Accudyne Systems Inc., AFPT GmbH, Airborne International B.V., C. A. Litzler Co., Inc., Cannon S.p.A., Dieffenbacher Holding GmbH & Co., econcore N.V., Electroimpact Inc., Fives Group, Ingersoll Machine Tools Inc., KVE Composites Group B.V., MAE S.p.A., MTorres Diseños Industriales S.A.U., Pultrex Ltd., Roth Composite Machinery GmbH, Sinergo S.r.l. и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО ПУЛТЕХ (АО «Пултрузионные технологии»), ООО «Би Питрон», ООО «ПОЛИФЕМ», ООО «Термопластиковые композитные технологии», ООО «Ф2 Инновации», ООО «Тоталзед» и др.</p>
5	Разработка и производство изделий из композиционных материалов	Результатом являются готовые детали и конструкции для высокотехнологичных отраслей промышленности, часто изготавливаемые на заказ.	<p>Мировые игроки: 3DXTech LLC, Aciturri Group, AFPT GmbH, Airborne International B.V., ATC Manufacturing, BASF SE, Cetma Composites S.r.l., Collins Aerospace, Creative Composites Group, CRP Technology S.r.l., econcore N.V., Eurocarbon B.V., Greene, Tweed & Co., Inc., Grupo Antolin Irausa SA, Intermas S.r.l., Kunststoffwerk AG (svismold), MBNA Group, MTorres Diseños Industriales S.A.U., Prodrive, Roboze S.p.A., Safran SA, Suprem S.A., Syensqo S.A., Toray Industries Inc., Victrex plc, Zhongfu Shenyang Carbon Fiber Co., Ltd. и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «Композит», АО «НИИГрафит», АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», АО ПУЛТЕХ (АО «Пултрузионные технологии»), Композитный дивизион Госкорпорации «Росатом», ООО «Наномет», ООО «НПО ГЕЛАР», ООО «ПМ-Композит», ООО «ПолиМикс Казань», ООО «ПОЛИФЕМ», ООО «Росизолит», ООО «Сагрит», ООО «Татнефть-Пресскомпозит», ООО «ТД ПЛАСТМАСС ГРУПП»,</p>

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
			ООО «Термопластиковые композитные технологии», ООО «Ф2 Инновации», ООО «ФОРМОПЛАСТ», ООО «ЦЕНТР СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ», ООО НПО «ЗД Солюшнс», ООО НПП «АпАТЭК», Центр Автоматизации Теплофизических Исследований (ЦАТИ) и др.
–	Разработка программных систем для моделирования свойств материалов	Обеспечивает цифровое проектирование и моделирование на всех этапах разработки композиционных материалов и изделий из них. Включает как моделирование, основанное на законах физики, так и подходы, использующие искусственный интеллект и анализ данных, и охватывает полный цикл создания цифровых моделей материалов и изделий.	<p>Мировые игроки: 9T Labs AG, AFPT GmbH, AI Materia, Altair Engineering Inc., Ansys Inc., Anisoprint 3D Printing Technology Limited Company, Autodesk Inc., C. A. Litzler Co., Inc., Cadence Design Systems Inc., Citrine Informatics, COMSOL AB, CoreTech System Co., Ltd. (Moldex3D), Coriolis Composites SAS, Dassault Systèmes SE, ESI Group, Fujitsu Limited, Hexagon AB, JSOL Corporation, Keobotix, Markforged Holding Corporation, MaterialsZone, Mikrosam D00, MTorres Diseños Industriales S.A.U., Phaseshift Technologies, Roboze S.p.A, Sinergo S.r.l., Roth Composite Machinery GmbH, Schrödinger Inc., Siemens Digital Industries Software, Synopsys Inc., Toray Industries Inc., Total Materia AG и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «АСКОН», МГТУ им. Н.Э. Баумана, НОЦ «СИМПЛЕКС», НТЦ «АПМ», ООО «АНТАРИЯ», ООО «ТЕСИС», ООО «ФИДЕСИС», ООО НПО «ПК», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и др.</p>
–	Разработка программных систем для моделирования процессов изготовления, настройки оборудования		
–	Разработка программных систем для проектирования изделий из композиционных материалов		

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [23–25], 2025

Рисунок 11. Цепочка кооперации в области промышленной робототехники



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2025

Таблица 4. Цепочка кооперации в области промышленной робототехники

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
1	Разработка, серийное и мелкосерийное производство роботов	Охватывает полный цикл производства робототехники – от проектирования до выпуска готовых изделий. Включает серийное производство для массового рынка, мелкосерийное или единичное производство для решения специфических задач крупных промышленных предприятий или государственных заказов, в том числе в рамках НИОКР.	<p>Мировые игроки: ABB Ltd., Comau S.p.A., DENSO Products and Services Americas Inc. (DENSO Robotics), Fancu Co., Ltd., Kawasaki Robotics, KUKA AG, Mitsubishi Electric Corporation, Omron Corporation, Universal Robots, Yaskawa Electric Corporation и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «ДИАКОНТ», АО «НПО «Андроидная техника», ООО «АВАНГАРДПЛАСТ», ООО «АРИПИКС РОБОТИКС», ООО «АРКОДИМ», ООО «БИД Технолоджис Рус», ООО «ГЕРЦ РОБОТИКС», ООО «ИНТРЕД», ООО «МАКРО СОЛЮШНС», ООО «МДРАЙВ» (КУВО), ООО «Промобот», ООО «РобоКомпонент», ООО «Роботех», ООО «ТАРИС», ООО «Уникальные роботы», ООО «Центр роботизации промышленности Метра-Роботикс», ООО «ЭЙАРСИ», ООО «Эйдос Робототехника», ООО «ЯНДЕКС РОБОТИКС» и др.</p>

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
2	Разработка программных систем для управления роботом	Фокусируется на разработке цифровых инструментов, обеспечивающих взаимодействие робота с внешней средой и производственными системами. Ключевые направления включают разработку управляющих модулей, интеграцию сенсорных систем и построение логики автоматизированных операций. Программные решения обеспечивают не только управление отдельными устройствами, но и синхронизацию роботов в рамках комплексных производственных линий.	<p>Мировые игроки: ABB Ltd., Comau S.p.A., DENSO Products and Services Americas Inc. (DENSO Robotics), Fanuc Co., Ltd., Kawasaki Robotics, KUKA AG, Mitsubishi Electric Corporation, Omron Corporation, Universal Robots, Yaskawa Electric Corporation и др.</p> <p>Отечественные игроки: ООО «АРИПИКС РОБОТИКС», ООО «БИД Технолоджис Рус», ООО «ГЕРЦ РОБОТИКС», ООО «ИНТРЭД», ООО «Роботех», ООО «ТАРИС», ООО «Уникальные роботы», ООО «Центр роботизации промышленности Метра-Роботикс», ООО «Эйдос Робототехника» и др.</p>
	Разработка программных систем для автоматизации производства		<p>Мировые игроки: ABB Ltd., KUKA AG, Omron Corporation, Yaskawa Electric Corporation и др.</p> <p>Отечественные игроки: ООО «МАКРО СОЛЮШНС», ООО «Уникальные роботы», ООО «Эйдос Робототехника» и др.</p>
3	Услуги по техническому обслуживанию	Услуги включают эксплуатационные и сервисные направления, обеспечивающие жизненный цикл робототехнических систем. Основные направления: продажа дополнительных инструментов и аксессуаров, проведение обслуживающих и ремонтных работ, длительное сопровождение установленных роботов, аутсорсинг, аренда или лизинг оборудования и др. Дополнительно предлагаются услуги по обучению персонала и интеграции роботизированных решений в существующие технологические процессы предприятия.	<p>Мировые игроки: ABB Ltd., Comau S.p.A., DENSO Products and Services Americas Inc. (DENSO Robotics), Fanuc Co., Ltd., Kawasaki Robotics, KUKA AG, Mitsubishi Electric Corporation, Omron Corporation, Universal Robots, Yaskawa Electric Corporation и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «ДИАКОНТ», АО «НПО «Андроидная техника», ООО «АВАНГАРДПЛАСТ», ООО «АРИПИКС РОБОТИКС», ООО «ГЕРЦ РОБОТИКС», ООО «ДС-Роботикс», ООО «ИНТРЭД», ООО «Промобот», ООО «Промышленная робототехника», ООО «Р-ПРО РОБОТИКС», ООО «РОБОВИЗАРД», ООО «Роботех», ООО «ТАРИС», ООО «Центр роботизации промышленности Метра-Роботикс», ООО «Эйдос Робототехника» и др.</p>
	Услуги Robot-as-a-Service / аутсорсинг		<p>Мировые игроки: Exotec, Hirebotics, KUKA AG и др.</p> <p>Отечественные игроки: н/д.</p>
	Услуги по интеграции роботов		<p>Мировые игроки: ABB Ltd., DENSO Products and Services Americas Inc. (DENSO Robotics), Kawasaki Robotics, KUKA AG, Omron Corporation, Yaskawa Electric Corporation и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «ДИАКОНТ», ООО «АРИПИКС РОБОТИКС», ООО «АРКОДИМ», ООО «ДС-Роботикс», ООО «МАКРО СОЛЮШНС», ООО «Норматив», ООО «Промышленная робототехника», ООО «Р-ПРО РОБОТИКС», ООО «РОБОВИЗАРД», ООО «Роботех», ООО «Центр роботизации промышленности Метра-Роботикс» и др.</p>

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [26,27], 2025

Рисунок 12. Цепочка кооперации в области аддитивного производства



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2025

Таблица 5. Цепочка кооперации в области аддитивного производства

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
1	Разработка и производство материалов	Охватывает полный цикл производства сырья для аддитивных технологий – от разработки компонентов материалов до проектирования и выпуска специализированных конечных материалов, соответствующих требованиям конкретных методов печати и эксплуатационным характеристикам изделий.	<p>Мировые игроки: 3D Systems Corporation, BLT, Carbon Inc., Colibrium Additive (GE Aerospace company), Desktop Metal Inc.², EnvisionTEC GmbH³, EOS GmbH, Eplus3D Tech GmbH, Farsoon Technologies, Markforged Holding Corporation, Nikon SLM Solutions AG, Prima Additive S.r.l. (AltForm), Stratasys Ltd., The ExOne Company⁴ и др.</p> <p>Отечественные игроки: Bestfilament, АО «Гиредмет», АО «Комползит», АО «Опытный завод «Микрон», АО «ПОЛЕМА», АО «РУСАЛ», АО «ЧМЗ», Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ), НПО «Центротех», ОАО «ВИЛС», ООО «Гранком», ООО «НДМ», ООО «НОРМИН», ООО «ОН-СИНТ», ООО «ПК «НИТ», ООО «РЭК», ООО «СфераМ», ООО «ХАРЦ Лабс», ПАО «Ашинский металлургический завод» и др.</p>

² Desktop Metal Inc. подала заявление о банкротстве в июле 2025 года из-за значительных долгов и структурной убыточности, возникших в результате решений предыдущего руководства. Nano Dimension, приобретая компанию в апреле 2025 года, объявила о намерении продать ее европейские активы (EnvisionTEC GmbH, The ExOne Company, Aidro S.r.l.) аффилированной структуре Anzu Partners – инвестиционной фирмы, специализирующейся на промышленных и биотехнологических компаниях.

³ По решению суда США EnvisionTec GmbH приобретена аффилированной структурой Anzu Partners.

⁴ The ExOne Company и Voxeljet AG объединены в холдинг ExOne Global Holdings, контролируемый Anzu Partners.

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
2	Разработка и производство аддитивного оборудования, включая ПО и техническое обслуживание	Предполагает разработку, изготовление и техническое обслуживание оборудования для аддитивного производства. Включает разработку технологий печати, конструирование систем подачи и нанесения материала, а также проектирование управляющих модулей и программных комплексов. Дополнительно выполняются задачи технического обслуживания: калибровка, модернизация, замена компонентов и поддержка качества печати на протяжении всего жизненного цикла оборудования.	<p>Мировые игроки: 3D Systems Corporation, Additive Industries, Alkimat Tecnologia, BLT, Carbon Inc., Colibrium Additive (GE Aerospace company), Desktop Metal Inc., DMG MORI AG, EnvisionTEC, EOS GmbH, Eplus3D Tech GmbH, Farsoon Technologies, HP Inc., Markforged Holding Corporation, Nikon SLM Solutions AG, Optomec Inc., Prima Additive S.r.l. (AltForm), Renishaw plc, Sciaky Inc., SPEE3D, Stratasys Ltd., The ExOne Company, Velo3D Inc., Voxeljet AG⁵ и др.</p> <p>Отечественные игроки: 3DLAM, АО «Концерн «Калашников», АО «ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ», АО «Электромеханика», Институт лазерных и сварочных технологий, ООО «ЗМ ИНЖИНИРИНГ» (AVP ZIAS), ООО «ИП и СТ», ООО «МИП «ДИВА-3Д», ООО «НПК АНТЕЙ» (RedFab), ООО «НПК ТЭТА», ООО «НПО «3Д-Интеграция» (AM.TECH), ООО «ОНСИНТ», ООО «ПИКАСО 3Д», ООО «Ретех» («Прокерамика»), ООО «Роботех», ООО «Росатом Аддитивные технологии», ООО «Стереотек», ООО «Титан-Авангард» (AddSol), ООО «Ф2 Инновации», ООО «Эксклюзивные Решения» (3DSL.RU), ООО НПЦ «Лазеры и Аппаратура», AM Solid, ООО «Тоталзед» и др.</p>
3	Разработка программных систем для производства на аддитивном оборудовании	Направлено на создание цифровых решений, обеспечивающих сквозную интеграцию процессов проектирования и производства. Программное обеспечение включает инструменты для подготовки цифровых моделей к аддитивному производству, оптимизации структуры изделия и управления процессами аддитивного производства.	<p>Мировые игроки: AdditiveLab, AMFG, Ansys Inc., Autodesk Inc., CT CoreTechnologie Group, Dassault Systèmes SE, Hexagon AB, Materialise NV, Siemens AG, Stratasys Ltd., VoxelDance и др.</p> <p>Отечественные игроки: ООО «Р-ПРО», ООО «ТРИАНГУЛЯТИКА», ООО «ФИДЕСИС» и др.</p>
4	Разработка и производство конечных изделий, включая аутсорсинг	Связано с изготовлением и постобработкой изделий с использованием аддитивных установок: подготовка 3D-модели, настройка оборудования, печать, охлаждение, извлечение и очистка детали, а также механическая и термическая постобработка. Производство может быть развернуто как внутри компании, так и осуществляться посредством аутсорсинга, что позволяет снизить капитальные затраты на налаживание производства и повысить гибкость при выполнении заказов различного масштаба по изготовлению изделий аддитивным методом. На данном уровне также осуществляется контроль качества и сертификация изделий.	<p>Мировые игроки: 3D Systems Corporation, Airbus SE, Alkimat Tecnologia, BLT, BMW AG, Carbon Inc., Colibrium Additive (GE Aerospace company), Collins Aerospace, Desktop Metal Inc., Emerson Electric, EOS GmbH, Eplus3D Tech GmbH, Farsoon Technologies, GE Aerospace, GKN Aerospace, Honeywell International, Immensa Technology Labs, Lockheed Martin Corporation, Markforged Holding Corporation, Materialise NV, NASA, Nissan Motor Co., Ltd., Optomec Inc., Porsche AG, Prima Additive S.r.l. (AltForm), Protolabs, Raytheon, Renishaw plc, Ricoh Company Ltd., Robert Bosch GmbH, Rolls-Royce Motor Cars Ltd., Safran SA, Siemens AG, Stratasys Ltd., Tesla Inc., The Boeing Company, The ExOne Company, Toyota Motor Corporation, Voxeljet AG и др.</p> <p>Отечественные игроки: АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», Государственная корпорация «Ростех»,</p>

⁵ Voxeljet AG входит в холдинг ExOne Global Holdings.

№	Звено кооперации	Описание	Игроки
			Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос», ПАО «Газпром нефть», ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация», ПАО «СИБУР Холдинг», ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «Татнефть», ПАО «Транснефть» и др.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [25,28–32], 2025

ГЛАВА 2. ОТРАСЛЕВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОДУКТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» НТИ

В ходе исследования определена применимость технологий, составляющих основу технологических сегментов направления «Технет» НТИ, в различных отраслях промышленности, а также проведен обзор высокотехнологичных продуктов, разрабатываемых с использованием передовых производственных технологий как ключевого драйвера развития рынка «Технет».

Технологические сегменты направления «Технет» НТИ, включающие **цифровое проектирование и моделирование, технологии управления жизненным циклом, технологии разработки и производства новых материалов**, а также **технологии «умного» производства**, находят широкое применение в таких обрабатывающих отраслях промышленности, как авиастроение и беспилотные авиационные системы (БАС), автомобилестроение, атомное машиностроение, вертолетостроение, двигателестроение, железнодорожный транспорт, станкостроение, судостроение, а также в ряде добывающих отраслей, таких как нефтегазовая отрасль, горнодобывающая промышленность, металлургия и пр. Технологии и продукты рынка «Технет» НТИ преимущественно применяются в машиностроении, как правило, на капиталоемких и наукоемких предприятиях, при этом внедрение технологий происходит комплексно, системно – технологии цифрового проектирования и моделирования могут быть интегрированы, например, с технологиями «умного» производства, и реализация проекта по их развертыванию формирует технологическую экосистему на предприятии.

Цифровое проектирование и моделирование, технологии управления жизненным циклом

Цифровое проектирование и моделирование наряду с технологиями управления жизненным циклом обеспечивают значительное снижение затрат на разработку и производство продукции за счет управления инженерными данными, проведения цифровых (виртуальных) испытаний и «цифровой сертификации»⁶ в различных отраслях.

Рассмотренные в экспертно-аналитическом отчете «Архитектура кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ (включая обзор применения технологий цифрового проектирования и моделирования для обоснования компоновочных решений в машиностроении)» в 2024 году примеры отраслевого применения технологий цифрового проектирования и моделирования в рамках проектов LM Wind Power (входит в GE Vernova), Joby Aviation, Dronamics,

⁶ В рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 7 ноября 2023 года №3113-р впервые в нормативно-правовом поле закреплено определение «цифровой сертификации», предложенное СПБПУ: «Цифровая сертификация» – специализированный бизнес-процесс, основанный на тысячах (десятках тысяч) цифровых (виртуальных) испытаний как отдельных компонентов, так и системы в целом, целью которого является прохождение с первого раза всего комплекса натуральных, сертификационных и прочих испытаний.

CARBOMILL, Epiroc, ПАО «Уралмашзавод», Alstom, ООО «Институт Гипроникель» (входит в ПАО «ГМК «Норильский никель»), ОАО «Пензкомпрессормаш», АО «Уральский завод гражданской авиации», и др. направлены на получение следующих эффектов [12]:

- прогнозирование и улучшение технических характеристик эксплуатации разрабатываемого изделия, в том числе аэродинамики, акустики, напряженно-деформированного состояния, колебаний, статики, нагружения, вибраций, прочности, теплопередачи, аэроупругости, свойств материала и др.;
- ресурсоэффективность, снижение временных и финансовых затрат на проведение натурных и сертификационных испытаний;
- обеспечение интеграции между элементами системы, внесение изменений в геометрию конструкций и анализ различных вариантов;
- снижение веса и оптимизация конструкции;
- оптимизация производственных процессов и настройка работы оборудования с ЧПУ, минимизация ошибок в процессе технологических операций и отладки технологических процессов и др.

Обозначенные направления применения технологий цифрового проектирования и моделирования являются наиболее актуальными и эффективными подходами к разработке изделий. Также можно отметить британскую компанию **Leonardo**, которая представила Proteus – трехтонный беспилотный вертолет с модульным отсеком полезной нагрузки для Королевского ВМФ, разработанный с применением технологий цифрового проектирования и моделирования. Так, в совокупности с технологиями цифрового двойника, а также алгоритмами искусственного интеллекта и машинного обучения компания Leonardo испытывает, изменяет и подтверждает характеристики вертолета в виртуальной среде без необходимости проведения испытаний в реальных условиях, что значительно сокращает затраты и ускоряет процесс разработки по сравнению с традиционными программами принятия на вооружение вертолетов [33].

Другим примером применения и развития технологий цифрового проектирования и моделирования выступает американская компания **Istari Digital**, которая объявила, что сертификация новой модификации беспилотного летательного аппарата X-56A будет проводиться в цифровой среде с использованием платформы цифрового инжиниринга до того, как будет создан опытный образец БПЛА. Модификация подразумевает внесение изменений в конструкцию шасси и камеры. Проект по цифровой сертификации ведется в рамках программы Flyer One с использованием средств гранта от ВВС США. Платформа цифрового инжиниринга Istari Digital призвана служить связующим звеном между имеющимися в распоряжении **Lockheed Martin** (разработчик X-56A) результатами численного моделирования и существующим процессом получения сертификата летной годности в ВВС США [34]. Как было отмечено выше, реализация «цифровой сертификации» является перспективным развитием направления цифрового проектирования и моделирования в совокупности с применением технологии цифровых двойников.

Британская компания **NOV Fiber Glass Systems (NOV FGS)**, производитель сложных конструкций из стекловолокна и термопластичных материалов, внедрила Autodesk Vault для PowerMill – PDM-систему для управления данными проектирования, адаптированную под САМ-систему PowerMill. В результате внедрения Vault для PowerMill время на открытие, закрытие и передачу разных файлов стало занимать несколько минут, а не 30% времени выполнения всего проекта.

Исчезла проблема производства по неактуальным чертежам, сократился штат проектантов, выросла производительность труда, исчез ряд ручных операций в цеху [35].

Итальянская компания **Marelli**, в свою очередь, использует решения Ansys SimAI и Ansys ConceptEV для ускорения разработки электромобилей. Ansys SimAI – облачная платформа генеративного искусственного интеллекта, обеспечивающая точное предсказание различных характеристик за счет обучения на результатах численного моделирования. Ansys ConceptEV – платформа для проектирования, поддерживающая интеграцию с Ansys Discovery и NVIDIA Omniverse Blueprint для визуализации CFD-расчетов и применения цифровых двойников, основанных на законах физики. Результатами применения данного комплекса решений выступают сокращение цикла разработки продукта на 25%, снижение затрат на инженерные разработки на 15–20% и улучшение характеристик продукта на 15–20% [36].

Аналогично американская компания по производству электроприводов **Danfoss Drives** использовала программную систему Ansys для оптимизации конструкции контроллера привода последнего поколения. Контроллер используется в различных механизмах для управления частотой вращения, крутящим моментом и мощностью электродвигателей. Численное моделирование с использованием решений Ansys позволило повысить КПД привода, сократив потребление энергии на 45% в течение всего срока службы устройства, что вдвое больше, чем без применения моделирования [37].

Компания **Bright Engineering**, которая специализируется на производстве сложных компонентов для аэрокосмической, медицинской, энергетической и других отраслей, внедрила Autodesk FeatureCAM. Использование Autodesk FeatureCAM сократило время программирования станков с ЧПУ на 50%, повысило производительность фрезерных операций на 25%, усовершенствовало состав технологической документации, получаемой из CAM-системы, для операторов станков, что сократило время наладки. Благодаря этому повысилось общее качество производства компонентов [38]. Еще одним ярким примером выступает масштабирование применения *цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®* – отечественной *SPDM-системы управления процессами и данными компьютерного моделирования* (Simulation Process and Data Management, SPDM) [39–45], разработка Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ, которая регулярно применяется в процессе выполнения проектов в интересах высокотехнологичных промышленных компаний.

Для проведения цифровых (виртуальных) испытаний цифровая платформа CML-Bench® имеет возможность подключения различных высокопроизводительных вычислительных ресурсов (кластеров и суперкомпьютеров), а также широкого спектра специального инженерного программного обеспечения, используемого в инженерно-конструкторских и расчетных работах на различных стадиях подготовки и проведения компьютерного моделирования, цифровых (виртуальных) испытаний и обработки результатов вычислений (CAD/CAE/CAO/CAx/PDM/PLM) [39].

Прикладные сервисы цифровой платформы CML-Bench® реализуют следующие ключевые функции [46]:

- управление проектами и заданиями;
- иерархическое представление данных проекта;
- представление графика работ по проекту в виде диаграммы Ганта;

- работа с документами/файлами разных форматов;
- управление условиями нагружения (повторение одного и того же физического эксперимента, с разной логикой работы с целевыми показателями);
- управление библиотекой требований к разрабатываемому продукту;
- отображение матрицы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений;
- отображение дерева эволюции расчетных вариантов;
- управление цифровыми макетами;
- управление расчетными моделями;
- управление расчетными узлами;
- интеграция с высокопроизводительными кластерами (HPC – High Performance Computing);
- управление приоритизированной очередью задач;
- сбор и анализ статистики по выполненным расчетным задачам;
- формирование визуальной отчетности.

В цифровой платформе CML-Bench[®] реализован механизм **создания расчетных цепочек**, который позволяет автоматизировать процесс комплексного расчета, включающего использование нескольких видов инженерного программного обеспечения. С помощью этого механизма можно построить расчетный агрегат, в котором различные пакеты можно будет использовать последовательно (управление и данные передаются от одного пакета другому), условно (управление передается пакету при выполнении определенного условия), циклически (один и тот же пакет обрабатывает определенное количество раз) или параллельно (данные и управление из одного пакета передаются одно временно нескольким). При этом результаты расчетов будут переданы от одного компонента расчетного агрегата другому [40,46]. Применение платформы осуществляется для 10+ отраслей, включая автомобилестроение [41], железнодорожный транспорт [41], двигателестроение [41,44], беспилотную авиацию [44], атомное машиностроение [42], нефтегазовую отрасль [43] и др. [47,48] Кроме того, в платформу интегрировано 170 программных систем и модулей, в их числе – отечественные разработки ООО «Тесис» (FlowVision), ООО «Фидесис» (CAE Fidesys), ООО «Вычислительная механика» (Универсальный механизм), ООО «Тор» (ELCUT), ООО «Кванторформ» (QForm) и др. [44]

Лицензии платформы поставлены промышленным и научно-исследовательским организациям, включая ПК «Салют» (АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» /АО «ОДК», Госкорпорация «Ростех»), ПАО «ОДК-Сатурн» (АО «ОДК», Госкорпорация «Ростех»), ООО «Центротех-Инжиниринг» (Госкорпорация «Росатом»), АО «Прорыв» (Госкорпорация «Росатом»), ФГУП «ПО «Маяк» (Госкорпорация «Росатом»), АО «НИКИЭТ» (Госкорпорация «Росатом»), АО «ИРМ» (Госкорпорация «Росатом»), АО «ОКБМ Африкантов» (Госкорпорация «Росатом»), ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем», Авиакомпания «Ямал», Институт проблем безопасности развития атомной энергетики (ИБРАЭ) РАН, а также образовательным учреждениям страны, в числе которых – Тюменский государственный университет (ТюмГУ), Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (Самарский университет), Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева (РГАТУ имени П.А. Соловьева) и др.

Также цифровая платформа CML-Bench[®] легла в основу системы «УРАНИЯ», внедряемой на предприятиях Госкорпорации «Росатом».

Так, цифровая платформа CML-Bench[®] была применена инженерами Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» в ходе разработки цифровой модели печи остекловывания в интересах ФГУП «ПО «Маяк» [49]. Инженеры «Центра компьютерного инжиниринга» СПбПУ впервые инженерной практике разработали архитектуру мультидисциплинарной (мультифизической) цифровой модели печи остекловывания. Разработчики провели анализ мирового опыта проектирования установок остекловывания высокоактивных радиоактивных отходов и совместно со специалистами заказчика определили проектные режимы работы, условия использования и разработали ключевой элемент цифрового двойника – матрицу требований, целевых показателей и ресурсных ограничений.

Функциональные возможности цифровой платформы CML-Bench[®] оснащены интеллектуальными инструментами, среди которых:

- подсистема CML-Bench[®].RomAI, предназначенная для создания редуцированных и суррогатных моделей с целью проведения многовариантных цифровых испытаний и ускорения многодисциплинарных расчетов, а также для real-time моделирования сложных промышленных изделий;
- подсистема CML-Bench[®].AI-Assistant, которая работает на базе LLM и способна формировать рекомендации («советы») по построению цифровых двойников изделий, учитывая в рекомендациях накопленный за годы инженерной деятельности опыт по разработке цифровых двойников изделий, разработке и производству сложных промышленных изделий;
- подсистема CML-Bench[®].OptiCore, которая работает на базе алгоритмов машинного обучения и позволяет выполнять многокритериальную многопараметрическую оптимизацию в рамках заданных требований к изделию с целью ускорения процесса балансировки матрицы требований и целевых показателей [47,48].

В процессе разработки цифровой модели печи остекловывания использовался модуль CML-Bench[®].AI-Assistant для мониторинга в real-time режиме нестационарных тепловых полей в процессе эксплуатации печей остекловывания. В итоге удалось ускорить проведение мультидисциплинарных расчетов с 6 часов до 5 миллисекунд, т.е. в 4 миллиона раз [50].

Аналогично сотрудники Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» СПбПУ разработали математические и компьютерные модели для топологической и параметрической оптимизации конструкции подложек толкательной печи спекания таблеток смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива с применением цифровой платформы CML-Bench[®]. Заказчик научно-технологического проекта – АО «Прорыв» (входит в Госкорпорацию «Росатом»). С целью уменьшения износа внутренних частей толкательной печи спекания при высоких температурах (до 1950°C) проведены работы по снижению массы подложки с применением технологий цифрового проектирования и моделирования, технологии цифровых двойников и SPDM-платформы. Инженеры предложили 5 вариантов конструкции подложки, позволяющие в зависимости от применяемых способов обработки существующих изделий (или при изготовлении новых) снизить массу от 15% до 65% [51].

Новые материалы

Новые материалы также широко внедряются в различные отрасли промышленности, при этом существующий тренд повышения экологичности материалов и снижения воздействия на окружающую среду способствует распространению материалов на основе биосырья.

Рассмотренные в 2024 году примеры отраслевого внедрения композиционных материалов в рамках реализации проектов компаний (Mercedes-Benz, Clemson Composites Center, Делавэрский университет, Королевский голландский аэрокосмический центр (NLR), GKN Fokker, Делфтский технический университет, SAM|XL, Немецкий центр авиации и космонавтики (DLR), Airbus, Premium AEROTEC, Aernnova) способствовали формированию конкурентных преимуществ, повышению экологичности и повторного использования разрабатываемых решений, снижению веса конструкций, уменьшению количества используемых компонентов, улучшению технических свойств и прочности изделий и др. [12]

В России так же существуют примеры успешных инновационных проектов в области *термопластичных композиционных материалов*. Так, в Передовой инженерной школе СПбПУ «Цифровой инжиниринг» разработана первая в России технология и опытная установка изготовления филаментов из термопластов на основе непрерывного углеродного волокна [52–57]. Преимущества углеродного волокна, такие как высокая прочность, жесткость и легкий вес, в сочетании с его устойчивостью к высоким температурам и химическим воздействиям, делают его идеальным материалом для 3D-печати [54].

Разработка осуществлялась в интересах композитного дивизиона **Госкорпорации «Росатом»**. Производительность установки, введенной в эксплуатацию осенью 2023 года, – 500 метров филамента в час. Основу филамента составляет углеродная нить, которая затем пропитывается суспензией полимерного порошка. НИОКР в области термопластов выполнялся в рамках приоритетного направления «Материалы и технологии» Единого отраслевого тематического плана Госкорпорации «Росатом».

Также важно отметить примеры применения новых технологий в области передовых материалов, в частности, технологий цифрового моделирования материалов и программных комплексов прогнозирования свойств.

Так, компания Ferrari Competizioni GT внедрила платформу Ansys Granta MI для управления данными о материалах и оптимизации их использования. В результате применения решения повысилась гибкость проектирования за счет упрощенного выбора материалов и возможности экспортировать свойства материалов как для предварительной конструкторской проработки, так и для инженерных расчетов. Улучшились характеристики автомобиля за счет знаний о свойствах материалов, исчезла необходимость перепроектирования деталей, сократилась стоимость и вес автомобиля. Появились стандартизированные данные о материалах в структурированном и отслеживаемом виде [58].

Также в МИФИ создали онлайн-сервис для предсказания свойств веществ. Так, ученые Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» разработали онлайн-сервис – программную библиотеку RSP (Real Substance Properties), позволяющую прогнозировать поведение веществ и материалов при переработке, транспортировке, смешивании и хранении.

Разработка предназначена для энергетики, машиностроения, нефтегазовой отрасли и авиации. Библиотека совместима с любыми современными языками программирования, работает на различных платформах и операционных системах, а также может интегрироваться в существующие системы заказчиков. На данный момент команда проекта зарегистрировала компанию «Физтехлаб» и уже начала тестирование RSP на одном из предприятий «Росатома» [59].

Аналогично ГК «Росатом» представила инновационную систему автоматизированного проектирования и синтеза новых материалов с заданными свойствами на Форуме будущих технологий «Росатом». Технология с помощью искусственного интеллекта и цифрового моделирования создает до 10 вариантов материалов в сутки, а структура материала формируется с помощью управляемого лазера. Система уже применяется для сплавов с ресурсом 80 лет для реактора IV поколения ВВЭР-СКД, металлокерамических композитов для оболочки твэлов реактора IV поколения БРЕСТ-ОД-300 с увеличенной прочностью на 15–20%, керамики из карбида кремния для изделий специального назначения и др. [60]

Также АО «ОДК» и ИТ-компания АСКОН на конференции ЦИПР-2025 представили первую российскую систему для проектирования деталей из композитных материалов – «КОМПАС-Композиты». С помощью данной САПР был спроектирован опытный образец детали авиадвигателя ПД-14 в пермском конструкторском бюро «ОДК-Авиадвигатель». Система поддерживает моделирование структуры и свойств материалов, анализ слоев и формирование данных для производства изделий. Разработка ведется при поддержке Российского фонда развития информационных технологий (РФРИТ) в рамках проекта ИЦК «Двигателестроение» [61]. Кроме того, композитный модуль программы КОМПАС-3D компании АСКОН применен компанией ООО «НПО «АэроВолга» в процессе разработки самолета-амфибии BOREY для реализации конструкторских и технологических задач [62]. Проведенный Инфраструктурным центром «Технет» СПбПУ в 2023 году анализ применения передовых производственных технологий в отрасли авиадвигателестроения показал, что абсолютное большинство компаний-лидеров отрасли авиадвигателестроения внедряют такие технологии, как *цифровое проектирование и моделирование, композиционные материалы, аддитивные технологии* в целях повышения эффективности процессов, снижения веса, повышения устойчивости, соответствия требованиям и улучшения технических параметров двигателей, таких как топливная эффективность, прочность, экономичность, а также аэродинамических характеристик и др. [63]

Технологии «умного» производства

Сегмент *технологий «умного» производства*, который включает промышленную робототехнику, аддитивное производство, промышленный интернет вещей и др., также характеризуется расширением масштабов применения технологий в различных отраслях промышленности.

В 2024 году в экспертно-аналитическом докладе «Архитектура кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ (включая обзор применения технологий цифрового проектирования и моделирования для обоснования компоновочных решений в машиностроении)» рассмотрены примеры внедрения технологий «умного» производства такими компаниями как научно-исследовательский технологический институт «Прогресс» (находится под управлением компании «РТ-Капитал» Госкорпорации «Ростех»), АО «ОДК» (входит в Госкорпорацию

«Ростех»), Renault Group, Moi Composites, Webasto, Kawasaki, Safran, BWT Alpine F1, Harley Davidson и др. Среди преимуществ внедрения технологий можно отметить [12]:

- увеличение контролируемости параметров технологических процессов, повышение точности процессов производства, безопасности и производительности;
- сокращение производственного цикла, автоматизация производственных процессов и операций, технического обслуживания, выявление простоев и оптимизация загрузки оборудования;
- обеспечение гибкости, модульности и распределенности производства;
- совершенствование и упрощение обучающих процессов сотрудников и студентов;
- получение уникальных форм и конструкций при обеспечении прочности, улучшенных физико-механических свойств и др.

Важно также отметить тренд развития беспилотного транспорта, включая беспилотные летательные аппараты (БПЛА), беспилотные автомобили и безэкипажные катера, в связи с чем увеличивается значимость передовых производственных технологий для отечественной отрасли БАС, а также расширяется применимость технологий, преимущественно входящих в сегмент «умного» производства, в интеграции с БПЛА. В частности, в проектах Amazon и Walmart отмечается снижение издержек в логистике, повышение производительности при проведении складских операций, оптимизация процессов поиска товаров и управления данными и др. [12]

Примером применения технологий «умного» производства также выступает компания **H2 Clipper**, которая получила патент на технологию использования автономных роботизированных роев для сборки крупных летательных аппаратов. Вместо традиционных сборочных линий роботы совместно и без участия человека собирают конструкции на месте – горизонтально или вертикально. По оценкам компании, данная технология может сократить сроки производства на 60%, снизить затраты более чем на 40% и повысить точность за счет искусственного интеллекта и автоматического контроля. Технология широко применима в аэрокосмическом секторе [64].

В Китае также практикуют масштабное внедрение промышленных роботов, в частности, в сборочном производстве электромобилей компании **Chery** в Даляне (Китай) внедрена крупнейшая в автопроме система «точно в срок» (JIT) на базе 435 автономных мобильных роботов (AMR) от ForwardX. В проекте используются три серии роботов: Flex для работы в ограниченных пространствах, Max для транспортировки тяжелых грузов до 2,5 тонны и Lunx для интеллектуальной буксировки. Результатом внедрения роботов является достижение ряда улучшений: скорость перемещения материалов выросла на 40%, трудозатраты снизились на 30%, частота выпуска готовых электромобилей с производственной линии достигла 1 электромобиля в 100 секунд [65].

Внедрение *робототехнических систем* происходит не только в прикладных, но и образовательных и научно-исследовательских целях. Например, на базе **Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого** (СПбПУ) функционирует Научно-образовательный центр промышленной робототехники Kawasaki-Политех – это совместный проект, который реализуется в тесном сотрудничестве СПбПУ, корпорации **Kawasaki Heavy Industries**, одного из крупнейших мировых производителей роботизированных систем, и компании **ROBOWIZARD**, крупнейшего отечественного производителя систем промышленной робототехники [66,67].

Особенностью технологического центра выступает возможность проведения испытаний различных технологий как на реальном оборудовании, так и в цифровом пространстве, а также обучение навыкам программирования и обслуживания промышленных роботов. Центр функционирует в целях проведения образовательных мероприятий, научно-исследовательских и прикладных работ как студентами и исследователями университета, так и представителями промышленности в рамках соглашений.

Еще одним направлением внедрения технологий «умного» производства выступает техническое обслуживание и ремонт систем за счет быстрого прототипирования деталей и применения аддитивных технологий. Так, дочерняя компания RTX – **Pratt & Whitney** – разработала процесс аддитивного ремонта компонентов турбовентиляторного двигателя с редуктором, что позволяет значительно сократить время восстановления деталей. Технология внедряется на фоне масштабной проверки потенциально дефектных узлов, из-за которой в 2025 году были отстранены от полетов сотни самолетов. Новый метод ремонта сокращает длительность процесса более чем на 60%, снижает затраты на оснастку и уменьшает зависимость от разрывов в поставках материалов. Внедрение аддитивных технологий в техобслуживании и ремонте позволит за 5 лет восстановить детали на сумму 100 млн долл. [68]

Отечественная компания «**Норникель**» также внедряет аддитивные технологии для производства запасных частей на удаленных промышленных площадках, где сложны и дороги поставки импортных комплектующих. С 2023 года осваивается печать гипсовых и песчаных форм для литья, а также полимерных матриц для производства полиуретановых деталей. Используются 3D-сканеры и цифровые модели – в базе уже более 200 деталей. Собственное производство сокращает затраты в разы – например, полиуретановый хомут, произведенный в 3D-печатной форме, стоит 400–500 рублей вместо 160 евро за оригинальный. Применение полимерных матриц дает потенциальный экономический эффект до 100 млн руб. [69]

Все большее влияние на развитие рынка «Технет» оказывает повсеместное внедрение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, которые позволяют автоматизировать ряд процессов и улучшить отдельные показатели производительности. В связи с этим наблюдается интеграция передовых производственных технологий, составляющих технологические сегменты «Технет», с той или иной системой искусственного интеллекта.

Так, специалисты **НГТУ им. Р.Е. Алексеева** разработали и запатентовали способ 3D-печати металлических изделий методом электродугового наплавления с интеллектуальной диагностикой процесса. Технология сочетает аддитивное производство с системой искусственного интеллекта, способной в режиме реального времени анализировать и прогнозировать устойчивость печати. Система на основе нейронной сети BiLSTM обрабатывает данные по току, напряжению и акустическим сигналам, классифицирует состояние процесса и прогнозирует его стабильность на 0,1 секунды вперед с точностью 91% [70].

Другим примером выступает проект по созданию цифрового двойника полимерного композиционного материала с датчиками на базе углеродных нанотрубок, реализованный **Сколковским институтом науки и технологий**. В ходе проекта разработан подход, позволяющий оперативно обнаруживать дефекты в композитных крыльях самолетов и отслеживать появление микротрещин в процессе полета. Информацию о разрушениях материала стало возможным получить за

счет алгоритмов машинного обучения, которые в качестве исходных данных используют напряжения, снимаемые с многоканальных сигналов электродов. Данный подход обеспечивает долговечность обшивок кораблей и компонентов фюзеляжа самолетов, а внедрение нанотрубок улучшает механические свойства композиционного материала [71].

Также можно выделить проект в области 5G и промышленного интернета вещей, реализуемый Bosch Rexroth на заводе в Германии совместно с Qualcomm Technologies. Проект сфокусирован на создании гибкого производства с использованием сетевых технологий для позиционирования автоматизированных управляемых транспортных средств (AGV) и автономных мобильных роботов (AMR), которые могут взаимодействовать между собой, перемещаться по цеху и отбирать качественные единицы продукции за счет применения технологий оптического контроля, сетевых технологий и промышленного интернета [72].

Отдельно следует отметить создание отечественной *промышленной сети интернета вещей* высокого уровня защищенности. Так, в октябре 2024 года стало известно о разработке в России доверенной промышленной сети (ДПС) передачи данных [73]. Проект, реализация которого планируется к 2030 году, направлен на создание отечественной защищенной инфраструктуры для обмена информацией между различными уровнями промышленных систем. Разработкой сети занимаются подразделения Госкорпорации «Росатом». ДПС будет включать отечественные средства промышленной автоматизации, такие как программируемые логические контроллеры (ПЛК), контрольно-измерительные приборы и автоматику, а также системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA).

Таким образом, ключевые эффекты, для достижения которых промышленные и инжиниринговые компании внедряют передовые производственные технологии и развертывают цифровые и интеллектуальные промышленные системы на всех этапах жизненного цикла, включают [74–77]:

- При внедрении *технологий цифрового проектирования и моделирования* – снижение временных и финансовых издержек на **разработку** продукта, увеличение показателей производительности, ускорение и оптимизация процессов проектирования, уменьшение циклов, направленных на внесение изменений, повышение результативности цифровых (виртуальных) испытаний и прохождение «цифровой сертификации» [41,43,44], повышение уровня соответствия требованиям и учет предельных / допустимых значений, повышение точности процессов проектирования и производственных процессов и пр.;
- При внедрении *технологий управления жизненным циклом* – снижение временных и финансовых издержек на **разработку** продукции и сопровождение на этапе **производственных и эксплуатационных процессов**, повышение качества продукции, автоматизация процессов, совершенствование процессов планирования, повышение эффективности совместной работы, уменьшение циклов, направленных на внесение изменений и переработку, оптимизация производственных и логистических цепочек, обеспечение прозрачности процессов и контролируемости, улучшение процессов мониторинга и управляемости, повышение уровня соответствия требованиям и пр.;
- При внедрении *технологий «умного» производства* – снижение временных и финансовых издержек на **производство** продукции и сопровождение на этапе **производственных и эксплуатационных процессов**, повышение качества продукции и точности

производства, оптимизация затрачиваемых ресурсов, увеличение показателей производительности, автоматизация процессов и минимизация простоев, улучшение процессов мониторинга и управляемости, оптимизация производственных и логистических цепочек, обеспечение прозрачности процессов, стабильности, контролируемости, гибкости, безопасности и пр.;

- При внедрении *технологий разработки и производства новых материалов* – повышение качества продукции, оптимизация затрачиваемых ресурсов, улучшение технических характеристик изделий, прочности, термостойкости, снижение веса и количества деталей, обеспечение устойчивости, экологичности и пр.

Интеграция передовых производственных технологий обеспечивает создание единой производственной системы, нацеленной на быстрый выпуск высокотехнологичной конкурентоспособной продукции с минимальными финансовыми затратами. Результатом применения обозначенных выше передовых производственных технологий, составляющих основу технологических сегментов направления «Технет» НТИ, в процессе научно-инженерного анализа и производственного процесса является разработанная и произведенная инновационная продукция. Такая продукция на рынке «Технет» НТИ может быть поделена на две крупные категории:

- *Продукция и/или технологии* направления «Технет» НТИ, то есть компоненты, материалы, изделия и технологические решения, *которые в дальнейшем будут применены для разработки и производства высокотехнологичной продукции*. Так, в эту категорию будут входить промышленные роботы и робототехнические решения, станки с ЧПУ и технологии управления оборудованием, программные продукты для цифрового проектирования и моделирования, управления жизненным циклом и данными, устройства интернета вещей и сенсорики, композиционные материалы, улучшенные сплавы и др. Именно эти решения составляют основу рынка «Технет» и способствуют их дальнейшему применению в промышленности.
- *Продукция и/или технологии, возникшие в результате применения передовых производственных технологий*, как правило, продукция высокотехнологичного уровня, соответствующая отрасли применения и стадии жизненного цикла. В авиастроении, автомобилестроении, производстве различных видов транспорта, двигателестроении, энергомашиностроении и других отраслях машиностроения с применением передовых производственных технологий могут быть спроектированы и далее произведены отдельные компоненты или системы, например, с применением композиционных материалов или по результатам инженерного анализа с применением технологий цифрового проектирования и моделирования; для проведения производственных процессов могут быть применены промышленные робототехнические решения, внедрены устройства промышленного интернета вещей, сенсорики и другие технологии «умного» производства, применены технологии цифрового проектирования и моделирования для оптимизации технологических процессов и др. Тем самым применение технологий направления «Технет» обеспечивает выпуск высокотехнологичной конкурентоспособной продукции различных отраслей промышленности.

Таким образом, «Технет» НТИ характеризуется как кросс-рыночное, кросс-отраслевое направление, охватывающее широкий спектр отраслей промышленности и сфокусированное на

разработке и развитии передовых производственных технологий, способствующих их дальнейшему применению при разработке и производстве инновационной высокотехнологичной продукции. При этом значительные преимущества от применения продуктов и технологий рынка «Технет» возникают при интеграции нескольких технологий, обеспечивающих большее увеличение производительности, качества, а также автоматизацию процессов и высокий уровень технологичности.

Внедрение передовых производственных технологий способствует реализации задач, определенных документами стратегического развития страны в части формирования технологического лидерства, а также эффективной организации деятельности в области инжиниринговых услуг и устойчивому экономическому росту в приоритетных и критически важных отраслях промышленности [43].

ГЛАВА 3. ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ИНОСТРАННЫХ ПОСТАВЩИКОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

В рамках направления «Технет» НТИ проведен анализ зависимости российских компаний от зарубежных технологических решений в разрезе технологических сегментов направления «Технет» НТИ: цифрового проектирования и моделирования, технологий управления жизненным циклом изделий, новых материалов, включая композиционные материалы, и технологий «умного» производства с фокусировкой на промышленном интернете вещей, аддитивных технологиях и промышленной робототехнике.

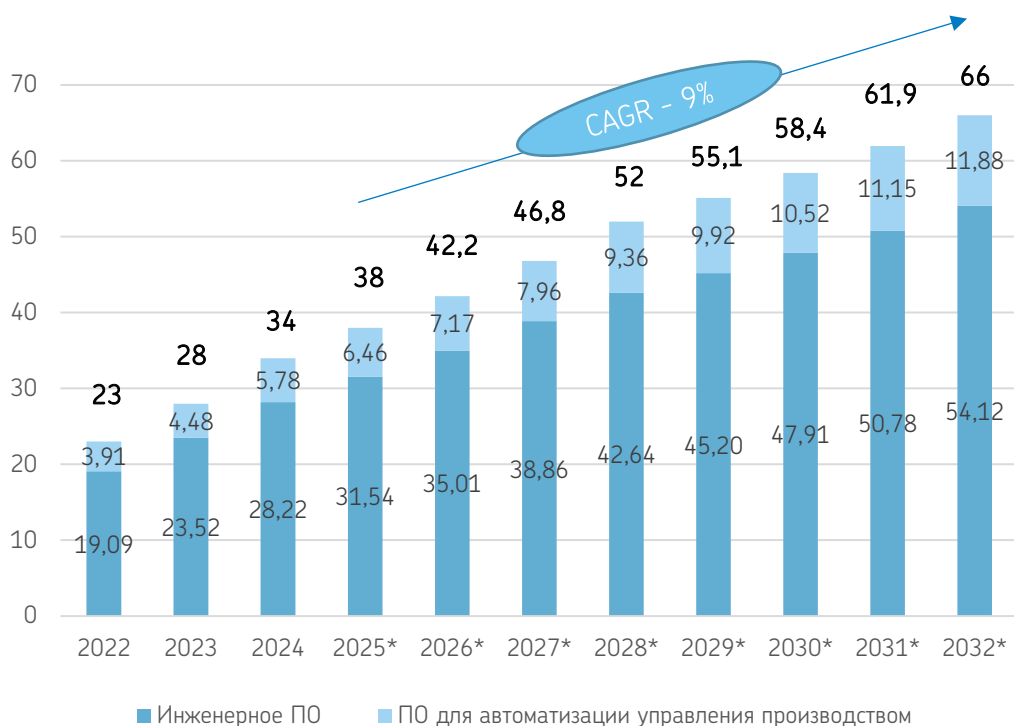
Важно отметить, что в России реализуются программы импортозамещения не только в разрезе технологических сегментов направления «Технет» НТИ, но и в разрезе отраслей промышленности. Так, Министерством промышленности и торговли Российской Федерации определены перечни критической продукции и планы по импортозамещению в таких отраслях как автомобилестроение, гражданское авиастроение, нефтегазовое машиностроение, строительно-дорожное машиностроение, сельскохозяйственное машиностроение, станкоинструментальная промышленность, черная и цветная металлургия, железнодорожное машиностроение, судостроение, тяжелое машиностроение, энергетическое машиностроение и др. [78] В качестве критически важной продукции также приведено аддитивное оборудование, промышленные роботы и некоторые композиционные материалы [79].

Инженерное программное обеспечение (технологии цифрового проектирования и моделирования, технологии управления жизненным циклом)

Российский рынок инженерного программного обеспечения (ПО) претерпевает существенные изменения в условиях усиления международных санкций и ухода крупных зарубежных поставщиков. До введения геополитических ограничений объем рынка в 2021 году составлял, по разным оценкам, от 39 до 65 млрд руб. [80,81] При этом значительная его доля была представлена зарубежными решениями, такими как AutoCAD (разработчик – Autodesk), Solidworks (разработчик – Dassault Systèmes), LS Dyna (разработчик – Ansys), Teamcenter (разработчик – Siemens) и другими. Данные программные решения широко использовались в качестве систем компьютерного проектирования (САПР, CAD, Computer-Aided Design), компьютерного инжиниринга (CAE, Computer-Aided Engineering), разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ (CAM, Computer-Aided Manufacturing), управления жизненным циклом изделий (PLM, Product Lifecycle Management), управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM, Simulation Process and Data Management) [82] и других областях.

Эксперты Группы компаний Б1 оценили объем рынка инженерного программного обеспечения и программного обеспечения для автоматизации управления производством в размере 23 млрд руб. в 2022 году, что в 2–3 раза меньше оценок объема рынка 2021 года [83]. По результатам 2024 года объем рынка оценивается в размере 34 млрд руб., темп роста рынка составил 22%. Специалисты Б1 прогнозируют планомерный рост рынка и увеличение объема рынка до 52 млрд руб. к 2028 году и 66 млрд руб. к 2032 году. Среднегодовой темп роста рынка в период с 2025 по 2032 год составит 9%.

Рисунок 13. Объем и темпы роста рынка инженерного ПО и ПО для автоматизации управления производством, млрд руб.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Б1 [83], 2025

Схожая оценка дана экспертами ПАО «Совкомбанк» – рынок инженерного ПО оценивается в 29 млрд руб. в 2024 году. Прогнозируется рост рынка инженерного ПО до 63 млрд руб. к 2030 году, среднегодовой темп роста рынка составит 14% на период 2024–2030 год.

Проведенный анализ позволяет сформулировать основные барьеры, препятствующие быстрому развитию отечественного рынка инженерного программного обеспечения [80,84–88]:

- уход зарубежных поставщиков, введение санкций и ограничений на приобретение, обновление, техническую поддержку, сопровождение зарубежных продуктов;
- накопление уязвимостей в процессе применения несанкционированного зарубежного ПО;
- нехватка квалифицированных специалистов, владеющих отечественными решениями или имеющих опыт разработки программных систем;
- инфраструктурные и технические сложности, связанные с переходом предприятий на отечественное ПО, интеграцией существующей программной экосистемы предприятия с новыми решениями, переносом данных, наличием уникальных решений, сложно поддающихся замене;
- недостаточный уровень функциональных возможностей отечественных решений в сравнении с зарубежными аналогами, а также неполная совместимость с отечественными операционными системами, системами управления базами данных и используемым на предприятиях оборудованием;
- недостаточный уровень информированности и доверия участников рынка;

- высокие затраты на развертывание отечественной программной экосистемы, долгие сроки окупаемости и др.

Как отмечают эксперты, по состоянию на 2020 год в обрабатывающей промышленности доля используемого зарубежного инженерного ПО в целом составляла 69,6%, доля зарубежных САД-систем оценивалась в 96,8%, доля зарубежных САМ-систем составляла 89,8%, доля затрат на зарубежные САЕ-системы составляла 81,77% [89,90]. Предположительно данные показатели сохранялись по 2022 год, к концу 2025 года доля используемого отечественного программного обеспечения в промышленности возросла до 50% [91,92], в государственном секторе и государственных корпорациях – до 75% [93].

Среди внедренных отечественных технологий эксперты выделяют продукты ООО «Нанософт разработка», АО «Аскон», «Топ Системы», ООО «ТЕСИС», ООО «Фидесис», ООО «КАДФло», «ЛОГОС» и ряд других решений.

Основные тенденции импортозамещения инженерного программного обеспечения тесно связаны с существующими барьерами развития рынка, поскольку имеющиеся ограничения служат катализатором формирования отечественной базы программных решений. К основным тенденциям на отечественном рынке инженерного программного обеспечения можно отнести [83,84,94]:

- рост спроса на отечественные разработки в связи с необходимостью поиска альтернативных вариантов и внедрения доступных продуктов, а также рост спроса на заказную разработку программных продуктов;
- увеличение обратной связи от пользователей инженерного ПО, что способствует доработке функциональных возможностей программных продуктов, повышению конкурентоспособности и независимости решений;
- масштабная государственная поддержка и реализация стратегических программ развития рынка, популяризация инструментов «маркировки» программных продуктов в качестве отечественной разработки (в частности, путем включения в реестр отечественного ПО и предоставления дополнительных льгот за разработку / внедрение такого рода продуктов);
- формирование комплексных экосистем программных продуктов путем объединения функциональных возможностей различных классов ПО для расширения спектра решаемых задач и увеличения универсальности предлагаемой продукции;
- расширение применимости и модернизация систем в условиях интеграции с интеллектуальными инструментами и создания предметно-ориентированных ИИ-решений;

Кроме того, импортозамещение протекает также в области разработки процессоров, на основе которых развертывают инженерные программно-аппаратные комплексы [95].

Следует отметить, что эксперты в ближайшем будущем ожидают укрепление позиций отечественных разработок в связи с консолидацией рынка, а также возможности экспорта российских программных продуктов в дружественные страны [84].

С целью достижения технологического суверенитета и технологического лидерства страны Правительство Российской Федерации начало активнее поддерживать проекты по разработке и развитию отечественного программного обеспечения.

В рамках стратегии импортонезависимости Министерство промышленности и торговли Российской Федерации нацелилось на полное импортозамещение зарубежных программных решений в горнодобывающей, металлургической, ракетно-космической, оборонной, химической отраслях и атомной энергетике [80].

В декабре 2022 года Комиссия Правительства Российской Федерации по цифровому развитию утвердила «дорожную карту» по направлению «Новое индустриальное программное обеспечение» (НИПО), которая выступает логичным продолжением развития высокотехнологичного направления «Новые производственные технологии» (работа по подготовке и обновлению дорожных карт развития высокотехнологичных направлений велась в 2022 году по поручению Президента Российской Федерации) [82,96–98]. Обновление дорожных карт высокотехнологичных направлений также проводилось в рамках деятельности созданных летом 2022 года 32 индустриальных центров компетенций (ИЦК) и 12 центров компетенций по развитию российского общесистемного и прикладного программного обеспечения (ЦКР), необходимого для замещения используемых в настоящее время зарубежных программных продуктов и решений.

Дорожная карта НИПО направлена на координацию, поддержку и регулирование проектов по созданию и внедрению инженерного программного обеспечения, разрабатываемого отечественными компаниями, стимулирующих процессы импортозамещения и формирующих технологическую независимость государства. Реализация дорожной карты координируется Госкорпорацией «Росатом» совместно с Госкорпорацией «Ростех» [99]. Часть проектов рассчитана на период до 2025 года, некоторые проекты – до 2027 года [96]. Глобальной целью реализации дорожной карты «Новое индустриальное программное обеспечение» выступает достижение индекса технологической независимости 82% – это означает, что к 2030 году более 80% ИТ-потребностей предприятий будут закрыты индустриальным программным обеспечением, разрабатываемым отечественными компаниями.

В марте 2024 года Минпромторг предложил создать специальный совет для разработки индустриального программного обеспечения, который будет содействовать переходу предприятий на открытые архитектуры и отечественные платформы [80]. В особенности была отмечена потребность в программах для планирования ресурсов предприятий (ERP, Enterprise Resource Planning), управления производственными процессами (MES, Manufacturing Execution System), управления активами предприятий (EAM, Enterprise Asset Management), управления складами (WMS, Warehouse Management System) и инженерного анализа (CAE) [80].

В 2023 году было выделено более 230 млрд руб. на развитие 200 приоритетных проектов в области промышленного ПО, ключевой задачей которых стала разработка решений для поддержания полного жизненного цикла изделий с целью развития промышленного производства [80]. Ведущие промышленные компании также начали разработку программных продуктов в сфере проектирования объектов высокого уровня сложности, включая продукцию таких отраслей, как авиастроение и атомная энергетика [80].

В 2025 году выделили 3,2 млрд руб. на поддержку проектов по импортозамещению инженерного ПО в рамках индустриальных центров компетенций (ИЦК) [100]. До 2027 года планируется выделить суммарно 33 млрд руб. Кроме того, в 2026 году запланировано возобновление мер поддержки компаниям, переходящим на использование отечественного ПО, в частности PLM-систем [101].

Кроме того, для ускорения перехода на отечественные решения для госкорпораций и компаний с госучастием компании, обладающие объектами критической информационной инфраструктуры, в ближайшее время обяжут перейти на отечественное ПО в срок до 1 января 2028 года (в некоторых случаях – до 1 декабря 2030 года), как указано в проектах постановлений Правительства РФ [102,103]. На конец 2025 года, согласно оценкам Ассоциации Разработчиков Программных Продуктов «Отечественный софт», на отечественные решения перешло около 40% компаний [104]. В связи с этим ожидается введение оборотных штрафов, если компании своевременно не обеспечили переход значимых объектов критической информационной инфраструктуры на отечественные решения.

Технологические тенденции, включающие активное внедрение решений на базе искусственного интеллекта (ИИ), также будут оказывать влияние на развитие российского ПО [105]. Автоматизация процессов станет важным фактором роста в условиях кадрового дефицита и необходимости повышения производительности труда. Внедрение ИИ на данный момент осуществляется в CAD-, CAE-, PLM- и ERP-системы [106].

Таким образом, несмотря на положительные изменения в сторону роста, российский рынок инженерного программного обеспечения остается в стадии восстановления, так как сохраняются барьеры, включающие доминирование иностранных решений (около 50% отечественных компаний продолжает использовать зарубежные инженерные программные решения в 2025 году), отсутствие необходимых функциональных возможностей российских продуктов и высокую инертность перехода. Однако активные меры со стороны государства в части финансовой поддержки разработчиков и эксплуатантов, а также принятия нормативных документов формируют основу для перехода на независимую модель цифровой трансформации промышленных компаний.

В долгосрочной перспективе российский рынок инженерного ПО обладает значительным потенциалом для роста. К 2030 году, при условии успешной реализации текущих государственных инициатив и мер поддержки, можно ожидать снижения зависимости от иностранных разработчиков решений цифрового проектирования и моделирования, управления жизненным циклом, и укрепления позиций отечественных разработчиков на рынке.

Новые материалы, включая композиционные материалы

Новые материалы рассматриваются как одно из ключевых направлений, обеспечивающих инновационное и технологическое развитие промышленности. В России принят Указ Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 года № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» [107], в рамках которого выделены технологии создания новых материалов с заданными свойствами и эксплуатационными характеристиками.

Также в 2023 году принята комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства» (распоряжение Правительства Российской Федерации от 4 июля 2023 г. №1789-р), реализация которой запланирована до 2027 года [108]. Кроме того, с 2024 года реализуется национальный проект «Новые материалы и химия», в рамках которого ожидается достижение уровня 100% технологической независимости по новым материалам и химии [109–112]. К 2030 году общий объем финансирования национального проекта может составить 2 трлн руб. с учетом внебюджетных источников [113].

В соответствии с оценкой объема рынка новых материалов, представленной в экспертно-аналитическом докладе «Перспективы и сценарии развития новых материалов в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году» [57], передовые композиционные материалы (advanced composites) занимают долю свыше 55% на мировом рынке новых материалов. При этом композиционные материалы обозначены в перечне критически важной продукции для импортозамещения, в связи с чем анализ зависимости от иностранных поставщиков в разрезе новых материалов сфокусирован в том числе на отрасли *композиционных материалов*. Так, в соответствии с планом мероприятий по импортозамещению в промышленности композиционных материалов и изделий из них указано более 25 наименований продукции, в том числе ткани из стекловолокна, различные виды нитей, смолы, стеклопластики, углепластиковые панели и др. [114]

Рынок новых материалов в целом и отечественный рынок композиционных материалов в частности являются импортозависимыми как в части оборудования, так и в части сырья, применяемого для производства материалов [115,116]. Согласно оценке Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, около трети предприятий химической промышленности являются в значительной степени импортозависимыми в части материально-технических ресурсов [117]. Отечественные игроки рынка композиционных материалов сталкиваются с рядом существенных проблем и барьеров, препятствующих комплексному и быстрому развитию рынка [117,118]:

- ограничения в поставках зарубежного сырья, оборудования и технологий;
- сложности экспорта отечественной продукции;
- недостаточный уровень качества материалов, высокий уровень нестабильности свойств и недостаточное соответствие требуемым физико-механическим характеристикам;
- недостаточный уровень масштабности и подготовленности решений к промышленному (коммерческому) применению;
- высокая стоимость приобретения и внедрения в производство отечественных материалов;
- функциональные ограничения имеющегося отечественного оборудования, в том числе роботизированных решений для обеспечения качества материалов;
- функциональные ограничения инженерного ПО для анализа свойств материалов и проектирования изделий из них;
- недостаточность средств для финансирования НИОКР и инновационных разработок;
- нехватка высококвалифицированных кадров;
- отсутствие условий для эффективной сертификации новой композитной продукции, в том числе по причине высокой стоимости;

- недостаточная проработанность нормативно-правовой базы для производства и проведения испытаний как материалов, так и продукции, и др.

Имеющиеся ограничения на рынке вынуждают предприятия обращаться к таким материалам, которые с высокой долей вероятности будут доступны в ближайшие несколько десятков лет, однако при этом являются импортными и имеют недостаточный уровень технологичности [119]. Как отмечают эксперты, доступные зарубежные решения из стран Азии и Ближнего Востока, в том числе оборудование и инструменты, зачастую не соответствуют требованиям заказчиков, а также усиливают импортозависимость. В связи с этим формируется потребность в налаживании (создании, восстановлении) химических производственных и технологических цепочек, в том числе специализированных материалов [113,120,121]. Особая потребность в государственной поддержке приходится на направления с низким уровнем спроса и невысокой долей окупаемости проектов, в частности, специальную химию и создание катализаторов [113].

В области композиционных материалов отечественными игроками уже реализован ряд перспективных проектов, направленных на импортозамещение. В частности, начиная с 2022 года Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ, входит в состав НИЦ «Курчатовский институт») разработал более 40 новых композиционных материалов, применяемых в авиационной промышленности [122]. При этом эксперты института отмечают, что в стране отсутствует более 170 видов исходных компонентов, необходимых для производства полимерных композиционных материалов.

ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (ПАО «ОАК», входит в ГК «Ростех»), в свою очередь, полностью импортозаместила композиционные материалы, используемые для самолета МС-21-310 [123]. Аналогично АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» (АО «Решетнев», входит в ГК «Роскосмос») внедрила разработанный полимерный композиционный материал в производство рефлекторов антенн спутника связи «Экспресс-АМУ4», обладающий меньшим влагопоглощением [124].

Важно отметить, что СИБУР в 2021 году провел сделку по поглощению крупного предприятия ТАИФ [125]. Как отмечают эксперты, это позволило занять долю на рынке химической продукции, равную 30% рынка [113]. В 2024 году компания запустила пилотную установку по производству суперконструкционных пластиков [126]. В 2025 году СИБУР подписал соглашение с АО «РЖД», в соответствии с которым планируется внедрение композиционных материалов в железнодорожную промышленность [127]. Также в 2025 году Центр исследований и разработок «СИБУР ПолиЛаб» при участии «Казаньоргсинтез» (КОС, входит в СИБУР Холдинг) разработали новую марку полиэтилена низкой плотности, используемого для литья полимеров, для импортозамещения аналогов [128]. Таким образом, деятельность крупнейшего химического концерна напрямую направлена на импортозамещение в области новых материалов и обеспечение инновационного развития критически важных отраслей [129].

В 2025 году «Росатом» также заявил о создании серийного производства термопластичных композитов, что закрывает потребность авиационной, космической промышленности и нефтегазовой отрасли в данных материалах [130].

Эксперты полагают, что в ближайшие десятилетия полимерные композиционные материалы станут одной из основ технологического уклада в России. Из-за отраслевой структуры спроса, в которой наибольшую долю занимают аэрокосмическая, оборонная, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающие отрасли промышленности и медицина, импортозамещение сырья и конечной продукции будет развиваться ускоренными темпами, что позволяет надеяться на дальнейший рост рынка в среднесрочной перспективе.

Не менее важно отметить рост рынка *полимеров* в России. Как отмечает эксперт СИБУР, в 2024 году наблюдалось снижение импорта полимеров, однако отсутствие доступа к некоторому сырью, перестройка производства под новую химию и катализаторы сдерживают развитие рынка полимеров. При этом важно, что на рынке не только появляются производства новых марок полимеров, но и активно распространяется модель подбора рецептуры с учетом фокусировки на задачах отрасли применения и конечного потребителя [131].

Потенциальный рост объемов потребления полимеров в стране оценивается в размере 1,6 млн тонн в ближайшие годы, в том числе за счет замещения традиционных материалов новыми полимерами. В частности, среди высокотехнологичных отраслей промышленности ожидается рост потребления полимерных материалов в отечественном автопроизводстве – в 2023 году зафиксировано увеличение потребления отечественных полимеров на 69% в отрасли, к 2025 году рост планировался на уровне 10–30%.

В настоящий момент локализация производства автокомпонентов достигнута частично, одной из причин этого выступает недостаточное стимулирование спроса на мелкоузловую сборку из отечественных компонентов у автопроизводителей [132]. При условии локализации производства автозапчастей ожидается увеличение доли применения отечественных материалов до 80–85% в ближайшие два года [131,132].

При этом эксперты отмечают, что в сегменте базовых полимеров наблюдается высокая доля импортонезависимости отечественных решений [129]. Наличие широкого спектра отраслей применения полимеров, в том числе суперконструкционных пластиков [133], а также ряда технических свойств полимеров, обеспечивающих преимущества использования полимеров, формируют широкий потенциал для импортозамещения. Кроме того, существующие тенденции обеспечения экологичности и устойчивости применяемых материалов открывают новые направления развития отечественного рынка перерабатываемых полимеров и, соответственно, рынка полимерных композиционных материалов.

Кроме того, важно отметить формирование отрасли отечественного *программного обеспечения для разработки материалов*, в том числе композиционных материалов. В рамках особо значимого проекта по импортозамещению программных продуктов реализуется упомянутая ранее разработка системы проектирования и подготовки производства изделий из композиционных материалов «КОМПАС-Композиты» на основе отечественного геометрического ядра [134].

Таким образом, рынок новых материалов в некоторой степени адаптируется к новым условиям, развиваются новые направления и формируются импортозамещающие решения. Нарращивание компетенций в импортозависимых направлениях рынка новых материалов, формирование собственной технологической базы и внедрение инноваций выступает долгосрочной стратегией развития рынка, что поддерживается государственными инициативами и мерами поддержки.

Для усиления трансформации отрасли новых материалов необходима не только модернизация существующей материально-технической базы, но и реализация программ государственно-частного партнерства при реализации стратегических проектов, а также расширение экспортного потенциала отечественных решений в новые регионы [135].

Технологии «умного» производства: промышленный интернет вещей

Промышленный интернет вещей (IIoT, Industrial Internet of Things) является важной частью цифровизации производств и значительно влияет на различные отрасли экономики.

Внедрение IIoT позволяет перейти к полностью автоматизированным системам, объединяющим данные и процессы в реальном времени, что особенно важно в условиях глобальных вызовов и требований к эффективности [136].

В рамках исследования, проведенного экспертами проекта STAQ, были выявлены показатели роста эффективности ряда бизнес-процессов российских компаний в различных отраслях благодаря использованию IoT-технологий. Так, в III квартале 2025 года в производственной сфере количество незапланированных простоев снизилось на 22%, а затраты на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) оборудования упали на 18% по сравнению с III кварталом 2024 г. [137]

Вместе с тем отмечается постепенный рост числа промышленных предприятий, внедряющих технологии промышленного интернета вещей (и иностранных, и отечественных). По состоянию на конец 2024 года насчитывалось 5 649 промышленных предприятий, к концу 2025 года прогнозируется увеличение до 5 762 предприятий [138].

Отечественные организации, внедряющие решения промышленного интернета вещей, сталкиваются с вызовами, которые обусловлены как внутренними, так и внешними факторами. Одной из ключевых проблем, с которой сталкивается российский рынок IIoT, стал дефицит оборудования, контроллеров и программного обеспечения для управления данными и промышленной автоматизации, что создает необходимость в разработке отечественных аналогов программных систем, включая системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition) и системы управления производственными процессами (MES, Manufacturing Execution System) [73]. Также экспертами подчеркивается необходимость развития технологий информационной безопасности, так как в первые 9 месяцев 2025 года в промышленной отрасли количество кибератак выросло более чем в 4 раза в сравнении с аналогичными предыдущими периодами [139].

Еще одним из факторов, затрудняющих развитие IIoT в России, является работа систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ), которые глушат радиосигналы, что создает значительные препятствия для передачи данных с беспроводных датчиков. Многие промышленные предприятия, например, металлургические и нефтяные заводы, отказываются от использования беспроводных технологий в пользу только проводных соединений. Это в свою очередь приводит к необходимости прокладки кабелей на больших территориях, что значительно увеличивает затраты и время на внедрение.

Учитывая угрозы, вызванные РЭБ, компании вынуждены разрабатывать новые технологии и стратегии для обеспечения надежности передачи данных, используя альтернативные

протоколы связи, увеличение плотности сети за счет большего количества приемников, а также продвинутые алгоритмы для обработки и фильтрации данных.

Также росту рынка промышленного интернета вещей препятствует отставание российской микроэлектроники, как по объему, так и качеству компонентов по сравнению с иностранными аналогами. Российские компании зачастую предпочитают использовать иностранные компоненты (преимущественно из Китая) из-за доказанной надежности и более низкой стоимости.

Еще одним фактором, сдерживающим внедрение промышленного интернета вещей, является некорректное использование искусственного интеллекта для анализа данных, получаемых с IoT-устройств. Это, в свою очередь, связано с дефицитом квалифицированного персонала (разработчиков решений), нехваткой качественных данных для анализа, недоверием к новым технологиям и сложностью интеграции искусственного интеллекта в существующие системы [140].

Также среди барьеров, препятствующих развитию цифровизации промышленности в целом и промышленному интернету вещей в частности, отмечают отсутствие единых стандартов внедрения, дефицит корпоративных бюджетов, а также ориентацию руководств предприятий на проекты с окупаемостью до двух лет [138]. По данным на сентябрь 2024 года, ИТ-инфраструктура промышленных предприятий, включая решения для промышленного интернета вещей, только на 31% состоит из российских решений. Многие крупные компании продолжают использовать решения иностранных поставщиков и не спешат переходить на отечественные из-за проблем с совместимостью, высокой стоимости [141] и причин, указанных выше.

Вместе с тем, российские промышленные компании выделяют ряд отечественных технологий промышленного интернета вещей, готовые к внедрению⁷:

- устройства для сбора высокочастотной телеметрии;
- системы автоматизации управления приборами (системы самостоятельного управления параметрами для стабилизации операционных процессов без вмешательства операторов);
- edge-аналитика и триггерные оповещения (edge-узлы в реальном времени анализируют поток показателей и оповещают операторов об отклонениях).

Также в рамках опроса промышленные компании отметили решения, находящиеся на низком уровне развития и требующие глубокой проработки:

- работа в 5G-сетях с целью передачи информации с датчиков с задержкой менее 1 мс и интеграции в единую сеть большого количества устройств;
- автоматическая сертификация продукции за счет фиксации параметров продукции в режиме онлайн и формирования цифровых сертификатов качества и соответствия стандартам (исключая ручной ввод данных);
- решения автоматического отслеживания состояния узлов оборудования и заказа деталей и материалов без участия человека с предсказанием точного момента наступления критического износа [138].

⁷ На основе опроса крупных промышленных компаний, проведенного в рамках исследования Strategy Partners и группы компаний «Цифра».

Таким образом, несмотря на постепенный рост российского рынка IIoT, все еще наблюдается высокая зависимость от иностранных поставщиков и технологий в данном сегменте. Уход зарубежных поставщиков создал критическую потребность в импортозамещении. В долгосрочной перспективе снизить данную зависимость может развитие собственных платформ, технологий и инфраструктуры при поддержке государства.

Технологии «умного» производства: аддитивное производство

Зависимость рынка аддитивного производства от иностранных поставщиков претерпела значительные изменения в последние годы из-за введенных санкций и геополитической ситуации, что послужило мощным драйвером и стимулом развития рынка [142]. Отечественные игроки рынка аддитивного производства демонстрируют устойчивый рост и сокращают отставание от зарубежных производителей большими темпами, несмотря на экономические вызовы и импортозависимость [143,144].

Безусловно, на рынке существуют барьеры, препятствующие быстрому развитию отечественного рынка аддитивного производства и снижению импортозависимости, которые включают [143–148]:

- нехватка высококвалифицированных кадров, сочетающих компетенции в области проектирования, технологии изготовления, материаловедения, программирования;
- высокие требования к техническим параметрам изделий, изготовленных с применением аддитивных технологий, при этом текущие разработки имеют недостаточный уровень качества и надежности;
- недостаточная проработка нормативно-правового ландшафта в данной отрасли, включая стандарты в области качества;
- высокие первоначальные инвестиции на приобретение оборудования, высокая стоимость материалов, высокий порог входа в связи с необходимостью перестраивания процессов;
- неочевидная экономическая выгода от применения аддитивного оборудования;
- ограничения как на экспорт, так и импорт технологий, невозможность эксплуатации зарубежных решений, в том числе по причине прекращения доступа к программному обеспечению для управления оборудованием и отсутствия запчастей для ремонта и технического обслуживания оборудования и другое.

На развитие рынка влияет также весомое увеличение спроса на аддитивное производство со стороны промышленности. Так, значительную роль в развитии рынка играют отрасли потребления – авиастроение, двигателестроение, космическая промышленность и ОПК, на их долю пришлось более 45% отечественного рынка аддитивного производства [144–146,149]. Также аддитивные технологии широко применяются в энергетике и нефтегазовой отрасли, в первую очередь для ремонта и восстановления различных деталей оборудования, в том числе компонентов зарубежного производства.

Кроме того, аддитивные технологии позволяют ускорить создание новых агрегатов и установок, импортозаместить сложные системы и конструкции уникальной формы.

Как отмечают эксперты, уход с отечественного рынка ключевых поставщиков аддитивного оборудования способствовал активному созданию собственного высокотехнологичного оборудования [146,147]. Кроме того, удалось частично решить задачу по импортозамещению таких элементов конструкции, как лазеры и печатающие головки, что в предыдущие годы являлось узким местом и довольно дорогостоящим компонентом, который производило лишь несколько стран в мире [150].

Российский рынок обеспечивается локальным производством и импортными поставками из дружественных стран, таких как Китай, Индия, Турция и др. [144] Экспорт отечественной продукции осуществляется в страны Африки, Китай, Индию, Иран, Египет и другие регионы. В ближайшие 2–3 года ожидается экспорт в объеме 10% отечественного рынка аддитивных технологий. При этом эксперты отмечают, что Китай в области аддитивных технологий имеет существенный задел и производственные мощности для массового производства оборудования, а также низкие цены, в связи с чем отечественным производителям приходится фокусироваться на обеспечении уникальности собственных решений для поддержания конкурентоспособности локального производства [147,149]. В то же время Россия входит в топ-10 стран-лидеров в области аддитивного производства с долей 2,2% мирового рынка [149].

Ведется активная работа и в части импортозамещения элементов микроэлектроники для аддитивных установок, материалов для аддитивного производства, в первую очередь металлопорошковых композиций, полимерных материалов и других материалов, в том числе адаптированных под требования отраслей применения. Эксперты оценивают, что около 70% отечественных компаний закупают металлопорошки у западных производителей [144]. Также наблюдается высокая доля импортозависимости в части программного обеспечения для аддитивного производства. В свою очередь, высокая локализация производства отмечается в сегменте оборудования для аддитивного производства – 65% рынка занимают отечественные производители. Общая доля российских производителей на рынке аддитивного производства оценивалась в 60% в 2024 году [149].

Развитию аддитивных технологий также способствует формирование Центров аддитивных технологий (ЦАТ) в различных регионах. Центры осуществляют изготовление небольших партий компонентов и конструкционных узлов с применением аддитивных технологий по заказу промышленных компаний и предоставляют некоторые другие услуги. Объем услуг, оказанных Центрами аддитивных технологий, увеличился на 81% в 2024 году в сравнении с 2023 годом [149].

Значимый вклад также вносит государственная поддержка, в том числе механизм поддержки экспорта, субсидирование, таможенно-тарифная защита, а также совместные усилия государственных структур и частных компаний, направленные на локализацию производства, развитие научной базы и внедрение технологий в отрасли промышленности [143,151]. Ведется работа в части формирования системы сертификации как изделий, изготовленных аддитивным методом, так и базовой технологии изготовления [146].

Таким образом, рынок аддитивных технологий в значительной степени обеспечен отечественными разработками и имеет существенные достижения в данном сегменте, а также потенциал роста [152].

Дальнейшее импортозамещение, масштабирование аддитивных технологий, интеграция технологий в производственные процессы требуют развития кооперации между университетами и предприятиями, государственной поддержки ускорения локализации и разработки собственных технологий [153].

Технологии «умного» производства: промышленная робототехника

Робототехника представляет собой важное направление, способствующее повышению эффективности и модернизации промышленных процессов. Тем не менее, на данный момент Россия занимает низкие позиции в рейтинге применения промышленных роботов по странам.

По состоянию на 2024 год плотность промышленных роботов в России составляет 29 роботов на 10 тысяч сотрудников. Прогнозируется, что к 2030 году данный показатель достигнет 145 единиц [154], при этом для госкорпораций и компаний с госучастием цель составляет увеличить плотность до 230 роботов на 10 тысяч человек к тому же сроку [155]. К концу 2025 года в России прогнозируется выпуск 700 промышленных роботов с подтвержденным статусом российской продукции, а суммарный выпуск всех промышленных роботов может составить порядка 1 тысячи единиц [156].

Причинами низкой роботизации в России являются дефицит собственных технологий и слабое развитие российской электронной базы, недостаточная эффективность государственной поддержки, в том числе малых инновационных компаний, высокая стоимость роботов зарубежного производства, относительно низкая заработная плата специалистов рабочих профессий в сравнении с приобретением и развертыванием промышленных роботизированных комплексов, а также сильная зависимость от поставок иностранных технологий, комплектующих и готовых решений [157].

По данным открытых источников, после введения санкционных ограничений основным поставщиком промышленной робототехники стал Китай, занимающий более 65% российского рынка промышленной робототехники. Но, как отмечают эксперты, китайские решения не всегда соответствуют требованиям российских компаний в части надежности, точности и совместимости, и, несмотря на стоимость, их внедрение в тяжелом машиностроении или на производственных линиях, где нужна высокая точность, часто приводит к сбоям [158]. Кроме того, существуют сложности с техническим обслуживанием зарубежного оборудования [159].

Помимо указанных выше причин, эксперты отмечают, что эффективное развитие роботизации возможно в случае, если будет выпускаться стандартизированная продукция десятками миллионов экземпляров, а отечественная промышленность, как правило, производит уникальные изделия или малые партии. Роботов сложно перенастраивать для выполнения новых задач. В свою очередь, необходимы специалисты в области программирования, настройки и обслуживания роботизированных систем, которые в настоящее время в дефиците. Кроме того, отмечается, что отечественные предприятия не мотивированы к повышению производительности труда, так как внедрение роботов предполагает перестройку производственной линии, для чего нужны значительные инвестиции, а для предприятий не всегда очевидны экономические выгоды автоматизации: в условиях высокой неопределенности расходы на роботизацию кажутся рискованными [158].

С целью повышения уровня роботизации промышленности в 2025 году принят национальный проект «Средства производства и автоматизации» и входящий в него федеральный проект «Развитие промышленной робототехники и автоматизации производства» [160]. Общий объем государственного финансирования мер поддержки, направленных на повышение уровня роботизации промышленности, на период 2026–2028 гг. запланирован в размере около 43 млрд руб. [155]

В рамках этого проекта предусмотрены меры поддержки, такие как льготное кредитование и лизинг роботов, компенсация скидок производителям и интеграторам, субсидии на техническое перевооружение, проведение аудитов, создание центров испытаний и сертификации, а также центров развития промышленной робототехники. Помимо этого, планируется сформировать рабочую группу для разработки комплексной программы развития робототехники, включая формирование компонентной базы и списка необходимых исследований, внедрить единые стандарты жизненного цикла российских роботов и унифицировать базу комплектующих, разработать единую концепцию подготовки специалистов в области робототехники для обеспечения отрасли квалифицированными кадрами. Также разрабатываются меры поддержки для повышения спроса на отечественные робототехнические разработки [161].

Вместе с тем, в октябре 2025 года Министр промышленности и торговли Российской Федерации А. А. Алиханов сообщил о намерении поддерживать внедрение роботов в промышленность независимо от страны происхождения такой техники и отменил обязательную локализацию промышленных роботов до 2030 года. Таким образом, компенсацию смогут получить компании, внедряющие иностранных роботов. При этом основное внимание Минпромторга России будет сфокусировано на оценке реального роста производительности после внедрения роботов [162].

Среди реализованных в 2025 году мер поддержки стоит упомянуть грантовый конкурс на создание новых центров развития промышленной робототехники, на обеспечение деятельности которых направлено более 1,3 млрд руб. (1,1 млрд руб. в рамках первого конкурса, 208,3 млн руб. – в рамках второго). В рамках первого конкурса гранты от Минпромторга России получили Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Южно-Уральский государственный университет, а также Санкт-Петербургская производственно-инжиниринговая компания «Семаргл», в рамках второго конкурса – компания Тесвел, компания VPG LaserONE и Томский государственный университет [163]. Финансовая поддержка направлена на разработку технологических решений в промышленной робототехнике, внедрение роботизированных комплексов на предприятиях и подготовку специалистов [164].

На данный момент в России насчитывается 172 компании, работающие в сфере робототехники. Из них 20 занимаются производством роботов, 152 компании являются интеграторами промышленных роботов. При этом только 2 компании выпускают свыше 200 роботов в год, остальные компании производят 25–100 роботов, что связано с недостаточным спросом со стороны потенциальных потребителей. При этом производители промышленных роботов готовы нарастить выпуск до 1,5–3 тысяч единиц в год [154].

Таким образом, отечественный рынок промышленной робототехники находится в стадии развития, но при этом продолжает испытывать значительную зависимость от иностранных поставщиков, что является сдерживающим фактором. Необходимыми условиями для обеспечения технологической независимости России являются комплексное развитие локального производства, особенно компонентов для роботов, а также поддержка отечественных компаний со стороны государства и снижение импорта.

Согласно результатам проведенного анализа, в России наблюдается высокая импортозависимость практически по всем технологическим сегментам, составляющим основу направления «Технет» НТИ. Наиболее критический уровень импортозависимости наблюдается для технологий и продуктов цифрового проектирования и моделирования, управления жизненным циклом, а также робототехнических систем, однако правительством и госкорпорациями предпринимаются усиленные меры, направленные на разработку, развитие и внедрение отечественных программных систем и промышленных роботов.

На рынке новых материалов и рынке промышленного интернета вещей наблюдается умеренный уровень импортозависимости, ведутся работы по импортозамещению зарубежных технологий. Наименьший уровень импортозависимости наблюдается для продуктов аддитивных технологий, при этом предприятиями используется высокая доля зарубежного оборудования для аддитивного производства.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует об имеющемся значительном заделе в области импортозамещения передовых производственных технологий и формирования скоординированной научно-производственной кооперации для развития специализированных решений, что является стратегически важным многогранным процессом как для развития направления «Технет» НТИ, так и для обеспечения национальной безопасности и достижения технологического лидерства.

ГЛАВА 4. БЕНЧМАРКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СЕГМЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

Для анализа рынка технологий направления «Технет» НТИ важно использовать бенчмарки показателей. Они позволяют провести сравнительный анализ показателей рынка, отдельных сегментов и компаний внутри этих сегментов, что является основой для оценки конкурентоспособности игроков рынка, текущего состояния развития технологий и выявления перспективных направлений и трендов на рынке.

Для оценки текущего состояния и перспектив развития рынка технологий направления «Технет» НТИ выделены четыре ключевые группы бенчмарков показателей: технические характеристики, финансово-рыночные показатели, показатели внедрения и использования технологий, показатели инновационной зрелости. Эти группы позволяют оценить основные аспекты разработки, распространения и применения технологий в промышленности. Важно отметить, что в зависимости от объекта анализа (продукт/решение или технология, малая технологическая компания, крупное промышленное предприятие или ИТ-компания, НИИ, рынок в целом) перечень показателей, граничные значения показателей, целевые значения, приоритетные показатели, а также источники данных для каждого технологического сегмента и объекта анализа могут отличаться.

Таблица 6. Типы бенчмарков показателей технологических сегментов направления «Технет» НТИ

Технологические сегменты направления «Технет»	Технологические характеристики	Финансово-рыночные показатели	Показатели внедрения и использования технологий	Инновационная зрелость
Цифровое проектирование и моделирование	✓	✓	✓	✓
Технологии управления жизненным циклом	✓	✓	✓	✓
Новые материалы	✓	✓	✓	✓
Технологии «умного» производства	✓	✓	✓	✓

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ, 2025

Технические характеристики представляют собой набор показателей, которые описывают функциональные возможности технологий или продуктов/решений. Благодаря этим характеристикам можно оценить уровень производительности, эффективности и потенциал для масштабирования технологий или продуктов/решений и их внедрения в промышленность.

Эта группа показателей позволяет провести количественное и качественное сравнение технологий или продуктов/решений по важным параметрам, таким как производительность, точность, скорость обработки, уровень автоматизации и др. Эти характеристики являются существенными для оценки конкурентоспособности сегментов рынка, технологий, продуктов/решений. Важно отметить, что данная группа показателей не позволяет оценить рынок в целом – в качестве объекта могут выступать технологии или продукты/решения, при этом в некоторых случаях возможно провести анализ инфраструктуры или компании по отдельным показателям (например, в случае с технологиями цифрового проектирования и моделирования или промышленным интернетом вещей).

Для оценки технологий или продуктов/решений в сегменте *цифрового проектирования и моделирования* могут быть использованы следующие бенчмарки показателей:

- *Точность результатов расчета.* Ключевым количественным показателем для оценки «успешности» технологий или продуктов/решений является их точность. Показатель необходимой точности зависит от задачи, которую система (инженерное программное обеспечение) выполняет. Например, для CAD- и CAM-систем может быть использован показатель точности сканирования, то есть соответствие размеров сканируемого объекта и цифровой модели [165]. Также точность оценивают наряду с оценкой корректности и адекватности результатов анализа. Это связано с процессами верификации, валидации и оценки неопределенности (Verification, Validation and Uncertainty Quantification, VVUQ), в рамках которых оценивается корректность решения [166]. Благодаря метрике точности можно оценить, какая из сравниваемых систем выполняет задачу ближе к ожидаемому результату, насколько точны расчеты относительно результатов натуральных испытаний, имеется ли погрешность и т.д.;
- *Скорость.* Скорость является ещё одним количественным показателем, по которому можно сравнивать конкурирующие программные системы. В качестве показателя скорости может быть использовано время выполнения задачи в целом (в секундах, минутах и т.д.) [166] или время, необходимое на тестирование или обработку моделей;
- *Количество элементов.* Программные системы можно сравнить по количеству элементов в модели [166], например, количество поддерживаемых граней в 3D-модели. Данный показатель определяется поддержкой мультифизических расчетов и наличием программных модулей или подсистем, позволяющих проводить расчеты в разрезе нескольких исследуемых научных областей;
- *Возможности интеграции.* В рамках данной метрики важно проводить оценку того, насколько анализируемый продукт совместим с другими программными системами для бесшовной передачи данных, насколько широко поддерживаются различные форматы данных, имеются ли возможности подключения к высокопроизводительной вычислительной или облачной инфраструктуре, совместима ли система с интеллектуальными системами анализа данных и проч. [167];
- Сравнения могут быть проведены в разрезе показателей геометрии, возможностей моделирования, в том числе моделирование материалов и др. [168]

Для технологий управления жизненным циклом помимо показателей, идентичных показателям оценки технологий или продуктов/решений цифрового проектирования и моделирования, могут быть использованы показатели, связанные с хранением и управлением данными, а также управлением изменениями. Например, для PDM-систем могут быть использованы показатели оценки уровня безопасности хранения и управления данными о продукции [169]. Также может быть оценено наличие интеграции с другими системами (например, ERP, CRM, MES) [170], удобство интерфейса и поддержка облачных решений.

Новые материалы могут быть оценены в зависимости от наличия или отсутствия у материалов таких технических/механических характеристик, как термическая стойкость и стойкость к УФ-излучению, огнестойкость, химическая стабильность, устойчивость к электромагнитным помехам, устойчивость к коррозии и износу, рассеивание электростатического заряда, плотность, прочность и ударопрочность материала, вес, теплопроводимость, способность к формовке, материалоемкость конечного продукта, безопасность и экологичность используемого сырья и другие [57].

Бенчмарки показателей технологий «умного» производства, которые укрупненно включают промышленную робототехнику, аддитивное производство, промышленный интернет вещей, могут отражать различные характеристики высокотехнологичного производственного оборудования и обеспечивающих их деятельность технологий, а также характеристики готового изделия, которые определяются применяемыми технологиями.

Например, для оценки *промышленных роботов* могут быть использованы следующие показатели:

- *Точность позиционирования*, которая влияет на качество работы робота и точность выполнения производственных операций;
- *Скорость перемещения*, например, градусы, пройденные в секунду, для определения скорости работы каждой оси робота;
- *Рабочая зона* для движения робота, которая также определяет возможность совместной работы с человеком (коллаборативность);
- *Количество совершенных ошибок или неточностей*, что оказывает влияние на качество производственного или технологического процесса;
- *Повторяемость*, то есть способность робота возвращаться в одно и то же положение снова и снова;
- *Количество степеней свободы*, определяемое числом осей у робота. Количество степеней свободы напрямую влияет на гибкость и способность робота выполнять сложные задачи;
- *Грузоподъемность* может играть важную роль в зависимости от назначения робота. Она представляет собой максимальный вес, который может выдержать манипулятор робота, и обычно выражается в килограммах. Грузоподъемность сильно различается среди промышленных роботов, показатели варьируются от 0,5 кг до более 1000 кг;
- Для некоторых задач может быть важна *масса* робота, например, если он будет установлен над головой, а также *безопасность* в случае коллаборативной работы;
- *Скорость переналадки и программирования*, которая влияет на удобство работы пользователя с роботом и гибкость производственной линии [171].

Важно отметить, что существуют отраслевые стандарты и критерии для промышленных роботов, по которым они могут быть оценены. Эти стандарты устанавливаются такими организациями, как Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) и Ассоциация робототехники (Robotic Industries Association, RIA) [172].

Показатели для оценки технических параметров *аддитивных технологий*, в свою очередь, могут включать:

- *Производительность и точность оборудования*, в том числе в зависимости от шага хода лазера, температуры при обработке и проч., что также влияет на простоту эксплуатации установки, качество нанесения слоев и наличие ошибок в изготовлении;
- *Механические свойства* конечного изделия, включая однородность структуры, пористость, плотность, прочность, пластичность, текучесть и др., которые влияют на наличие дефектов и общий уровень качества готового изделия;
- *Точность воспроизведения геометрии* конечного изделия, которая может зависеть как от исходных файлов моделируемого изделия, так и от используемого материала или аддитивной установки;
- *Скорость и качество постобработки*, которые влияют на шероховатость, качество готового изделия, длительность производственного цикла;
- *Ограничения по используемым материалам*, которые определяются используемым типом оборудования и аддитивной технологией [173,174].

Аналогично выделим показатели, направленные на оценку технических характеристик систем *промышленного интернета вещей*:

- *Пропускная способность устройств интернета вещей, скорость отклика*, в том числе систем реагирования;
- *Достоверность и точность измерений, работоспособность* устройств (средств сбора и передачи данных) и сети, в том числе для удаленной эксплуатации систем промышленного интернета вещей и работы в режиме реального времени;
- *Безопасность* передачи данных по используемым каналам, безопасность обработки и представления результатов анализа, шифрование, *совместимость* протоколов передачи данных, форматов представляемых данных, архитектуры системы;
- *Покрываемость* точками сбора и передачи данных, масштаб зоны покрытия и доступ к объекту измерения [175];
- *Уровень надежности компонентов*, включая способность к восстановлению, поддержание сигнала, подключаемость и проч.;
- *Удобство и скорость интеграции* систем промышленного интернета вещей между собой, для межмашинного взаимодействия, с существующей ИТ-инфраструктурой и другими внешними элементами, интероперабельность.

Финансово-рыночные показатели играют ключевую роль в оценке экономической ценности и рыночного потенциала рассматриваемых передовых производственных технологий и могут быть применимы для всех сегментов направления «Технет» НТИ. Финансово-рыночные показатели позволяют сравнить между собой сегменты рынка, компании сегментов рынка (как компании-разработчики технологий, так и компании, внедряющие технологии), коммерческий потенциал

технологий и др. Благодаря этим показателям могут быть выявлены лидирующие направления рынка «Технет» НТИ, проанализированы перспективы роста для каждого направления, а также определены лидирующие игроки и потребители на рынке, а также отрасли применения. Также эти показатели могут быть индикаторами конкурентоспособности на мировом и региональных рынках.

Чаще всего эти бенчмарки измеряются в денежном эквиваленте (например, в миллионах или миллиардах долларов или рублей). Эти бенчмарки основаны на показателях, как правило, оцениваемых в рыночных отчетах маркетинговых и консалтинговых компаний, таких как Global Market Insights, MarketsandMarkets, The Insight Partners, Fortune Business Insights, Precedence Research, Market.Ur, Next Move Strategy Consulting, Introspective Market Research, IMARC, Future Market Insights, Maximize Market Research и другие.

В качестве основных финансово-рыночных показателей могут быть использованы следующие:

- *Емкость (объем) рынка.* Этот показатель позволяет учитывать как текущие значения, так и прогнозные, а также быть оценен как в целом по сегменту, так и по конкретным технологиям сегмента или региону;
- *Среднегодовой темп роста рынка (Compound annual growth rate, CAGR).* Этот показатель отражает динамику и направление развития рынка, позволяет оценить темпы роста относительно рынка в целом, региона, сегмента рынка, компании, спрогнозировать объем рынка в определенный период времени или доходность;
- *Выручка компаний.* Этот показатель позволяет определить ключевых игроков и конкурентов на рынке, степень консолидации и масштабы охвата рынка, провести сопоставление конкурентов по выручке и доле на рынке;
- *Уровень расходов компаний и конечных пользователей на технологии.* Данный показатель позволяет сравнить, какие технологии пользуются бóльшим спросом в текущий момент времени и какие технологии будут востребованы в ближайшем будущем, а также оценить объем доступного рынка.;
- *Количество компаний-разработчиков на рынке,* что позволяет оценить уровень консолидации рынка и масштаб охвата технологии.

Показатели внедрения и использования технологий демонстрируют уровень их практического применения в различных отраслях, регионах и компаниях. Эта группа показателей позволяет оценить интеграцию технологий в производственные процессы, уровень распространения и проникновения технологий, темпы их внедрения. С помощью этих показателей можно определить, какие регионы, отрасли или компании лидируют в применении технологий, а также оценить перспективность и потенциал технологий.

К бенчмаркам показателей внедрения и использования технологий относятся:

- *Плотность применения технологий,* например, количество установленного оборудования / внедрений технологии на определенное количество сотрудников. Так, по данным Международной федерации робототехники, плотность роботов оценивается по количеству установленных роботов на 10 000 сотрудников в различных странах;
- *Скорость внедрения технологий,* в частности, время, затраченное на полную интеграцию технологий от момента принятия решения до операционной готовности, может меняться

с повышением уровня проникновения технологий в промышленность или увеличения зрелости технологии;

- *Количество установленного оборудования, развернутых систем или объем производства* за анализируемый промежуток времени, например за год. Международная федерация робототехники, а также отраслевые издания, такие как Wohlers в области аддитивных технологий, используют метрики количества установок новых роботов / нового оборудования в год, а также количества установок на текущий период накопительным итогом для оценки масштабов внедрения промышленных роботов и аддитивных технологий. Количество установок может быть оценено по отраслям, регионам, странам, сегментам и проч. Для оценки уровня развития новых материалов может быть использован показатель оценки объема производства материалов в мире по типам материалов или связующих компонентов в натуральном или денежном выражении за определенный временной промежуток. Для аддитивных технологий показателем может быть количество проданных 3D-принтеров, для программного обеспечения – количество установленных программных решений и т.п.;
- *Объем продукции, разработанный или изготовленный с применением технологий.* Например, применение систем промышленного интернета вещей или промышленных роботов может ускорить выпуск продукции за счет повышения уровня автоматизации производственного процесса или уменьшить количество брака за счет раннего обнаружения и своевременного реагирования на несоответствия с помощью систем технического зрения и проч.;
- *Степень распространения технологий,* в том числе в рамках регионального и отраслевого применения. Этот показатель может включать количество компаний, которые используют технологии, например, технологии цифрового проектирования и моделирования, и позволяет напрямую оценить уровень масштаба и охвата технологии или продукта.

Группа показателей **инновационной зрелости** тесно связана с двумя предыдущими группами и сфокусирована на оценке того, насколько рассматриваемая технология является готовой к внедрению, на каком уровне развития находится, насколько изучена в научной литературе, насколько представлена на рынке в части коммерциализации и патентной активности и др. К основным показателям данной группы можно отнести:

- *Инвестиции.* Инвестиции в проекты, научные исследования и новые разработки, а также количество и уровень зрелости стартапов могут демонстрировать, какие технологии и направления считаются перспективными или активно развивающимися. Внедрение передовых производственных технологий сопровождается выделением инвестиций со стороны государства на разработку, приобретение или популяризацию технологий и продукции.
- *Импортозависимость,* которая может оцениваться через долю присутствия зарубежных или отечественных решений на рынке, уровень локализации производства компонентов и проч.;
- *Уровень кадровой готовности,* который предполагает оценку, насколько рынок наполнен необходимыми специалистами в части их количества, уровня подготовки, среднего возраста и др.;

- *Уровень регуляторной готовности*, который предполагает оценку достаточности реализуемого нормативно-правового регулирования на рынке, в частности, достаточность стандартов в данной области, нормативно-правовых актов, отсутствие административных и регуляторных барьеров для осуществления деятельности в области разработки и внедрения передовых производственных технологий и т.п.
- *Уровень библиометрической и патентной активности*, что позволяет оценить, насколько технология изучена научным сообществом, имеются ли возможности коммерциализации разработок, ведется ли активная патентная и правовая защита результатов интеллектуальной деятельности и проч.

Таким образом, бенчмарки показателей технологических сегментов направления «Технет» НТИ могут быть поделены на технические характеристики, финансово-рыночные показатели, показатели внедрения и использования технологий, показатели инновационной зрелости. Такое деление учитывает функциональные возможности, экономическое значение и уровень распространения технологий рассматриваемых технологических сегментов, что позволяет оценить текущее состояние и перспективы развития как отдельных технологий или продуктов, так и рынка в целом.

ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

А

Автоматизированная система – система, состоящая из комплекса средств автоматизации, реализующего информационную технологию выполнения установленных функций, и персонала, обеспечивающего его функционирование.

Источник: ГОСТ Р 59853–2021 Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения [176]

Аддитивное производство (Additive Manufacturing) – создание физического объекта по закодированному в цифровом виде проекту путем нанесения материала с помощью процесса 3D-печати.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Gartner Information Technology Glossary [177]

Б

Большие данные (Big Data, BD) –

1. наборы данных, объем которых превышает возможности по сбору, хранению, управлению и анализу, имеющиеся у типичного программного обеспечения для работы с базами данных⁸;
2. совокупность технологий, которые призваны:
 - а) обрабатывать большие по сравнению со «стандартными» сценариями объемы данных;
 - б) уметь работать с быстро и постоянно поступающими данными в очень больших объемах;
 - в) уметь работать со структурированными и плохо структурированными данными параллельно в разных аспектах.

Источник: ПостНаука, статья «Что такое Big Data», 2022 [178]

Большие данные (Big Data, BD) – массивы информации, характеризующиеся колоссальными объемами, стремительно растущей скоростью накопления данных, разнообразием их формата представления (как структурированная, так и не структурированная информация); а также комплекс, инновационных методов и способов их хранения и обработки с целью автоматизации, оптимизации бизнес-процессов, а также обеспечения принятия наиболее эффективных решений на основе накопленной информации.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Gartner IT Glossary [179]

⁸ Объем данных как критерий включения в состав Big Data является чрезвычайно субъективной категорией и может варьироваться в зависимости от степени технологического развития или вида экономической деятельности.

Д

Данные – информация, обработанная и представленная в формализованном виде для дальнейшей обработки.

Источник: ГОСТ 7.0–99 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно-библиотечная деятельность, библиография. Термины и определения [180]

Ж

Жизненный цикл (life cycle) – процесс развития объекта (системы) от зарождения идеи до вывода

из эксплуатации. Жизненный цикл некоторых систем может иметь периодический характер.

Примечание – В зависимости от точки зрения участник жизненного цикла объекта видит свое множество состояний, объединенных в стадии.

Источник: ГОСТ Р 57269–2016 Интегрированный подход к управлению информацией жизненного цикла антропогенных объектов и сред. Термины и определения [181]

Жизненный цикл изделия, жизненный цикл (life cycle) – совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации.

Источник: ГОСТ Р 56136–2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения [182]

И

Изделие – предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению в организации (на предприятии) по конструкторской документации.

Примечания:

1. Изделиями могут быть: устройства, средства, машины, агрегаты, аппараты, приспособления, оборудование, установки, инструменты, механизмы, системы и др.
2. Число изделий гложет измеряться в штуках (экземплярах).
3. К изделиям допускается относить завершенные и незавершенные предметы производства, в том числе заготовки.

Источник: ГОСТ 2.101–2016 Единая система конструкторской документации. Виды изделий [183]

Индустриальный интернет, промышленный интернет (Industrial Internet, Industrial Internet of Things, IIoT, I2oT) – интеграция в состав сложного промышленного оборудования датчиков и программного обеспечения, объединенных в сеть. Подразумевается наличие «сети физических объектов, в которые встроена технология, позволяющая им коммуницировать, фиксировать показатели и обмениваться данными по внутренним и внешним каналам».

Источники: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [184,185]

Индустриальный Интернет, промышленный Интернет (Industrial Internet, Industrial Internet of Things, IIoT, I2oT) – система объединенных компьютерных сетей и подключенных промышленных (производственных) объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека.

Источник: Группа компаний «СиСофт» (CSoft) [186]

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это инфраструктура взаимосвязанных сущностей, систем и информационных ресурсов, а также служб, позволяющих обрабатывать информацию о физическом и виртуальном мире и реагировать на нее.

Источник: ПНСТ 518–2021 (ИСО/МЭК 20924:2018) Информационные технологии (ИТ). Интернет вещей. Термины и определения [187]

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это система взаимосвязанных вычислительных устройств, которые могут собирать и передавать данные по беспроводной сети без участия человека. Система интернета вещей включает в себя датчики и устройства, взаимодействие которых осуществляется через облачное соединение. Как только данные попадают в облако, осуществляется их обработка программными средствами и принимается решение о необходимости выполнения определенных действий, например настройки датчиков и устройств без необходимости ввода данных пользователем или отправки уведомлений. Полная система интернета вещей состоит из четырех отдельных компонентов: датчики устройств, средства подключения, инструменты обработки данных и пользовательский интерфейс.

Источник: Лаборатория Касперского [188]

Искусственный интеллект (artificial intelligence) – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение, поиск решений без заранее заданного алгоритма и достижение инсайта) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека.

Источник: ГОСТ Р 59277–2020 Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта [189]

К

Компьютерное проектирование (Computer-Aided Design, CAD) – процесс разработки 3D-моделей в CAD-системах. **CAD-системы** – это программные системы компьютерного проектирования, позволяющие на основе 3D-моделей осуществлять создание чертежей и / или оформление конструкторской и / или технологической документации.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Компьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering, CAE) – совокупность методов и средств решения научно-технических проблем путем математического и компьютерного моделирования на основе CAE-систем. **CAE-системы** – программные системы компьютерного

инжиниринга, позволяющие на основе математических моделей разных классов и уровней сложности (в самых общих случаях описываемых нестационарными нелинейными уравнениями в частных производных) исследовать поведение материалов, физико-механических и технологических процессов, машин и конструкций.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

М

Моделирование – изучение свойств и/или поведения объекта моделирования, выполненное с использованием его моделей.

Источник: ГОСТ Р 57412–2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения [190]

Моделирование технологических процессов аддитивного производства (Computer-Aided Additive Manufacturing, CAAM) – процесс обработки, исправления геометрии и подготовки 3D-моделей, полученных из CAD/CAE-систем, для аддитивного производства при помощи специализированных программных систем.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Модель (model) – сущность, воспроизводящая явление, объект или свойство объекта реального мира.

Источник: ГОСТ Р 57188–2016 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения [191]

Модель (model) – упрощенная объект-система, описывающая основные характеристики более сложной системы (реального объекта, процесса, явления).

Источник: ГОСТ Р 57269–2016 Интегрированный подход к управлению информацией жизненного цикла антропогенных объектов и сред. Термины и определения [181]

Модель (model) – совокупность семантических и графических символов связей и отношений между ними, адекватно (согласно уровню, глубине и точности представления) описывающая некоторую рассматриваемую предметную область.

Источник: ГОСТ Р 57700.3–2017 Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Термины и определения [192]

Модель (изделия) – сущность, воспроизводящая свойства реального изделия.

Источник: ГОСТ 2.052–2021 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения [193]

Н

Новые материалы (advanced materials) – материалы, которые обладают высокими эксплуатационными характеристиками с точки зрения функциональных или физических свойств по сравнению

с обычными материалами. Новые материалы разработаны с использованием инженерных технологий и специализированных методов синтеза. К таким материалам относятся биоматериалы, наноматериалы, керамика, высококачественные металлы, композиты и др. Под высокими эксплуатационными характеристиками понимаются: высокая прочность, затвердевание, коррозионная стойкость, долговечность, эффект памяти формы, специфическая реакция при воздействии определенной среды или раздражителей, высокая эффективность при больших нагрузках и др.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Kemet [194]

П

Передовые технологии компьютерного проектирования и моделирования и технологии оптимизации – совокупность технологий компьютерного проектирования (Computer-Aided Design, CAD), математического моделирования, компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE, и High Performance Computing, HPC) и оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO) – многопараметрической, многокритериальной, многодисциплинарной, топологической, топографической, оптимизации размеров и формы и т. д.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Передовые производственные технологии (ППТ) – совокупность новых, с высоким потенциалом, уже зарекомендовавших себя, демонстрирующих де-факто стремительное развитие, но имеющих пока по сравнению с традиционными технологиями относительно небольшое распространение, материалов, методов и процессов, которые используются для производства глобально конкурентоспособных и востребованных на мировом рынке продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.).

Передовые производственные технологии включают:

- цифровое проектирование и моделирование как совокупность технологий компьютерного проектирования (Computer-Aided Design, CAD); математического моделирования, компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE, и High Performance Computing, HPC) и оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO); разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ (Computer-Aided Manufacturing, CAM) и моделирования технологических процессов аддитивного производства (Computer-Aided Additive Manufacturing, CAAM); бионического дизайна ((Simulation & Optimization)-Driven Bionic Design); «умных» моделей; цифровых двойников (Digital Twin); технологий управления данными об изделии (Product Data Management, PDM) и технологий управления жизненным циклом изделий (Product Lifecycle Management, PLM);
- новые материалы (в первую очередь, композиционные материалы, метаматериалы, металлопорошки для аддитивного производства);
- аддитивные технологии, включая 3D-принтеры, технологии, подходы и способы работ с исходными материалами, разработка и эксплуатация расходных материалов и набор услуг по 3D-печати;
- CNC-технологии и гибридные технологии, включая станки и технологии оборудования

- с числовым программным управлением, приводную технику, гибридные многофункциональные технологии обработки;
- промышленная сенсорика – внедрение «умных» сенсоров и инструментов управления (контроллеров) в производственное оборудование, в помещение на уровне цеха или фабрики в целом;
- технологии робототехники, прежде всего, гибкие производственные ячейки;
- информационные системы управления предприятием (Industrial Control System – ICS, Manufacturing Execution System – MES, Enterprise Resource Planning – ERP, Enterprise Application Software – EAS);
- Big Data – генерация, сбор, хранение, управление, обработка и передача больших данных, в первую очередь, «умных» больших данных (Smart Big Data);
- индустриальный Интернет;
- технологии виртуальной и дополненной реальности;
- экспертные интеллектуальные системы и искусственный интеллект.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Передовые производственные технологии (ППТ) – сложный комплекс мультидисциплинарных знаний, наукоемких технологий и системы интеллектуальных ноухау, полученных с помощью длительных и дорогостоящих научных исследований, эффективного применения концепции открытых инноваций и трансфера передовых наукоемких технологий.

Многие наукоемкие технологии аккумулируют наработки нескольких лет, создаются большими коллективами, а потому трудоемкость их создания составляет тысячи и десятки тысяч человеко-лет.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Предиктивная аналитика – описывает любой подход к интеллектуальному анализу данных, учитывая следующее:

- Акцент на прогнозировании (а не на описании, классификации или кластеризации).
- Быстрый анализ, измеряемый в часах или днях (а не в стереотипных месяцах традиционного анализа данных).
- Акцент релевантности полученных результатов для бизнеса.
- (все чаще) Акцент на простоте использования, что делает инструменты доступными для бизнес-пользователей.

Источник: Gartner Information Technology Glossary [195]

Прескриптивная аналитика – форма углубленной аналитики, которая исследует данные или контент, чтобы ответить на вопрос «Что следует сделать?» или «Что мы можем сделать, чтобы _____ произошло?», и характеризуется такими методами, как анализ графов, моделирование, обработка сложных событий, нейронные сети, механизмы рекомендаций, эвристика и машинное обучение.

Источник: Gartner Information Technology Glossary [196]

Программное обеспечение компьютерного моделирования, ПО КМ – программы, выполняющие математические расчеты, и программы, предназначенные для подготовки исходных данных, обработки результатов расчета, а также другие вспомогательные программы.

Примечание – Программное обеспечение компьютерного моделирования позволяет моделировать различные объекты моделирования в соответствии с классификацией (ГОСТ Р 57412 и ГОСТ Р 57700.22), а также содержит в своем составе программные средства для реализации различных сервисных (по отношению к компьютерной модели) функций.

Примеры: препроцессор и постпроцессор (по ГОСТ Р 57700.10), программные модули импорта и экспорта моделей, визуализации геометрических моделей, результатов моделирования, цифровых (виртуальных) испытаний, программы составления схем и сценариев [ГОСТ Р 57700.37–2021].

Источник: ГОСТ Р 57700.2–2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения [197]

Программно-технологическая платформа цифровых двойников – цифровая платформа, в которой вычислительные аппаратные средства интегрируются с разными типами программного обеспечения компьютерного моделирования (ПО КМ), программными решениями компьютерного проектирования и моделирования, генерации, сбора, обработки и передачи данных, визуализации, а также обеспечения эффективного взаимодействия участников процесса создания цифровых двойников изделий.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Р

Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ (Computer-Aided Manufacturing, CAM) – процесс проектирования обработки изделий на оборудовании с ЧПУ (фрезерных, сверлильных, токарных, шлифовальных, эрозионных, пробивных и других станках) при помощи САМ-систем. **САМ-системы** – программные системы, позволяющие на основе 3D-моделей, полученных из САД-систем, осуществлять разработку управляющих программ для изготовления изделий на оборудовании с ЧПУ.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Робототехника – наука и практика проектирования, производства и применения роботов – запрограммированных автономных механизмов, предназначенных для выполнения разного рода работ.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам The International Organization for Standardization [198]

С

Сенсор (sensor) – устройство для обнаружения событий или изменений в окружающей среде и передачи информации на другие электронные устройства.

Источник: ГОСТ Р ИСО/МЭК 18038–2023 Информационные технологии.
Компьютерная графика, обработка изображений и представление данных об окружающей среде.
Представление сенсоров в смешанной и дополненной реальности [199]

Система управления процессами и данными компьютерного моделирования (Simulation Process and Data Management, SPDM) – среда/платформа, которая позволяет эффективно управлять конфигурацией данных моделирования, оптимизировать процессы, осуществлять совместную работу глобально распределенных команд, обеспечивать прослеживаемость и принимать решения по оптимизации продукта/изделия.

Такие системы связывают входные и выходные данные программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга), повышая степень автоматизации, обеспечивая прослеживаемость расчетных вариантов и улучшая процесс моделирования.

SPDM-системы позволяют обеспечить прозрачность и контролируемость процесса разработки, принятие обоснованных решений; упрощают работу с расчетными вариантами и конечно-элементным моделированием, а также с формированием отчетов.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам [200,201]

«Сквозные» цифровые технологии – ключевые направления программы поддержки развития перспективных отраслей, определенные распоряжением Правительства РФ 1632-р от 27 июля 2017 г. «Цифровая экономика Российской Федерации». К ним относятся большие данные, нейротехнологии и искусственный интеллект, системы распределенного реестра, квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный интернет, компоненты робототехники и сенсорики, технологии беспроводной связи, технологии виртуальной и дополненной реальности.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Распоряжения Правительства РФ 1632-р, 2017 [202]

Содержательные («умные») данные (Smart Big Data) –

1) SBD-1 – массив данных, генерируемый в процессе мультидисциплинарного компьютерного / суперкомпьютерного моделирования и применения технологий оптимизации, и содержащий множество различных характеристик, которые позволяют исчерпывающе описать поведение объекта моделирования (изделия / технической системы, физико-механического / технологического / эксплуатационного / ... процесса, материала и др.).

2) SBD-2 – массив потоковых данных о функционировании изделия / технической системы / ..., процесса, материала ..., поступающий при помощи технологий промышленного Интернета вещей с датчиков, размещенных в критических зонах, расположение которых получено при разработке цифрового двойника изделия.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Стадия жизненного цикла (life cycle stage) – часть жизненного цикла, выделяемая по признакам характерных для нее явлений, процессов (работ) и конечных результатов.

Источник: ГОСТ Р 56136–2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения [182]

Суперкомпьютерный инжиниринг (High Performance Computing, HPC) – совокупность методов

и средств решения научно-технических проблем путем математического и суперкомпьютерного моделирования на основе CAE-систем и высокопроизводительных вычислительных систем (суперкомпьютеров, кластеров и т. д., построенных, как правило, на эффективном сочетании CPU- и GPU-процессоров), позволяющих эффективно реализовать подход одновременного / параллельного решения нескольких вариантов задач или разных задач из разных отраслей промышленности.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ [13]

Т

Технологии управления данными об изделии (Product Data Management, PDM) – решения и методики, используемые внутри компании 1) для организации, обеспечения доступа и управления данными, которые имеют отношение к изделиям; 2) для управления жизненным циклом этих изделий.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам CIMdata's PLM Glossary [203]

Технологии управления данными об изделии (Product Data Management, PDM) – организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолеты и ракеты, компьютерные сети и др.). PDM-системы являются неотъемлемой частью PLM-систем. Одной из целей PDM-систем является обеспечение возможности групповой работы над проектом, то есть просмотра в реальном времени и совместного использования общих информационных ресурсов предприятия.

Источник: Группа компаний «СиСофт» (CSoft) [204]

Технологии управления жизненным циклом изделий (Product Lifecycle Management, PLM) – стратегический подход к ведению бизнеса, который использует набор технических решений для поддержки совместного (collaborative) создания, управления, распространения и использования описания изделия (product definition information) в среде расширенного (extended) предприятия и который охватывает жизненный цикл изделия от стадии концепта до утилизации, – при интеграции людских ресурсов, процессов и информации.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам CIMdata's PLM Glossary [205]

Технология машинного обучения (Machine Learning, ML) – программное обеспечение для реализации алгоритмов машинного обучения, внедряемое в целях повышения производительности при выполнении некоторого набора задач.

Технология машинного обучения (Machine Learning, ML) – класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение на примерах реализации решений для большого количества сходных задач.

Источник: НИУ ВШЭ [13]

Ц

Цифровая модель изделия – система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний по ГОСТ 16504 выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям.

Примечания:

1. Цифровая модель создается с использованием программного обеспечения компьютерного моделирования и (или) инструментальных программных и иных средств.
2. Цифровая модель должна описывать структуру, функциональность и поведение разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на тех стадиях жизненного цикла (ЖЦ), которые установлены в соответствующих технических заданиях.
3. Наполнение и функциональность цифровой модели зависит от стадии ЖЦ изделия.
4. Оценка соответствия цифровой модели изделия в общем случае включает в себя процедуры верификации и валидации математических моделей по ГОСТ Р 57188, компьютерных моделей и программного обеспечения компьютерного моделирования по ГОСТ Р 57700.1, ГОСТ Р 57700.2, ГОСТ Р 57700.24, ГОСТ Р 57700.25.
5. Под электронными документами понимаются электронные документы по ГОСТ 2.001, ГОСТ 3.1001, ГОСТ 3.1102, ГОСТ 19.101, ГОСТ 34.601, ГОСТ Р 58301.

Источник: ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения [206]

«Цифровая сертификация» – специализированный бизнес-процесс, основанный на тысячах / десятках тысяч цифровых (виртуальных) испытаний как отдельных компонентов, так и системы в целом, целью которого является прохождение с первого раза всего комплекса натуральных, квалификационных, сертификационных и прочих испытаний.

Источник: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 7 ноября 2023 г. № 3113-р, Центр компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» [207,208]

Цифровая трансформация – проявление качественных, революционных изменений, заключающихся не только в отдельных цифровых преобразованиях, но и в принципиальном изменении структуры экономики, в переносе центров создания добавленной стоимости в сферу выстраивания цифровых ресурсов и сквозных цифровых процессов.

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам World Bank Group, Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2021 [209]

Цифровое проектирование и моделирование (Smart Design) – технологии, обеспечивающие реализацию концепции передового цифрового проектирования; драйвером этого процесса выступает технология разработки цифрового двойника на основе создания и применения многоуровневой системы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений, на основе математических моделей разных классов, уровней сложности и адекватности (в самых общих случаях описываемых нестационарными нелинейными уравнениями в частных производных), на основе проведения цифровых (виртуальных) испытаний, применения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и цифровых (виртуальных) испытательных полигонов.

Источник: Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии», 2019 [210]

Цифровой (виртуальный) испытательный полигон – система, в общем случае состоящая из технических средств, программного, методического и организационного обеспечения и квалифицированного персонала, предназначенная для проведения полигонных испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта испытаний.

Примечание – Цифровая модель для проведения полигонных испытаний должна обеспечивать испытания объекта в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта.

Источник: ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения [206]

Цифровой (виртуальный) испытательный стенд – система, в общем случае состоящая из технических средств, программного, методического и организационного обеспечения и квалифицированного персонала, предназначенная для проведения стендовых испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта испытаний.

Источник: ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения [206]

Цифровой двойник изделия – система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

Примечания:

1. Цифровой двойник разрабатывается и применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия.
2. При создании и применении цифрового двойника изделия участникам процессов жизненного цикла (по ГОСТ Р 56135) рекомендуется применять программно-технологическую платформу цифровых двойников.

Источник: ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения [206]

ЦД-Р – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии разработки изделия.

ЦД-П – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии производства изделия.

ЦД-Э – цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии эксплуатации изделия.

Источник: ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование.
Цифровые двойники изделий. Общие положения [206]

Цифровые (виртуальные) испытания – определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) этого объекта.

Примечания:

1. В настоящем стандарте под объектом испытания подразумевается изделие.
2. В зависимости от вида цифровых (виртуальных) испытаний может быть использован как сам объект испытаний, так и его составные части.
3. Для проведения цифровых (виртуальных) испытаний рекомендуется использовать программно-технологические платформы видов испытаний, определенных ГОСТ 16504.

Источник: ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование.
Цифровые двойники изделий. Общие положения [206]

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/73986> (дата обращения: 08.11.2024)
2. Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408518353/> (дата обращения: 04.04.2024)
3. Drechsel J. Cooperation in Supply Chains // Cooperative Lot Sizing Games in Supply Chains : Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems : Т. 644. – Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. – ISBN 978-3-642-13724-2. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-13725-9_4 (дата обращения: 27.12.2024)
4. Фокина Д.А. Теоретические основы промышленной кооперации // Материалы XXII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева : Т. 2. – Красноярск :2018. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-osnovy-promyshlennoy-kooperatsii/viewer> (дата обращения: 27.12.2024)
5. Supply Chain Collaboration through Advanced Manufacturing Technologies // World Economic Forum. – URL: <https://www.weforum.org/publications/supply-chain-collaboration-through-advanced-manufacturing-technologies/> (дата обращения: 27.12.2024)
6. Orji I., Ojadi F. Assessing the effect of supply chain collaboration on the critical barriers to additive manufacturing implementation in supply chains // Journal of Engineering and Technology Management. – Vol. 68. – Article 101749. – ISSN 09234748. – DOI 10.1016/j.jengtecman.2023.101749.
7. What are the 5 Levels of Automation? // Integration Controls – 1.10.2021. – URL: <https://integrated-controls.com/what-are-the-5-levels-of-automation/> (дата обращения: 10.12.2024)
8. Folgado F., Calderon D., Gonzáles I., Calderon A. Review of Industry 4.0 from the Perspective of Automation and Supervision Systems: Definitions, Architectures and Recent Trends // Electronics. – 2024. – Issue 13 (4). – DOI <https://doi.org/10.3390/electronics13040782>. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/4/782> (дата обращения: 11.12.2024)
9. Alignment Report for Reference Architectural Model for Industrie 4.0/ Intelligent Manufacturing System Architecture – 2018. – URL: <https://www.dke.de/resource/blob/1711304/2e4d62811e90ee7aad10eeb6fdeb33d2/alignment-report-for-reference-architectural-model-for-industrie-4-0-data.pdf> (дата обращения: 23.12.2024)
10. Zhang X., Ming X. Reference subsystems for Smart Manufacturing Collaborative System (SMCS) from multi-processes, multi-intersections and multi-operators // Enterprise Information Systems. – 15.03.2020. – Vol. 14. – Issue 3. – P. 282-307. – ISSN 1751-7575, 1751-7583. – DOI 10.1080/17517575.2019.1694705.
11. План мероприятий («дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы. – URL: <https://www.nti.one/documents/docs/ДК%20Технет.pdf> (дата обращения: 28.06.2023)

12. Архитектура кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ (включая обзор применения технологий цифрового проектирования и моделирования для обоснования компоновочных решений в машиностроении). – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2024/12/31/2024_1229_arhitektura-rynka-tehnet.pdf (дата обращения: 02.12.2025)
13. Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг». – URL: <https://pish.spbstu.ru/article/glossarij> (дата обращения: 02.12.2025)
14. Тренды и сценарии развития рынков, относящихся к «цифровой фабрике», по направлению «Технет» НТИ в условиях новой экономической реальности / А. И. Боровков, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Н. И. Прытков, Ю. А. Рябов, К.В. Кукушкин – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 108 с.
15. Анализ рынка систем инженерного анализа (CAE-систем), в том числе использующих технологии искусственного интеллекта, в рамках направления «Технет» НТИ / 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 – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2024/12/31/2024_1228_CAE.pdf (дата обращения: 12.12.2025)
16. Анализ рынка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM-систем) в рамках направления «Технет» НТИ / 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 – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2024/12/31/2024_1228_SPDM.pdf (дата обращения: 12.12.2025)
17. CAM Software Market – Global Industry Analysis and Forecast (2025–2032) // MAXIMIZE MARKET RESEARCH. – URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-cam-software-market/102401/> (дата обращения: 16.12.2025)
18. High Performance Computing Market Size, Share & Industry Analysis, By Component (Hardware, Software, and Services), By Deployment Mode (On-premise, Cloud, and Hybrid), By Enterprise Type (Small and Medium Enterprises (SMEs) and Large Enterprises), By Industry (Healthcare and Life Sciences, BFSI, Manufacturing, Energy and Utilities, Transportation, Government and Defense, Media and Entertainment, Education, and Others), and Regional Forecast, 2024–2032 // Fortune Business Insights. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/high-performance-computing-hpc-and-high-performance-data-analytics-hpda-market-100636> (дата обращения: 16.12.2025)
19. Heard of the IoT "Value Chain"? Here's How It Works // Ubidots. – URL: <https://ubidots.com/blog/iot-value-chain/> (дата обращения: 16.12.2025)
20. What is the IoT value chain and why is it important? // Analysys Mason. – URL: <https://www.analysismason.com/research/content/articles/iot-value-chain-rdme0/> (дата обращения: 16.12.2025)
21. Industrial Sensors Market: Global Industry Analysis and Forecast (2024–2030) // MAXIMIZE MARKET RESEARCH. – URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-industrial-sensors-market/34465/> (дата обращения: 16.12.2025)

22. Боровков А. И., Мартынец Е. Р., Щербина Л. А., Рябов Ю. А. Тенденции и перспективы развития технологий «умного» производства. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 184 с.
23. Перспективы и сценарии развития новых материалов в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году / 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 – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 184 с.
24. 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) / 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 – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 140 с.
25. RADAR // RADAR Leader-ID. – URL: <https://radar.leader-id.ru/intro/> (дата обращения: 16.12.2025)
26. Перспективы и сценарии развития промышленной робототехники в рамках направления «Технет» НТИ в 2024 году / А. И. Боровков, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин, А. М. Трапезникова, Л. А. Нездоймышапко – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 123 с.
27. Robotics as a Service Market By Type (Professional, Personal); By Application (Handling, Assembling); By End User (Manufacturing, Automotive) – Growth, Share, Opportunities & Competitive Analysis, 2024 – 2032 // Credence Research Inc.. – URL: <https://www.credenceresearch.com/report/robotics-as-a-service-market> (дата обращения: 16.12.2025)
28. Mai T., Brylowski M., Nagi A., Kersten W. Additive Manufacturing Value Chain // Industrie 4.0 Management. – 15.06.2022. – Vol. 38. – Issue 3. – P. 25-30. – DOI 10.30844/40M_22-3_25-30.
29. Additive Manufacturing: Analysis Along the Entire Value Chain // EAG Laboratories – 22.12.2022. – URL: <https://www.eag.com/app-note/additive-manufacturing-analysis-along-the-entire-value-chain/> (дата обращения: 16.12.2025)
30. Research S. Additive Manufacturing Market Industry Overview, Size, Share, Growth Trends, Research Insights and Forecast (2025–2032) // Stellar Market Research. – URL: <https://www.stellararmr.com/report/additive-manufacturing-market/2694> (дата обращения: 16.12.2025)
31. 3D Printing Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Type (Metal, Polymer, Ceramics, Other), By Application (Aerospace and Defense, Automobile Industry, Medical and Dental, Other), Regional Insights and Forecast to 2035 // Market Growth Reports. – URL: <https://www.marketgrowthreports.com/market-reports/3d-printing-market-100189> (дата обращения: 16.12.2025)
32. Additive Manufacturing Market Size, Share, and Trends 2025 to 2034 // Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/additive-manufacturing-market> (дата обращения: 16.12.2025)
33. Leonardo unveils design of Proteus Uncrewed Rotorcraft Technology Demonstrator – Leonardo in the UK. – URL: <https://uk.leonardo.com/en/news-and-stories-detail/-/detail/leonardo-unveils-design-of-proteus-uncrewed-rotorcraft-technology-demonstrator> (дата обращения: 02.12.2025)

34. Skunk Works' X-56A Poised To Become World's First Digitally-Certified Aircraft – The Aviationist. – URL: <https://theaviationist.com/2024/08/30/x-56a-digitally-certified/> (дата обращения: 02.12.2025)
35. Transforming glass-fibre infrastructure with connected design and manufacturing utilizing Vault for PowerMill. – URL: <https://www.autodesk.com/uk/customer-stories/nov-fgs-transform-infra-structure> (дата обращения: 02.12.2025)
36. Ansys Report Highlights Simulation's Role in Improving Sustainability Across Industries. – URL: <http://www.ansys.com/news-center/press-releases/12-17-24-ansys-simulation-improves-sustainability-across-industries> (дата обращения: 02.12.2025)
37. Functionally Designed Ultra-lightweight Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composites Door Assembly. – URL: https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-06/mat118_Pilla_2021_o_5-27_759pm_LR_ML.pdf (дата обращения: 02.12.2025)
38. Bright Engineering adds Autodesk FeatureCAM as part of continuous improvement. – URL: <https://mtdcnc.com/case-studies/autodesk/bright-engineering-adds-autodesk-featurecam-as-part-of-continuous-improvement/> (дата обращения: 02.12.2025)
39. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников "Digital Twins" CML-Bench®. Часть 1 / А.И. Боровков, В.В. Бураков, Е.Р. Мартынец, Ю.А. Рябов, Л.А. Щербина // САПР и графика. – 2023. – Вып. 8. – С. 42-51.
40. Боровков А.И., Бураков В.В. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников "Digital Twins" CML-Bench®. Часть 2 // САПР и графика. – 2023. – Вып. 9. – С. 54-64.
41. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников "Digital Twins" CML-Bench®. Часть 3 / А.И. Боровков, Е.Р. Мартынец, И.М. Мартынов, И.Ф. Шандер, Ю.Б. Житков, А.В. Волков, Ю.А. Горский // САПР и графика. – 2023. – Вып. 10. – С. 50-62.
42. Боровков А.И., Ефимов-Сойни Н.К., Мартынец Е.Р., Рябов Ю.А. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников "Digital Twins" CML-Bench®. Часть 4 // САПР и графика. – 2024. – Вып. 5. – С. 4-12.
43. Боровков А.И., Чишко С.Д., Мартынец Е.Р., Рябов Ю.А. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников "Digital Twins" CML-Bench®. Часть 5 // САПР и графика. – 2024. – Вып. 7. – С. 4-16.
44. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников "Digital Twins" CML-Bench®. Часть 6 / А.И. Боровков, Д.С. Сачава, О. Князева, Е.Р. Мартынец, А.С. Алексашкин, Ю.А. Рябов // САПР и графика. – 2024. – Вып. 8. – С. 12-24.
45. CML-Bench® – цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников. – URL: <https://cml-bench.ru/> (дата обращения: 01.12.2024)
46. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®. – URL: <https://cml-bench.ru> (дата обращения: 23.12.2024)
47. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench® (часть 8.1): применение параметрической оптимизации, методов машинного обучения и генеративного искусственного интеллекта при разработке цифровых двойников изделий / А.И. Боровков, А. Новокшенов, А. Матвеева, С. Кравчинский, Д. Авдонушкин, К. Бобин, Е.Р. Мартынец, Ю.А. Рябов // САПР и графика. – 2025. – Вып. 10. – С. 19-29.
48. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench® (часть 8.2): применение параметрической оптимизации, методов машинного

- обучения и генеративного искусственного интеллекта при разработке цифровых двойников изделий / А.И. Боровков, А. Новокшенов, А. Матвеева, С. Кравчинский, Д. Авдонюшкин, К. Бобин, Е.Р. Мартынец, Ю.А. Рябов // САПР и графика. – 2025. – Вып. 11. – С. 32-41.
49. Инженеры Петербургского Политеха разработали архитектуру цифрового двойника печи остекловывания для утилизации высокоактивных радиоактивных отходов – ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг». – URL: <https://pish.spbstu.ru/news/8694> (дата обращения: 02.12.2025)
 50. Команда ПИШ СПбПУ представила проект по разработке модуля интеллектуального проектирования на основе технологий ROM-моделирования и больших языковых моделей на базе Цифровой платформы CML-Bench® в рамках технологического семинара в Сколтехе – FEA.RU – CompMechLab – разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/НПС. – URL: <https://fea.ru/news/9157> (дата обращения: 02.12.2025)
 51. Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг» разработала математические и компьютерные модели подложки толкательной печи спекания и рекомендации по снижению её массы – FEA.RU – CompMechLab – разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/НПС. – URL: <https://fea.ru/news/9153> (дата обращения: 02.12.2025)
 52. Инженеры Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» впервые в России создали промышленную технологию производства композита из непрерывного углеволокна для 3D-печати // Fea.ru. – URL: <https://fea.ru/news/8787> (дата обращения: 04.04.2024)
 53. Инженеры СПбПУ впервые в России создали промышленную технологию производства композита из непрерывного углеволокна для авиационной отрасли // АвиаПорт.Новости. – URL: <https://www.aviaport.ru/news/inzhenery-spbpu-vpervye-v-rossii-sozdali-promyshlennuyu-tekhnologiyu-proizvodstva-kompozita-iz-nepre/> (дата обращения: 13.12.2024)
 54. Россия еще на шаг стала ближе к технологическому суверенитету: ученые разработали суперпрочный материал для строительства ракет. – URL: <https://www.pravda.ru/news/science/1987587-prochnyi-material/> (дата обращения: 13.12.2024)
 55. Зачем «Росатому» уникальный филамент для 3D-печати. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2024/05/27/zachem-rosatomu-unikalnyj-filamen/> (дата обращения: 13.12.2024)
 56. Росатом и СПбПУ осваивают производство филаментов с армированием непрерывным углеволокном. – URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/rosatom-i-spbpu-osvaivayut-proizvodstvo-filamentov-s-armirovaniem-nepneryvnyum-uglevoloknom> (дата обращения: 13.12.2024)
 57. 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. Кобышно, 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: 21.01.2025)
 58. Ansys + Ferrari Competizioni GT. – URL: <http://www.ansys.com/content/dam/amp/2022/august/asset-creation/ansys-case-study-ferrari-using-granta/ansys-case-study-ferrari-using-granta-mi-final.pdf> (дата обращения: 02.12.2025)

59. Создан онлайн-сервис, предсказывающий свойства веществ – [iot.ru](https://iot.ru/promyshlennost/sozdan-onlayn-servis-predskazyvayushchiy-svoystva-veshchestv) Новости Интернета вещей. – URL: <https://iot.ru/promyshlennost/sozdan-onlayn-servis-predskazyvayushchiy-svoystva-veshchestv> (дата обращения: 03.12.2025)
60. «Росатом» представил на Форуме будущих технологий уникальную разработку для создания новых материалов в интересах промышленности. – URL: <https://niirosatom.ru/press-center/news/rosatom-predstavil-na-forume-budushchikh-tekhnologiy-unikalnuyu-razrabotku-dlya-sozdaniya-novykh-mat/> (дата обращения: 02.12.2025)
61. В ОДК спроектировали детали для ПД-14 с помощью российского ПО. – URL: <https://www.uecrus.com/press/v-odk-sproektirovali-detali-dlya-pd-14-s-pomoshchyu-rossiyskogo-po/> (дата обращения: 02.12.2025)
62. КОМПАС-3D: Композиты. Подробный анонс нового продукта. – URL: <https://ascon.ru/news/2024/11/14/kompas-3d-kompozity-podrobnyj-anons-novogo-produkta/> (дата обращения: 02.12.2025)
63. 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; ред. А. И. Боровков. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 204 с. – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2024/01/29/2023_1229_ЭАД.pdf (дата обращения: 21.01.2025)
64. H2 Clipper plans to deploy robotic swarms in aerospace manufacturing – The Robot Report. – URL: <https://www.therobotreport.com/h2-clipper-plans-to-deploy-robotic-swarms-in-aerospace-manufacturing/> (дата обращения: 02.12.2025)
65. 435 AMRs Transform Chery's Dalian Factory: ForwardX Delivers Largest Just-in-Time Automation in Automobile Manufacturing – ForwardX Robotics. – URL: <https://www.forwardx.com/435-amrs-transform-cherys-dalian-factory-forwardx-delivers-largest-just-in-time-automation-in-ev-manufacturing/> (дата обращения: 02.12.2025)
66. Kawasaki-Политех. – URL: <https://kawasakirobot.ru/kawasaki-polytech> (дата обращения: 12.11.2024)
67. «Kawasaki-Политех»: технологии, которые изменят мир. – URL: <https://www.spbstu.ru/media/smi/partnership/kawasaki-polytech-technologies-change-world/> (дата обращения: 31.10.2024)
68. RTX's Pratt & Whitney develops additive manufacturing to reduce engine repair time – Reuters. – URL: <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/rtxs-pratt-whitney-develops-additive-manufacturing-reduce-engine-repair-time-2025-04-08/> (дата обращения: 02.12.2025)
69. «Норникель» внедряет 3D-печать фотополимерами и отливку термoplastами – Новости «Северного Города». – URL: <https://news.sgnorilsk.ru/2025/07/01/nornikel-vnedryaet-3d-pechat-fotopolimerami-i-otlivku-termoplastami/> (дата обращения: 02.12.2025)
70. В НГТУ запатентовали 3D-печать металлических изделий с использованием искусственного интеллекта. – URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/v-ngtu-zapatentovali-3d-pechat-metallicheskih-izdelii-s-ispolzovaniem-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения: 02.12.2025)
71. Цифровой двойник помог создать методику поиска трещин в авиакомпозитах – Наука – ТАСС. – URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/22393929> (дата обращения: 02.12.2025)
72. Qualcomm and Bosch Rexroth Showcase Industrial Automation with Time-Synchronized Applications over a Live 3.75 GHz 5G Private Network. – URL:

- <https://www.qualcomm.com/news/releases/2022/02/qualcomm-and-bosch-rexroth-showcase-industrial-automation-time-synchronized> (дата обращения: 22.08.2025)
73. Industrial Internet of Things – IIoT (промышленный интернет вещей) в России. – URL: <https://www.tadviser.ru/a/381216> (дата обращения: 17.12.2024)
 74. Тренды и сценарии развития рынков, относящихся к "цифровой фабрике" по направлению "Технет" НТИ в условиях новой экономической реальности. – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2023/06/30/ead_cpim.pdf (дата обращения: 23.02.2025)
 75. Перспективные технологии производства продукции : учебно-методическое пособие / Е.С. Синогина, С.А. Ломовская, И.А. Екимова, В.А. Серяков, А.С. Федотов, Ю.П. Хмелевский, Р.Ю. Пак, Р.Р. Ахмеджанов – Томск : Издательство Томского государственного педагогического университета, 2020. – 152 с. – URL: <https://edu.study.tusur.ru/publications/9344/download> (дата обращения: 22.12.2024)
 76. Роботы в промышленности: преимущества и области применения. – URL: <https://www.alpha-intech.com/blog/robottechnical/rooty-v-promyshlennosti/> (дата обращения: 22.12.2024)
 77. План мероприятий («дорожная карта») «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы : Национальная технологическая инициатива. – Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ, 2020. – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2021/06/24/2021_0624_DK_Technet.pdf (дата обращения: 12.12.2024)
 78. Перечни критической промышленной продукции Минпромторга России. – URL: <https://frprf.ru/plany-importozameshcheniya/> (дата обращения: 02.12.2025)
 79. Перечень критической продукции в отрасли аддитивных технологий, промышленной робототехники и сварочного оборудования. – URL: <https://bod.frprf.ru/public/documents/perechen-kriticheskoyj-promyshlennoj-j-produkcii-v-otraslyakh-additivnykh-tekhnologijj-promyshlennoj-j-robototekhniki-i-svarochnogo-oborudovaniya> (дата обращения: 02.12.2025)
 80. Импортозамещение информационных технологий в промышленности // TAdviser. – URL: <https://www.tadviser.ru/a/670543> (дата обращения: 23.11.2025)
 81. Рынок инженерного ПО в России будет расти на 16% ежегодно до 2030 года // Strategy Partners. – URL: <https://strategy.ru/news/rynok-inzhenernogo-po-v-rossii-budet-rasti-na-16-ezhegodno-do-2030-goda-315/> (дата обращения: 23.12.2024)
 82. 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_высоко-технологичной_промышленности_Small.pdf (дата обращения: 22.07.2025)
 83. Код цифровой экономики: Рынок программного обеспечения и ИТ-услуг. – URL: <https://b1.ru/upload/sprint.editor/9f4/457ho11svspevb0s5u9j4e10vfle4gd6/b1-software-and-it-services-in-russia-research-2025.pdf.pdf> (дата обращения: 01.12.2025)
 84. Тенденции импортозамещения в САПР – Блог GAMMA Tech. – URL: <https://gammatech.ru/blog/import-substitution-trends-in-cad> (дата обращения: 01.12.2025)
 85. АНАЛИТИКА, вып. 13. Импортозамещение индустриального ПО в России: проблемы и перспективы – ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг». – URL: <https://pish.spbstu.ru/news/9229> (дата обращения: 01.12.2025)

86. Импортзамещение промышленного ПО: где и как идет замена. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7738015> (дата обращения: 01.12.2025)
87. Будущее российских ИТ-технологий: вызовы и возможности импортзамещения. – URL: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/-importozameshchenie-v-sfere-it-perspektivy-i-vyzovu-2025/> (дата обращения: 01.12.2025)
88. В поисках альтернативы: варианты импортзамещения ПО в России. – URL: <https://aif.ru/boostbook/importozameshchenie-po.html> (дата обращения: 01.12.2025)
89. Рудник П.Б. Цифровая трансформация: ожидания и реальность: докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. – М. : Издательский дом Высшей школы экономики, 2022. – 221 с. – ISBN 978-5-7598- 2658-3 (в обл.), 978-5-7598-2468-8 (e-book). – URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/603838492.pdf> (дата обращения: 24.12.2024)
90. Исследование потенциала импортзамещения программного обеспечения в приоритетных отраслях экономики / Е. Галиханова, М. Исаев, Ю. Крикунова, М. Образцова, Д. Шакирзянова – Иннополис : АНО ВО «Университет Иннополис», 2022. – 160 с.
91. Мишустин раскрыл долю отечественного ПО на российском рынке. – URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/129985-mishustin-raskryl-dolyu-otechestvennogo-po-na-rossijskom-rynke/> (дата обращения: 01.12.2025)
92. Доля отечественных ERP-систем на российском рынке достигла 80% – ComNews. – URL: <https://www.comnews.ru/content/240075/2025-07-09/2025-w28/1007/dolya-otechestvennykh-erp-sistem-rossijskom-rynke-dostigla-80> (дата обращения: 01.12.2025)
93. Доля российского программного обеспечения, используемого в деятельности государственных органов, государственных корпораций, государственных компаний и хозяйственных обществ, в уставном капитале которых доля участия РФ в совокупности превышает 50%, а также в их аффилированных юридических лицах. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/62814> (дата обращения: 01.12.2025)
94. Обзор рынка российского ПО в 2025 году – Dynamicsun. – URL: <https://dynamicsun.ru/ai-articles/obzor-rynka-rossijskogo-po-v-2025-godu> (дата обращения: 01.12.2025)
95. АСКОН и «Трамплин Электроникс» выпустят первый в России инженерный ПАК на отечественном процессоре. – URL: <https://ascon.ru/news/2025/11/11/askon-i-tramplin-ehlektroniks-vypustyat-pervyj-v-rossii-inzhenernyj-pak-na-otechestvennom-processore/> (дата обращения: 01.12.2025)
96. Утверждена «дорожная карта» по направлению «Новое индустриальное программное обеспечение», реализуемая при координации Росатома // Ведомости. – URL: https://www.vedomosti.ru/press_releases/2022/12/19/utverzhdena-dorozhnaya-karta-po-napravleniyu-novoe-industrialnoe-programmnoe-obespechenie-realizuemaya-pri-koordinatsii-rosatoma (дата обращения: 15.12.2024)
97. Правительство перезапускает соглашения с крупнейшими компаниями о развитии отдельных высокотехнологичных направлений | Министерство экономического развития Российской Федерации. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/pravitelstvo_perezapuskayet_soglasheniya_s_krupneyshimi_kompaniyami_o_razvitii_otdelnyh_vysokotekhnologichnyh_napravleniy.html (дата обращения: 15.12.2024)
98. Подписано обновленное Соглашение о намерениях между Правительством РФ, Росатомом и «Ростехом» // Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». – URL:

https://www.rosatom.ru/journalist/news/v-tselyakh-razvitiya-napravleniya-novoe-industrialnoe-programmnoe-obespechenie-podpisano-obnovlennoe/?sphrase_id=3634258
(дата обращения: 25.12.2024)

99. В Правительстве подписаны соглашения о сотрудничестве по «дорожным картам» высокотехнологичных направлений // Правительство Российской Федерации. – URL: <http://government.ru/news/47466/> (дата обращения: 25.12.2024)
100. Импортозамещению дали денег. Возобновлено финансирование замены иностранного ПО на российское – CNews. – URL: https://itsupport.cnews.ru/news/top/2025-05-30_importozameshcheniyu_dali_deneg (дата обращения: 01.12.2025)
101. Минпромторг с 2026 г. рассчитывает возобновить субсидию для предприятий при переходе на российское ПО – ИА "Финмаркет". – URL: <https://www.finmarket.ru/news/6491116> (дата обращения: 01.12.2025)
102. Критическую информационную инфраструктуру хотят перевести на российское ПО до 2028 года. – URL: <https://www.interfax.ru/russia/1048245> (дата обращения: 01.12.2025)
103. Минцифры предложило продлить срок перехода объектов КИИ на российское ПО. – URL: <https://1prime.ru/20250919/ekonomika-862528334.html> (дата обращения: 01.12.2025)
104. Компании могут быть оштрафованы за непереход на российское ПО к 2028 году. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8194626> (дата обращения: 01.12.2025)
105. От кризиса к росту: инженерное и инфраструктурное ПО в России // ИТ Медиа ИТ-рынок. – URL: <https://www.it-world.ru/it-news/p2wa4recaio448ks00ockw8ggcw84so.html> (дата обращения: 23.12.2024)
106. Инженерное программное обеспечение (рынок России) // TAdviser. – URL: <https://www.tadviser.ru/a/138596> (дата обращения: 23.12.2024)
107. Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529 "Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий". – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202406180018?index=1> (дата обращения: 19.12.2024)
108. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 4 июля 2023 г. № 1789-р. – URL: <http://static.government.ru/media/files/hqIEFITdBhlzc2raFZUeDrbKoQAgpbMs.pdf> (дата обращения: 01.12.2025)
109. Боровков А. И., Мартынец Е.Р., Щербина Л.А., Хуторцова Е.Р., Рябов Ю. А., Кукушкин К.В., Нездоймышпако Л.А., Ожгибесова Д.Д., Чхеидзе Е.П., Поняева И.И., Павлова Е. И., Рождественский О.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). Экспертно-аналитический доклад : монография – 2025. – URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2025/06/30/2025_0630_cpim_kompozicionnyh_materialov_tekhnet.pdf (дата обращения: 08.11.2025)
110. Национальный проект «Новые материалы и химия». – URL: <https://национальныепроекты.рф/new-projects/novye-materialy-i-khimiya/> (дата обращения: 01.12.2025)
111. Национальный проект «Новые материалы и химия» – Правительство России. – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/931/about/> (дата обращения: 01.12.2025)

112. Стратегия-2035. Главные вызовы химической промышленности России. – URL: <https://sber.pro/publication/strategiya-2035-glavnie-vizovi-himicheskoi-promishlennosti-rossii/> (дата обращения: 01.12.2025)
113. Импортзамещение началось с молекул – Коммерсантъ. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7179883> (дата обращения: 01.12.2025)
114. План мероприятий по импортзамещению в промышленности композитных материалов (композитов) и изделий из них. – URL: <https://bod.frprf.ru/public/documents/plan-po-importozameshheniyu-v-otrasli-kompozitnykh-materialov> (дата обращения: 01.12.2025)
115. Анализ российского рынка композитных материалов: итоги 2023 г., прогноз до 2027 г. // РБК Магазин исследований. – URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/14733/> (дата обращения: 25.12.2024)
116. Проблемы импортзамещения в России в 2025 году. – URL: <https://digitalved.ru/newspage/problemy-importozameshcheniya-v-rossii-v-2025-godu/> (дата обращения: 01.12.2025)
117. Как развитие химпрома стимулирует российскую промышленность. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/12/09/2025/68c16a549a79470d15c414e3> (дата обращения: 01.12.2025)
118. Импортзамещение: полимеры и изделия – Портал Пластикс. – URL: <https://plastics.ru/publications/stati/importozameshchenie-polimery-i-izdeliya/> (дата обращения: 01.12.2025)
119. Поворот в мышлении: как в России замещают импортные материалы для авиации и космоса. – URL: <https://habr.com/ru/articles/695148/> (дата обращения: 25.12.2024)
120. Импортзамещение в полимерной отрасли: адаптация, инновации и перспективы роста // RUPEC. – URL: <https://rupec.ru/society/blogs/54298/> (дата обращения: 25.12.2024)
121. Новые материалы и химия: как нацпроект помогает импортзамещению – Инк.. – URL: <https://incussia.ru/specials/new-materials-and-chemistry/> (дата обращения: 01.12.2025)
122. В России импортзаместили десятки композитных материалов для авиации. – URL: <https://dzen.ru/a/aLGHVpml32RFFQQD> (дата обращения: 01.12.2025)
123. МС-21 взлетит на полностью российских композитах: импортзамещение завершено. – URL: <https://www1.ru/news/2025/11/03/ms-21-vzletit-na-polnostiu-rossiiskix-kompozitax-importozameshhenie-zaverseno.html> (дата обращения: 01.12.2025)
124. Импортзамещение в космосе: В России разработали отечественный композит для «Экспресс-АМУ4». – URL: <https://www.ixbt.com/news/2025/01/11/importozameshenie-v-kosmose-v-rossii-razrabotali-otechestvennyj-kompozit-dlja-jekspressamu4.html> (дата обращения: 01.12.2025)
125. СИБУР закрыл сделку по поглощению ТАИФа. – URL: <https://neftegaz.ru/news/Acquisitions/699627-sibur-zakryl-sdelku-po-pogloshcheniyu-taifa/> (дата обращения: 01.12.2025)
126. "Сибур" запустил пилотную установку по производству суперконструкционных пластиков. – URL: <https://rupec.ru/news/53904/> (дата обращения: 01.12.2025)

127. СИБУР и РЖД будут развивать применение композитных материалов в железнодорожной отрасли. – URL: <https://neftegaz.ru/news/partnership/891932-sibur-i-rzhd-budut-razvivat-primenenie-kompozitnykh-materialov-v-zheleznodorozhnoy-otrasli/> (дата обращения: 01.12.2025)
128. СИБУР разработал новую марку линейного полиэтилена для компаундирования. – URL: https://plastinfo.ru/information/news/56179_14.11.2025/ (дата обращения: 01.12.2025)
129. Российские полимеры 2025: производители, аналоги импорта, замена марок. – URL: <https://inner.su/articles/rossiyskie-polimery-2025-proizvoditeli-analogi-importa-zamena-marok/> (дата обращения: 01.12.2025)
130. В России запущено первое серийное производство термопластичных композитов. – URL: <https://science.mail.ru/news/4818-v-rossii-zapusheno-proizvodstvo-termoplastichnyh-kompozitov/> (дата обращения: 01.12.2025)
131. Павел Ляхович: ждем роста рынка полимеров в России на 4–5% в 2024 году. – URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/817/> (дата обращения: 01.12.2025)
132. В России идет локализация производства полимерных деталей для автопрома. Что поможет достичь полного импортозамещения?. – URL: <https://lenta.ru/articles/2025/09/17/v-rossii-idet-lokalizatsiya-proizvodstva-polimernyh-detaley-dlya-avtoproma/> (дата обращения: 01.12.2025)
133. «СИБУР» разработал новый суперпластик. – URL: <https://www.finam.ru/publications/item/sibur-razrabotal-novyy-superplastik-20250710-1247/> (дата обращения: 01.12.2025)
134. Импортозамещение: в России разработана своя САПР композитов – ЦИПР. – URL: <https://cipr.ru/news/importozameshhenie-v-rossii-razrabotana-svoya-sapr-kompozitov/> (дата обращения: 28.11.2025)
135. Рынок пластмасс в России: вызовы, перспективы и стратегия развития в 2025 году – статьи Группы «ДЕЛОВОЙ ПРОФИЛЬ». – URL: <https://delprof.ru/press-center/experts-pubs/rynok-plastmass-v-rossii-vyzovy-perspektivy-i-strategiya-razvitiya-v-2025-godu/> (дата обращения: 28.11.2025)
136. Мировой опыт и перспективы развития промышленного интернета вещей в России // Центр 2М. – URL: <https://center2m.ru/mirovoy-opyt-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 25.12.2024)
137. Эксперты STAQ выявили отрасли с максимальной эффективностью бизнес-процессов, благодаря использованию IoT-технологий – CNews. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-10-28_eksperty_staq_vyyavili_otrasli (дата обращения: 28.11.2025)
138. Перспективные цифровые технологии в промышленности: драйверы, барьеры, сценарии применения – Исследования – Strategy Partners. – URL: <https://strategy.ru/research/research/perspektivnye-cifrovyte-tehnologii-v-promyshlennosti-drajvery-barery-scenarii-primeneniya/> (дата обращения: 28.11.2025)
139. Промышленность столкнулась с кратным ростом веб-атак в 3 квартале – РБК Компании. – URL: <https://companies.rbc.ru/news/WttRmRfKLn/promyishlennost-stolknulas-s-kratnyim-rostom-veb-atak-v-3-kvartale/> (дата обращения: 28.11.2025)
140. IoT в России: проблемы, решения, тенденции – IT рынок – IT-World.ru. – URL: <https://www.it-world.ru/it-news/15zsby9rva5cgscgc0o0ssc088oo080.html> (дата обращения: 28.11.2025)

141. Цифровые риски для промышленности – 2025: кибератаки, импортозамещение ИТ, дефицит кадров. – URL: <https://www.mka.ru/categories/82/18803/> (дата обращения: 28.11.2025)
142. Аддитивные технологии перестраивают промышленность (21 июля 2025) – Monocle.ru. – URL: <https://monocle.ru/monocle/2025/33/additivnyye-tekhnologii-perestraivayut-promyshlennost/> (дата обращения: 28.11.2025)
143. Аддитивные технологии в России и в мире – аналитические материалы Группы «ДЕЛОВОЙ ПРОФИЛЬ». – URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/additivnyye-tekhnologii-v-rossii-i-v-mire/> (дата обращения: 28.11.2025)
144. Национальная промышленность и 3D-печать: как развивается рынок аддитивных технологий в России – Компьютерра. – URL: <https://www.computerra.ru/310980/natsionalnaya-promyshlennost-i-3d-pechat-kak-razvivaetsya-rynok-additivnyh-tehnologij-v-rossii/> (дата обращения: 28.11.2025)
145. Импортозамещение в небе: роль аддитивных технологий в создании отечественных авиационных компонентов. – URL: <https://indpages.ru/solutions/eemporzozamyeshyeneeye-v-nyebye/> (дата обращения: 28.11.2025)
146. Ольга Оспенникова: «Аддитивные технологии становятся ближе» – Энергетика и промышленность России – № 9-10 (485-486) май 2024 года. – URL: <https://www.eprussia.ru/epr/485-486/5799547.htm> (дата обращения: 28.11.2025)
147. 3D-печать в России импортозаместилась, но частично. – URL: <https://dzen.ru/a/Z2vPOX7nKAKENcP> (дата обращения: 28.11.2025)
148. Вопросы массового внедрения аддитивных технологий в промышленности подняла Ассоциация РАТ на форуме «Конвергентум-2025». – URL: <https://www.aatd.ru/news/voprosy-massovogo-vnedreniya-additivnykh-tehnologiy-v-promyshlennosti-podnyala-assotsiatsiya-rat-na/> (дата обращения: 28.11.2025)
149. Красиво, технологично, функционально: российский рынок аддитивных технологий на новом витке. – URL: <https://ria-stk.ru/ds/adetail.php?ID=243675> (дата обращения: 28.11.2025)
150. Стоит ли стремиться к полной независимости в аддитивном оборудовании. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6661922> (дата обращения: 28.11.2025)
151. Меры государственной поддержки – Ассоциация развития аддитивных технологий. – URL: <https://www.aatd.ru/financial-support/> (дата обращения: 28.11.2025)
152. Перспективы развития аддитивного производства в 2025 году. – URL: <https://www.aatd.ru/news/tendentsii-razvitiya-additivnogo-proizvodstva-v-2025-godu/> (дата обращения: 28.11.2025)
153. Ассоциация РАТ провела круглый стол в рамках конгресса «Русский инженер» в МГТУ им. Н.Э. Баумана. – URL: <https://www.aatd.ru/news/assotsiatsiya-rat-provela-kruglyy-stol-v-ramkakh-kongressa-russkiy-inzhener-v-mgtu-im-n-e-baumana/> (дата обращения: 28.11.2025)
154. Исследование рынка промышленной робототехники 2025. – URL: https://innopolis.university/filespublic/Industrial_Robotics_Market_Research_2025.pdf (дата обращения: 28.11.2025)
155. Объем господдержки роботизации промышленности в РФ превысит 43 млрд руб. до 2028 года. – URL: <https://neftegaz.ru/news/gosreg/903250-obem-gospodderzhki-robotizatsii-promyshlennosti-v-rf-prevysit-43-mlrd-rub-do-2028-goda/> (дата обращения: 28.11.2025)

156. В 2025 г. в России выпустят 700 промышленных роботов со статусом российской продукции. – URL: <https://neftegaz.ru/news/Oborudovanie/903428-v-2025-g-v-rossii-vypustyat-700-promyshlennykh-robotov-so-statusom-rossiyskoy-produktsii/> (дата обращения: 28.11.2025)
157. Федюнина А. А., Городный Н. А., Симачев Ю. В. Рынок промышленной робототехники в России под санкциями: в поиске драйверов спроса и предложения // ЭКО. – 2024. – Т. 54. – Вып. 2. – С. 91-107. – ISSN 0131-7652, 2686-7605. – DOI 10.30680/EC00131-7652-2024-2-91-107.
158. Нам не хватает «Росробота»: как России войти в топ-25 стран по уровню роботизации. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2025/09/22/nam-ne-hvataet-rosrobota-kak-rossii/> (дата обращения: 28.11.2025)
159. Российская промышленная робототехника: от импортозависимости к экспортному потенциалу. – URL: https://secrets.tbank.ru/blogi-kompanij/rossijskaya-promyshlennaya-robototehnika/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 28.11.2025)
160. Национальный проект «Средства производства и автоматизации» – Правительство России. – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/928/about/> (дата обращения: 28.11.2025)
161. В Госдуме обсудили стратегические инициативы по развитию робототехники. – URL: <https://robot-control.ru/tpost/5asn89in91-v-gosdume-obsudili-strategicheskie-inits> (дата обращения: 25.12.2024)
162. Минпромторг обязует отчитаться об эффективности роботов при получении субсидий – Ведомости. – URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2025/10/13/1146263-minpromtorg-snizhaet-trebovaniya-po-lokalizatsii-robotov> (дата обращения: 28.11.2025)
163. Новые центры развития промышленной робототехники откроются в Томске, Самаре и Фрязино. – URL: <https://media.innopolis.university/news/new-industrial-robotics-centers-autumn-2025/> (дата обращения: 28.11.2025)
164. Подведены итоги грантового конкурса на открытие новых Центров развития промышленной робототехники. – URL: <https://robotics-center.ru/novosti/podvedeny-itogi-grantovogo-konkursa> (дата обращения: 28.11.2025)
165. Руководство по точности измерений 3D-сканерами – SHINING 3D. – URL: <https://www.shining3d.ru/blog/tochnost-izmereniy-3d-skanerami/> (дата обращения: 26.12.2024)
166. Сравнение CAD-систем – ООО «ТеплоГенерация». – URL: <http://rosnaladka.ru/articles/65-sravnenie-cad-sistem.html> (дата обращения: 25.12.2024)
167. Инженерия будущего: интеграция данных, программного обеспечения и искусственного интеллекта. – URL: <https://nuancesprog.ru/p/26312/> (дата обращения: 27.11.2025)
168. Таблица возможностей ANSYS 2019 R3 – CAE Expert. – URL: <https://cae-expert.ru/brochures/tablica-vozmozhnostey-ansys-2019-r3> (дата обращения: 25.12.2024)
169. Kljajin M., Galeta T. Metrics for the PDM Functionality of ERP System // DS 32: Proceedings of DESIGN 2004, the 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia. – 2004. – P. 859-864.
170. Product Data Management: Strategies, Tools & Best Practices. – URL: <https://www.acceldata.io/blog/product-data-management-key-strategies-tools-and-best-practices#> (дата обращения: 25.12.2024)

171. Robot Specifications. – URL: <https://robotsdoneright.com/Articles/robot-specifications.html> (дата обращения: 25.12.2024)
172. What Metrics Are Used For Evaluating Robot Performance? IndMALL. – URL: <https://www.indmall.in/faq/what-metrics-are-used-for-evaluating-robot-performance/> (дата обращения: 25.12.2024)
173. Чечуга А.О. Параметры качества изделий, изготавливаемых методом аддитивных технологий // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – Вып. 4. – С. 501-504.
174. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие. – СПб. : Университет ИТМО, 2015. – 63 с. – URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1832.pdf> (дата обращения: 27.11.2025)
175. Методические рекомендации по внедрению и использованию промышленного интернета вещей для оптимизации контрольной (надзорной) деятельности (одобрены протоколом заседания проектного комитета по основному направлению стратегического развития Российской Федерации Реформа контрольной и надзорной деятельности от 09.11.2017 N 73(13)). – URL: <https://sudact.ru/law/metodicheskie-rekomendatsii-po-vnedreniiu-i-ispolzovaniuu-promyshlennogo/> (дата обращения: 27.11.2025)
176. ГОСТ Р 59853–2021 Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – URL: <https://protect.gost.ru/default.aspx/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=1&month=1&year=2022&search=&id=242079> (дата обращения: 06.12.2024)
177. Definition of Additive Manufacturing – Gartner Information Technology Glossary. – URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/additive-manufacturing> (дата обращения: 01.12.2024)
178. Что такое Big Data? // Издательский дом «ПостНаука». – URL: <https://postnauka.ru/faq/46974> (дата обращения: 08.12.2024)
179. Big Data // Gartner Information Technology Glossary. – URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data> (дата обращения: 20.12.2024)
180. ГОСТ 7.0–99 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно-библиотечная деятельность, библиография. Термины и определения» : Межгосударственный стандарт. Введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 7 октября 1999 г. № 334-ст. – Минск, 1999. – 1999. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/8548> (дата обращения: 06.12.2022)
181. ГОСТ Р 57269–2016 Интегрированный подход к управлению информацией жизненного цикла антропогенных объектов и сред. Термины и определения. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=205625> (дата обращения: 06.12.2024)
182. ГОСТ Р 56136–2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. – URL: <https://protect.gost.ru/v.aspx?control=7&id=188288> (дата обращения: 06.12.2024)
183. ГОСТ 2.101–2016 Единая система конструкторской документации. Виды изделий. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=204710> (дата обращения: 06.12.2024)
184. Internet Of Things // Gartner Information Technology Glossary. – URL: <https://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things> (дата обращения: 20.12.2024)

185. Accelerating the Industrial Internet with the OMG Data Distribution Service // Real-Time Innovations. – URL: <https://www.dre.vanderbilt.edu/~schmidt/PDF/Industrial-Internet.pdf> (дата обращения: 20.12.2024)
186. Промышленный интернет вещей // CSoft. – URL: <https://www.csoft.ru/soft/iiot.html> (дата обращения: 20.12.2024)
187. ПНСТ 518–2021 (ИСО/МЭК 20924:2018) Информационные технологии (ИТ). Интернет вещей. Термины и определения. – URL: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&id=239659> (дата обращения: 06.12.2024)
188. Что такое интернет вещей и в каких устройствах он используется? // АО «Лаборатория Касперского». – URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/definitions/what-is-iiot> (дата обращения: 20.12.2024)
189. ГОСТ Р 59277–2020 Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. – URL: <https://protect.gost.ru/default.aspx/v.aspx?control=7&id=239563> (дата обращения: 06.12.2024)
190. ГОСТ Р 57412–2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. – URL: <https://protect.gost.ru/default.aspx/v.aspx?control=7&id=206729> (дата обращения: 06.12.2024)
191. ГОСТ Р 57188–2016 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140574> (дата обращения: 08.12.2024)
192. ГОСТ Р 57700.3–2017 Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Термины и определения. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=217642> (дата обращения: 06.12.2024)
193. ГОСТ 2.052–2021 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения. – URL: <https://protect.gost.ru/default.aspx/document.aspx?control=7&baseC=6&page=0&month=3&year=2022&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=240552> (дата обращения: 06.12.2024)
194. Advanced Materials and Surface Finishing Processes – Kemet. – URL: <https://www.kemet.co.uk/blog/lapping/advanced-materials-and-surface-finishing-processes> (дата обращения: 20.12.2024)
195. Definition of Predictive Analytics – IT Glossary Gartner. – URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/predictive-analytics> (дата обращения: 27.11.2025)
196. Definition of Prescriptive Analytics – IT Glossary Gartner. – URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/prescriptive-analytics> (дата обращения: 27.11.2025)
197. ГОСТ Р 57700.2–2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения. – URL: <https://protect.gost.ru/default.aspx/v.aspx?control=7&id=217662> (дата обращения: 06.12.2024)
198. ISO 8373:2021(en), Robotics – Vocabulary. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en> (дата обращения: 25.12.2024)

199. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18038-2023 Информационные технологии. Компьютерная графика, обработка изображений и представление данных об окружающей среде. Представление сенсоров в смешанной и дополненной реальности. – URL: <https://meganorm.ru/Data/810/81051.pdf> (дата обращения: 01.12.2024)
200. Simulation Process and Data Management Will Drive Virtualization of Engineering Industry // ITC Infotech. – URL: <https://www.itcinfotech.com/wp-content/uploads/2020/12/simulation-process-and-data-management-will-drive-virtualization-of-engineering-industry-pov-ds2.pdf> (дата обращения: 20.12.2024)
201. Schönwald J., Forsteneichner C., Vahrenhorst D., Paetzold K. Improvement of Collaboration between Testing and Simulation Departments on the Example of a Motorcycle Manufacturer // Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design. – 2019. – Vol. 1. – Issue 1. – P. 149-158. – DOI 10.1017/dsi.2019.18.
202. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708030016> (дата обращения: 20.12.2024)
203. Product Data Management // CIMdata. – URL: <https://www.cimdata.com/en/resources/about-plm/cimdata-plm-glossary#PDM> (дата обращения: 20.12.2024)
204. Конструкторская подготовка производства // CSoft. – URL: <https://www.csoft.ru/soft/pdm.html> (дата обращения: 20.12.2024)
205. Product Lifecycle Management // CIMdata. – URL: <https://www.cimdata.com/en/resources/about-plm/cimdata-plm-glossary#PLM> (дата обращения: 20.12.2024)
206. ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – URL: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=7&id=241313> (дата обращения: 06.12.2024)
207. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.11.2023 г. № 3113-р. – URL: <http://government.ru/docs/all/150406/> (дата обращения: 25.02.2025)
208. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Определение, разработка и применение цифровых двойников: подход Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» // Цифровая подстанция. – 2019. – Вып. 12. – С. 20-25.
209. Рудник П.Б. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. – М. : Издательский дом Высшей школы экономики, 2021. – 239 с. – ISBN 978-5-7598-2510-4. – URL: <https://conf.hse.ru/mirror/pubs/share/463148459.pdf> (дата обращения: 15.12.2024)
210. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6662/> (дата обращения: 30.11.2024)

ИЗДАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СПБПУ



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-участницах 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 (ВИМ). 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 (CAPP-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. Ожгибесова, 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. Нездоймышапко; 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. Нездоймышапко, 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. Кобычно, Е.В. Бобрынина; 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 (PLM-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.

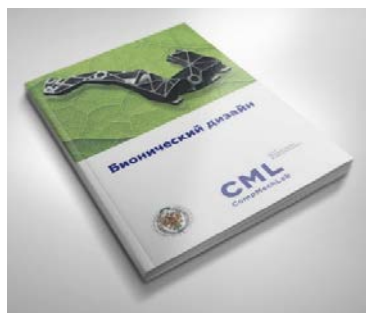


Передовые производственные технологии: возможности для России. Экспертно-аналитический доклад: монография / А.И. Боровков, К.В. Кукушкин, А.А. Корчевская, А.Т. Хуторцова, Л.А. Щербина, Ю.А. Рябов, С.В. Салкуцан, Е.О. Касяненко, И.С. Метревели, К.О. Вишневский, Ю.В. Туровец, М.С. Липецкая, Д.В. Санатов, 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. Мельникова, А.А. Михайлов, А.С. Немов, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с.



ОБ ИНФРАСТРУКТУРНОМ ЦЕНТРЕ НТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» СПБПУ

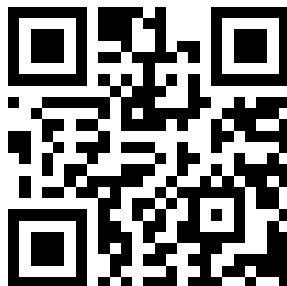
Инфраструктурный центр НТИ по направлению «Технет» СПбПУ (далее – Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ) создан в октябре 2024 года по итогам конкурсного отбора инфраструктурных центров направлений Национальной технологической инициативы (НТИ).

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
Хуторцова Екатерина Романовна
Рябов Юрий Александрович

**АРХИТЕКТУРА КРОСС-РЫНОЧНОГО,
КРОСС-ОТРАСЛЕВОГО НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ**

Экспертно-аналитический доклад