

ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В РОССИИ И СТРАНАХ – УЧАСТНИЦАХ БРИКС

Экспертно-аналитический доклад

ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В РОССИИ И СТРАНАХ – УЧАСТНИЦАХ БРИКС

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

Монография

ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2025

ББК 39.52/39.56
О14

Рецензенты:
Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор,
профессор Высшей школы проектной деятельности и инноваций в промышленности
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
И. Л. Туккель
Генеральный директор Союза авиапроизводителей России
А. Д. Рогозин
Генеральный директор АО «Инно-Агро», заместитель председателя
Индустриального центра компетенций «Беспилотные авиационные системы»
К. А. Шадрин
Генеральный директор АО «Технопарк Санкт-Петербурга»
О. Е. Якимов

Авторы:
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

Обзор применяемых технологий проведения цифровых испытаний элементов беспилотных систем в России и странах – участницах БРИКС. Экспертно-аналитический доклад : монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 248 с.

В отчете представлены результаты экспертно-аналитического исследования технологий проведения цифровых испытаний элементов беспилотных систем в России и странах БРИКС в рамках направления «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ. Разработана отраслевая модель технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ, систематизирующая ключевые компоненты создания высокотехнологичных изделий. Рассмотрены текущие тенденции развития цифровых технологий, применяемых при проектировании, производстве и эксплуатации беспилотных авиационных и морских систем, а также их роль в обеспечении технологического суверенитета. Представлен анализ рынков беспилотных систем: объемы и динамика развития, структура компаний-производителей, меры государственной поддержки и особенности сегментации по видам беспилотных систем. Особое внимание в исследовании уделено анализу технологий в странах БРИКС. Разработан реестр компаний, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по срезу технологий. Проведен анализ ключевых отечественных предприятий, а также тенденций развития малого и среднего предпринимательства в отрасли. В докладе подробно рассмотрены технологии проведения цифровых испытаний беспилотных систем: методики численного моделирования аэродинамики, аэроупругости, прочности и гидродинамики; применение технологий цифровых двойников; концепции испытаний X-in-the-Loop (XiL), Software-in-the-Loop (SiL), Hardware-in-the-Loop (HiL), Vehicle-in-the-Loop (ViL); создание цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов. Отдельно проанализированы вызовы отрасли, включая проблему недоверия к цифровым моделям, потребность в проведении дополнительных натурных испытаний для валидации и корректировки результатов цифровых тестов, задачи по управлению потоками данных и обеспечению их безопасности. Приведены перспективные направления внедрения цифровых решений в России в рамках плана мероприятий по реализации Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и Национального проекта «Беспилотные авиационные системы»: разработка интегрированного цифрового пространства БАС, разработка отечественной цифровой платформы для проектирования БАС и их компонентов. Отчет формирует целостное представление о современном состоянии и перспективах развития технологий проведения цифровых испытаний в сфере беспилотных систем и определяет ключевые задачи повышения качества отечественных разработок, ускорения их вывода на рынок и укрепления технологического суверенитета России и стран БРИКС.

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

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

© Боровков А. И., научное редактирование, 2025
© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2025

ISBN 978-5-7422-9270-8

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 7

ВВЕДЕНИЕ 9

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ СРЕЗА ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ И ДРУГИХ СТРАНАХ БРИКС 11

1.1. Модель технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий 11

1.2. Рынок беспилотных систем в странах БРИКС: оценки и прогнозы 19

1.3. Оценки и прогнозы развития рынка беспилотных систем в России 29

1.4. Ключевые цифровые технологии, применяемые в отрасли беспилотных систем, развитие и внедрение которых обеспечивает формирование технологического суверенитета государства 34

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ КОМПАНИЙ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОТОРЫХ НАПРАВЛЕНА НА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ПО СРЕЗУ ТЕХНОЛОГИЙ 42

2.1. Текущее состояние, структура ключевых игроков стран БРИКС 42

2.2. Компании – национальные лидеры (по странам БРИКС за исключением Российской Федерации) 46

2.3. Ключевые российские компании, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по срезу технологий 69

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧЕННЫХ В КРОСС-РЫНОЧНОЕ, КРОСС-ОТРАСЛЕВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ «ТЕХНЕТ» НТИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПРОВЕДЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ 80

3.1. Место и роль цифровых испытаний в жизненном цикле беспилотных систем 80

3.2. Ключевые методики численного моделирования физических процессов в контексте проведения цифровых испытаний изделий 86

3.3. Технологии построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, проведения цифровых испытаний беспилотных систем 94

3.4. Выводы и предложения 100

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 104

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА В СФЕРЕ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 108

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РЕЕСТР КОМПАНИЙ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОТОРЫХ НАПРАВЛЕНА НА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ПО СРЕЗУ ТЕХНОЛОГИЙ 113

ГЛОССАРИЙ 188

БИБЛИОГРАФИЯ 204

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Структура мирового рынка беспилотных систем в 2024 г. по сегментам, определяемым на основе среды применения %.....20

Рисунок 2. Объем мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2022–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2024–2030 гг., %.....22

Рисунок 3. Объем мирового рынка беспилотных морских систем в 2022-2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2024–2030 гг., %.....23

Рисунок 4. Структура мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2024 г. в разрезе отдельных стран БРИКС, %.....24

Рисунок 5. Структура рынка беспилотных авиационных систем в 2024 г. в странах БРИКС, %.....24

Рисунок 6. Рейтинг стран БРИКС по объему рынка беспилотных авиационных систем в 2024 г., млрд долл.....25

Рисунок 7. Структура мирового рынка производства беспилотных аппаратов в 2024 г. в разрезе стран БРИКС, %.....26

Рисунок 8. Объем рынка беспилотных авиационных систем в Китае в 2022–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2024–2030 гг., %.....28

Рисунок 9. Объем рынка беспилотных авиационных систем в Китае в 2023–2029 гг., млрд долл.; CAGR в 2024–2029 гг., %.....28

Рисунок 10. Объем рынка подводной робототехники в Китае в 2014–2024 гг., млрд долл. и соответствующие им значения CAGR, %.....29

Рисунок 11. Объем рынка беспилотных авиационных систем гражданского назначения в России в 2022–2030 гг., млрд руб.; CAGR в 2024–2030 гг., %.....30

Рисунок 12. Объем рынка беспилотных авиационных систем в России в 2022–2030 гг. (консервативный сценарий), млрд руб.; CAGR в 2024–2030 гг., %.....31

Рисунок 13. Объем рынка беспилотных авиационных систем в России в 2022–2030 гг. (оптимистичный сценарий), млрд руб.; CAGR в 2024–2030 гг., %.....32

Рисунок 14. Объем государственных закупок в области подводной робототехники в России в 2015, 2019 и 2022 гг., млрд руб. и соответствующее ему значение CAGR (2015–2022 гг.), %.....33

Рисунок 15. ТОП-5 компаний – мировых лидеров в сфере производства гражданских беспилотных воздушных судов, % от оценки в баллах позиций компании – абсолютного лидера.....43

Рисунок 16. Структура российских производителей беспилотных авиационных систем в 2025 г. в зависимости от размера предприятия, ед.....43

Рисунок 17. Рейтинг стран БРИКС по числу компаний – производителей беспилотных систем, ед.....45

Рисунок 18. Структура компаний – производителей беспилотных систем в разрезе стран БРИКС, %.....45

Рисунок 19. Структура российских компаний – разработчиков в отрасли БАС в 2024 г. по областям специализации, %.....70

Рисунок 20. ТОП-10 регионов Российской Федерации по числу предприятий – производителей БАС и их компонентов в 2025 г., %.....70

Рисунок 21. Российские компании – лидирующие производители БПЛА гражданского назначения, % (доля рынка).....71

Рисунок 22. Схема трансформации места цифрового моделирования в жизненном цикле продукта.....82

Рисунок 23. Архитектура отраслевой модели технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ.....108

Рисунок 24. Архитектура отраслевой модели технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ: логика определения уровней.....109

Рисунок 25. Модель технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ (срез 1/3).....110

Рисунок 26. Модель технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ (срез 2/3).....111

Рисунок 27. Модель технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ (срез 3/3).....112

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Структурно-функциональная модель экосистемы «Технет»....14

Таблица 2. Оценки и прогнозы объемов мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2023–2030 гг....21

Таблица 3. Оценки и прогнозы объемов мирового рынка беспилотных морских систем в 2023–2030 гг....22

Таблица 4. Оценки и прогнозы объемов мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2023–2030 гг., в том числе в разрезе отдельных стран БРИКС....23

Таблица 5. Сводные оценки и прогнозы объемов рынка беспилотных авиационных систем в 2024–2030 гг. в разрезе стран БРИКС....25

Таблица 6. Оценки и прогнозы объемов мирового рынка производства беспилотных аппаратов в 2023–2029 гг. в разрезе стран БРИКС....27

Таблица 7. Ключевые технологии, применяемые в отрасли беспилотных систем, развитие и внедрение которых обеспечивает формирование технологического суверенитета государства....37

Таблица 8. Перечень компаний – национальных лидеров из стран БРИКС в области технологий, критически важных для разработки и производства беспилотных авиационных систем, а также беспилотных надводных и подводных аппаратов....46

Таблица 9. Перечень российских компаний – национальных лидеров в области разработки и производства беспилотных авиационных систем, а также беспилотных надводных и подводных аппаратов....72

Таблица 10. Ключевые методики численного моделирования физических процессов в контексте проведения цифровых испытаний изделий по данным актуальных научных публикаций....87

Таблица 11. Примеры применения технологий построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, проведения цифровых (виртуальных) испытаний в контексте беспилотных систем....95

Таблица 12. Информация о компаниях, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по срезу технологий, по России и другим странам БРИКС....113

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
БАС	Беспилотная авиационная система [1]	-
БВС	Беспилотное воздушное судно [1]	-
БЛА (БпЛА)	Беспилотный летательный аппарат [1]	-
БМС	Беспилотная морская система	-
ВИС	Цифровые (виртуальные) испытательные стенды	-
ВИП	Цифровые (виртуальные) испытательные стенды	-
НИОКР	Научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа	-
ПО	Программное обеспечение	-
ППТ	Передовые производственные технологии	-
ЦП РПЦД БАС	Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников беспилотных авиационных систем	-
AI	Artificial Intelligence	Искусственный интеллект (ИИ)
APS	Advanced Planning and Scheduling	Программы производственного планирования [2], Технологии производственного планирования [3]
AR	Augmented Reality	Дополненная реальность
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight	Эксплуатация беспилотного воздушного судна вне прямой видимости (за пределами прямой видимости) [1]
CAD	Computer-Aided Design	Средства автоматизированного проектирования [2], Системы автоматизированного проектирования (САПР)*
CAE	Computer-Aided Engineering	Средства инженерного анализа [2], Системы инженерного анализа*
CAM	Computer-Aided Manufacturing	Средства управления оборудованием с числовым программным управлением [2], Системы автоматизации изготовления / производства*
DT	Digital Twin	Цифровой двойник (ЦД) [ГОСТР 57700.37-2021]

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
HiL	Hardware-in-the-Loop	Метод тестирования «аппаратного обеспечения в контуре»
HPC	High Performance Computing	Суперкомпьютерный инжиниринг / Высокопроизводительные вычисления
IIoT	Industrial Internet of Things	Промышленный интернет вещей
MBSE	Model Based Systems Engineering	Модельно-ориентированный системный инжиниринг
MES	Manufacturing Execution Systems	Средства управления производственными процессами [2], Системы управления производством [3], Система организации производства [ГОСТ Р ИСО 16100-1-2012]
PDM	Product Data Management	Средства управления инженерными данными об изделии [2], Системы управления данными об изделии*
PLM	Product Lifecycle Management	Средства управления жизненным циклом изделия [2], Системы управления жизненным циклом изделия*
SiL	Software-in-the-Loop	Метод тестирования «программного обеспечения в контуре»
SPDM	Simulation Process and Data Management	Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования [2]
ViL	Vehicle-in-the-Loop	Метод тестирования «транспортного средства в контуре»
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	Беспилотное воздушное судно вертикального взлета и посадки
XiL	X-in-the-Loop	Виртуальная испытательная установка, в которой тестируемый компонент или система интегрируется в замкнутый цикл с виртуальной средой

* Классификатор ПО (в ред. Приказов Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 22.09.2020 № 486, 26.04.2022 № 393, от 22.12.2022 № 974)

ВВЕДЕНИЕ

Экспертно-аналитический доклад «Обзор применяемых технологий проведения цифровых испытаний элементов беспилотных систем в России и странах-участницах БРИКС», подготовленный Инфраструктурным центром «Технет» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, направлен на всестороннее исследование современного состояния, динамики развития и технологических особенностей рынка беспилотных систем, а также цифровых технологий, применяемых на всех этапах их жизненного цикла — от проектирования и производства до эксплуатации.

Результаты исследования вносят значимый вклад в формирование научно-технологического задела Российской Федерации и служат достижению стратегических целей, связанных с укреплением технологического лидерства и обеспечением технологического суверенитета страны в условиях усиливающейся глобальной конкуренции.

Объектом анализа выступают беспилотные системы различного назначения — летательные, надводные и подводные аппараты. Тематическая фокусировка исследования охватывает цифровые технологии, обеспечивающие разработку, производство и эксплуатацию беспилотных авиационных и морских систем, включая методы цифрового проектирования и моделирования, проведения цифровых (виртуальных) испытаний.

Методологической основой доклада является разработанная модель технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий, сформированная в рамках направления «Технет» Национальной технологической инициативы (НТИ). В соответствии с определением, представленном в дорожной карте «Технет 4.0», передовые производственные технологии – комплекс высокотехнологичных процессов проектирования и изготовления индивидуализированных материальных объектов на основе цифрового моделирования, новых материалов, аддитивных технологий, робототехники, сенсорики, индустриального Интернета, Big Data и других решений, обеспечивающих переход от «цифровой фабрики» (Digital Factory) к «умной фабрике» (Smart Factory) и «виртуальной фабрике» (Virtual Factory) будущего.

В рамках исследования проведен анализ текущего состояния и динамики развития рынка беспилотных систем в странах БРИКС и расширенном составе объединения — Бразилии, России, Индии, Китае (КНР), Южно-Африканской Республике (ЮАР), Объединённых Арабских Эмиратах (ОАЭ), Иране, Египте, Эфиопии и Индонезии. Особое внимание уделено выявлению ключевых игроков и национальных лидеров, а также определению перспективных направлений развития технологий цифровых испытаний в сфере беспилотных систем и обеспечению технологического суверенитета в данной области.

Доклад включает три аналитические главы:

- Глава 1 посвящена анализу текущего состояния и динамики развития среза технологий в России и других странах БРИКС, применяемых в отрасли беспилотных систем, включая оценки и прогнозы развития рынка.
- Глава 2 рассматривает деятельность компаний, ориентированных на решение задач обеспечения технологического суверенитета в области разработки и производства беспилотных систем по срезу технологий.
- Глава 3 представляет анализ технологий кросс-рыночного и кросс-отраслевого направления

«Технет» НТИ, обеспечивающих проведение цифровых испытаний изделий в процессе разработки беспилотных систем.

Цифровые испытания становятся ключевым инструментом повышения эффективности разработки и производства сложных технических систем. Они позволяют сократить сроки вывода изделий на рынок, снизить себестоимость и повысить надежность решений, что напрямую влияет на конкурентоспособность национальной промышленности. В этом контексте технологии цифрового проектирования и моделирования, цифровых двойников, проведения цифровых испытаний, разработки цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов выступают основой современного промышленного стандарта, при котором значительная часть испытательных процедур переносится в цифровую среду.

В рамках исследования выделены ключевые направления, обеспечивающие проведение цифровых испытаний и поддержку полного жизненного цикла беспилотных систем:

- методы численного моделирования физических процессов в частях аэродинамики, аэроупругости, гидродинамики, аэрогидродинамики и прочности материалов, включая распространение многоуровневых моделей и ROM-моделей (Reduced Order Models, модели пониженного порядка) для повышения эффективности расчетов;
- технологии цифровых двойников изделий и их компонентов, в том числе для мониторинга нагрузок и состояния конструкций в реальном времени, уточнения моделей и реализации планового обслуживания;
- цифровые (виртуальные) испытательные стенды (ВИС) и полигоны (ВИП), а также методики испытаний в контуре X-in-the-Loop (SiL, HiL, ViL), формирующие основу для цифровых испытательных установок; переход к «цифровой сертификации»;
- интеграцию технологий искусственного интеллекта (ИИ) для ускорения оптимизации, идентификации моделей по телеметрии и разработки адаптивных систем управления;
- сопряженные технологические области, критичные для беспилотных авиационных систем (далее – БАС) и беспилотных морских систем (далее – БМС): системы управления (включая решения на основе ИИ), технологии связи (в том числе использование 5G и спутниковых систем), силовые установки и батареи, а также высокотехнологичные композиционные материалы.

Развитие этих направлений определяется растущим запросом на создание интеллектуальных, автономных и безопасных беспилотных систем, способных работать в сложных условиях и обеспечивать высокий уровень технологической готовности при минимальных издержках. Актуальность доклада усиливается национальными мерами поддержки, направленными на ускорение роста отрасли: создаются научно-производственные центры, реализуются инициативы в рамках Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации до 2030 года и Национального проекта технологического лидерства «Беспилотные авиационные системы». Эти программы формируют инфраструктуру полного цикла — от исследований и цифровых испытаний до сертификации и вывода продукции на рынок.

Таким образом, представленный доклад объединяет аналитическую, технологическую и стратегическую составляющие, формируя целостное представление о состоянии и перспективах развития технологий цифровых испытаний беспилотных систем в России и странах БРИКС.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ СРЕЗА ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ И ДРУГИХ СТРАНАХ БРИКС

В рамках настоящего раздела на основании общей модели технологического суверенитета Национальной технологической инициативы сформирована структура, соответствующая кросс-рыночному, кросс-отраслевому направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ.

В настоящем отчете рассматривается группа беспилотных систем, в состав которой входят беспилотные летательные аппараты (БпЛА), а также беспилотные надводные и подводные аппараты. Областями тематической фокусировки настоящего исследования являются цифровые технологии, применяемые при разработке, производстве и эксплуатации беспилотных систем.

Для определения потенциала и перспективных направлений в области обеспечения технологического суверенитета в рамках направления «Технет» НТИ, обеспечивающих проведение цифровых (виртуальных) испытаний беспилотных систем, проводится анализ текущего состояния и динамики развития рынка беспилотных систем в странах БРИКС, в т.ч. по странам: Бразилия, Россия, Индия, Китай (КНР), Южно-Африканская Республика (ЮАР), Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ), Иран, Египет, Эфиопия и Индонезия.

Анализ текущего состояния и динамики развития среза технологий в России и других странах БРИКС проводится по следующим блокам (подразделам):

- модель технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий;
- рынок беспилотных систем в странах БРИКС: оценки и прогнозы;
- оценки и прогнозы развития рынка беспилотных систем в России;
- ключевые цифровые технологии, применяемые в отрасли беспилотных систем, развитие и внедрение которых обеспечивает формирование технологического суверенитета страны.

1.1. Модель технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий

В последние годы категория «технологический суверенитет» активно вошла в мировой научный, аналитический и публичный дискурс [8–10]. В частности, д. э. н., главный научный сотрудник Института прикладных экономических исследований РАНХиГС при Президенте Российской Федерации В.К. Фальцман определяет технологический суверенитет как «способность того или иного вида экономической деятельности обеспечить народное хозяйство своей продукцией надлежащего качества, пусть даже частично за счет ее импортных поставок, но при обязательном условии возмещения импортных затрат за счет поступлений от реализации собственного экспорта [9]». В определении, предлагаемом к.т.н., заместителем генерального директора по развитию ООО «Петербургский машиностроительный завод» М.Н. Петровым и управляющим директором Блока среднего и малого бизнеса ПАО «Промсвязьбанк» Я.С. Филипповым технологический суверенитет описывается как «основополагающий фактор геополитического развития государств в текущем столетии, являющийся производной когнитивного суверенитета и основанный на независимом, ресурсообеспеченном воспроизводстве национальной наукой и экономикой системообразующих знаний и технологий [11]».

Нормативное определение технологического суверенитета закреплено, в частности, в рамках Указа Президента Российской Федерации от 28.02.2024 №145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [12], согласно которому под суверенитетом Российской Федерации в технологической сфере (технологическим суверенитетом) понимается «способность государства создавать и применять наукоемкие технологии, критически важные для обеспечения независимости и конкурентоспособности, и иметь возможность на их основе организовать производство товаров (выполнение работ, оказание услуг) в стратегически значимых сферах деятельности общества и государства [12]». Кроме того, определение технологического суверенитета приводится в рамках Концепции технологического развития до 2030 года, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 №1315-р [13]. В рассматриваемом случае технологический суверенитет понимается как «наличие в стране (под национальным контролем) критических и сквозных технологий собственных линий разработки и условий производства продукции на их основе, обеспечивающих устойчивую возможность государства и общества достигать собственные национальные цели развития и реализовывать национальные интересы [13]».

Необходимо отметить также, что в официальных материалах НТИ приводится интегрированное определение технологического суверенитета как «способности страны разрабатывать и применять критически важные технологии, чтобы оставаться независимой и конкурентоспособной [14]».

В рамках настоящего раздела для формирования модели технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий используется методологический подход, разработанный экспертами НТИ [14, 15], а также общая модель технологического суверенитета государства, разработанная на базе указанного подхода. В качестве основы для построения национальной модели суверенного технологического развития взята пирамида Маслова, на базе которой специалистами НТИ [14, 15] сформирована иерархия ключевых задач страны/государства. Архитектура вышеуказанной модели предполагает структурирование направлений и областей, которые будут оказывать наиболее значимое влияние на технологический суверенитет на горизонте 2030–2036 гг., в 9 базовых групп в соответствии с 5 выделенными уровнями государственных задач:

- первый уровень – задачи, направленные на удовлетворение базовых потребностей граждан и обеспечение устойчивого функционирования экономики: производство, добыча, переработка и распределение энергии, воды и полезных ископаемых:
    - энергетика;
    - производство;
- второй уровень – задачи, связанные с обеспечением безопасности и здоровья граждан:
    - биотехнологии и медицина;
    - цифровые сервисы;
- третий уровень – задачи, направленные на обеспечение международного сотрудничества, связи и транспорта:
    - технологии связи;
    - транспортные технологии;
- четвертый уровень – задачи по обеспечению экономического, научного, международного

престижа, в том числе за счет поддержки науки и исследований, признания заслуг; институты репутации и доверия:

    - климатические технологии;
    - модели государственного / муниципального / общественного управления;

- пятый уровень – участие в решении глобальных вопросов международной повестки:

    - модели мышления и восприятия [14, 15].

При этом отраслевая модель технологического суверенитета (также подходящая для структурирования технологий межотраслевых доменов) в рамках указанного подхода предполагает три макроуровня: базовые ресурсы; жизненный цикл отрасли; цивилизационное целеполагание [14].

Под передовыми производственными технологиями (ППТ), согласно определению, представленному в рамках дорожной карты «Технет 4.0» Национальной технологической инициативы [16], формирующей контуры развития ППТ в России, понимается «комплекс процессов проектирования и изготовления на современном технологическом уровне кастомизированных (индивидуализированных) материальных объектов (товаров) различной сложности – основанных на комплексе мультидисциплинарных знаний, наукоемких технологий и системы интеллектуальных ноу-хау – в первую очередь цифрового моделирования и проектирования, новых материалов и аддитивных технологий с последующим добавлением к этой цепочке новых технологических элементов – робототехники, сенсорики, Big Data, индустриального Интернета, прочих ППТ, обеспечивающих переход от цифрового (Digital Factory) к «умному» (SmartFactory) и/или виртуальному (Virtual Factory) уровню «фабрики будущего» [16]».

Соответственно, в качестве базы для определения перечня ключевых технологий при формировании модели технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий рассматриваются, прежде всего, следующие нормативно-правовые акты:

- Дорожная карта «Технет 4.0» Национальной технологической инициативы [16];
- Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 №145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [12];
- Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 №309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [17];
- Указ Президента РФ от 18.06.2024 №529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» [18];
- Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года) [19];
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 №1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года» [13];
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.11.2023 №3113-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности» [20];
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 №1913-р «Об утверждении Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до

2030 года» [21];

- Федеральный закон от 22.06.2024 №144-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в части определения областей промышленного дизайна и деятельности инжиниринговых организаций (инжиниринговых центров)) [22];
- Дорожная карта по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» [23];
- Дорожная карта по развитию «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности» [24];
- Дорожная карта развития высокотехнологичной области «Новые производственные технологии» (утверждена решением президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 23.07.2021) [25];
- Дорожная карта развития высокотехнологичной области «Новое индустриальное программное обеспечение» (НИПО) (последняя редакция утверждена протоколом заочного голосования членов президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 11.04.2024 № 16пр) [26];
- Национальный проект «Новые материалы и химия» [27];
- Дорожная карта развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ» (утверждена решением коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации от 19.12.2022 №ВПК-35р) [28];
- Федеральный проект «Развитие промышленной робототехники и автоматизации производства» [29, 30];
- Федеральный проект «Искусственный интеллект» [31].

В Таблице 1 представлена многоуровневая архитектура дорожной карты «Технет» НТИ, систематизирующая ключевые компоненты создания высокотехнологичных продуктов.

Таблица 1. Структурно-функциональная модель экосистемы «Технет»

Макроуровень (НТИ)	№	Уровень (Технет)	Компоненты	Пояснение / обоснование / комментарий
Цивилизационное целеполагание	1	Концептуальный уровень, управление сложностью в промышленности	Достижение технологического лидерства в области передовых цифровых и производственных технологий, высокотехнологичных изделий. Системный цифровой инжиниринг на основе технологий цифровых двойников и искусственного	Цивилизационная и концептуальная рамка реализации ДК «Технет» и развития передовых цифровых и производственных технологий.

Макроуровень (НТИ)	№	Уровень (Технет)	Компоненты	Пояснение / обоснование / комментарий
			интеллекта [(DT & AI)-Driven] MBSE-based Digital Engineering. Системный цифровой инжиниринг на основе технологии цифровых двойников (DT, MBSE-based Digital Engineering).	
Государственный уровень	2.1	Управление сложностью в промышленности	Регулирование политики взаимодействия между участниками разработки и применения цифровых двойников (эталонные требования к цифровым двойникам (ЦД), регулирование вопросов владения ЦД, передачи данных и т.д.).	
Государственный уровень	2.2	Нормативный	• «цифровая сертификация» (DigiCert); • цифровая документация (Digital Documentation, DD); • отраслевые стандарты (Std); • регулирующие НПА (Law).	Нормативно-административная рамка, обеспечивающая управление областью ППТ с учетом мировой повестки (политика, нормы, требования и тенденции).
Жизненный цикл	3	Организационный	• цифровая фабрика (Digital Factory, DF); • испытательные стенды и испытательные полигоны; • гибкая производственная ячейка (Flexible Manufac-turing System, FMM); • умная фабрика (Smart Factory, SF); • виртуальная фабрика (Virtual Factory, VF).	Организационная рамка функционирования передовых процессов разработки и производства.

Макроуровень (НТИ)	№	Уровень (Технет)	Компоненты	Пояснение / обоснование / комментарий
Жизненный цикл	4.1	Передовые цифровые технологии разработки изделий (Smart Design)	• технологии цифровых двойников (Digital Twin, DT); • системный цифровой инжиниринг (MBSE-based Digital Engineering); • системный инжиниринг (System Engineering, SE) и модельно-ориентированный системный инжиниринг (Model Based Systems Engineering, MBSE); • математическое, компьютерное и суперкомпьютерное моделирование; • верификация, валидация и адекватность математических и компьютерных моделей; • цифровые (виртуальные) испытания; • цифровые (виртуальные) испытательные стенды; • цифровые (виртуальные) испытательные полигоны; • программно-технологическая / цифровая платформа.	Передовые цифровые технологии разработки изделий.
Жизненный цикл	4.2	Передовые технологии работы с данными	• хранение и анализ больших данных (Big Data, BD); • распределенные реестры (BC);	«Базовые» технологии, обеспечивающие работу с данными и информацией.

Макроуровень (НТИ)	№	Уровень (Технет)	Компоненты	Пояснение / обоснование / комментарий
			• искусственный интеллект (Artificial Intelligence, AI).	
Жизненный цикл	4.3	Передовые технологии связи и интерфейсы	• беспроводная связь (XG); • перспективные системы связи (CS); • расширенная реальность (Extended Reality, XR – виртуальная, дополненная и смешанная реальность, VR, AR, MR); • технологии доверенного взаимодействия (ТС).	«Базовые» технологии, обеспечивающие обмен / передачу данных
Жизненный цикл	4.4	Технологии «умного» производства (Smart manufacturing)	• промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT); • станкостроение; • робототехника и мехатроника (RB); • аддитивные технологии (AT).	Передовые технологии «умного» производства.
Жизненный цикл	4.5	«Программный» базис (индустриальное ПО)	• CAD (Computer-Aided Design, Средства / системы автоматизированного проектирования, САПР); • CAE (Computer-Aided Engineering, Средства / системы инженерного анализа), CAO (Computer-Aided Optimization, Средства оптимизации (компьютерные технологии оптимизации)); • SPDM (Simulation Process and Data Management, Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования); • CAM (Computer-Aided Manufacturing, Средства	Индустриальное ПО, обеспечивающее передовые процессы разработки и производства.

Макроуровень (НТИ)	№	Уровень (Технет)	Компоненты	Пояснение / обоснование / комментарий
			управления оборудованием с числовым программным управлением), CAAM (Computer-Aided Additive Manufacturing, Моделирование технологических процессов аддитивного производства); • PLM/PDM (Product Lifecycle Management, Системы управления жизненным циклом изделия / Product Data Management, Системы управления данными об изделии); • MES (Manufacturing Execution Systems, Системы управления производством); • SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, Автоматизированные системы диспетчерского управления технологическими процессами и сбора данных, АСУ ТП); • ERP (Enterprise Resource Planning, Средства / Системы управления ресурсами предприятия); • APS (Advanced Planning and Scheduling, Программы производственного планирования); • HPC (High Performance Computing, Высокопроизводительные вычисления).	

Макроуровень (НТИ)	№	Уровень (Технет)	Компоненты	Пояснение / обоснование / комментарий
Базовые ресурсы	5	«Физический» базис (Enabling)	• микроэлектроника и фотоника (ME); • сенсорика (Sn); • электроника и электронное оборудование (El); • Advanced Materials (AdvMat).	Основа современного производства на уровне передовых материалов и компонентов.

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ, 2025

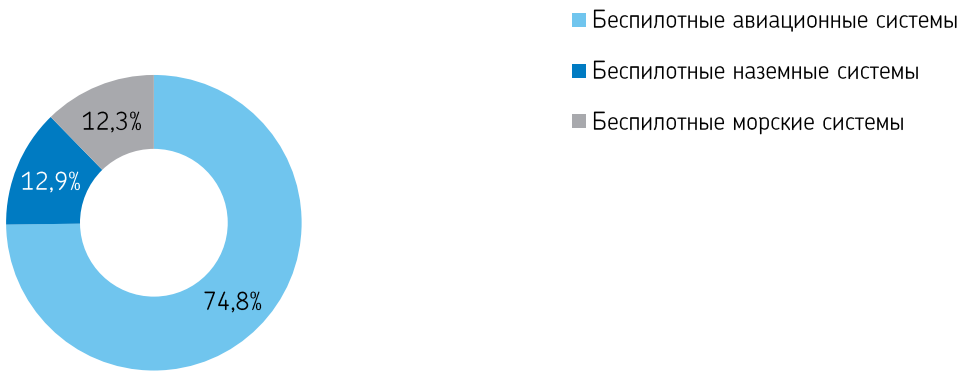
Визуальное представление многоуровневой архитектуры дорожной карты «Технет» (НТИ) приведено в Приложении 1 к настоящему отчету «Модель технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий». Ключевые направления и области применения обозначенных технологий включают, прежде всего, отрасли машиностроения, которые в соответствии с государственным реестром научно-технической информации (ГРНТИ) [32] охватывают такие отрасли, как автомобилестроение и электротранспорт, авиастроение и вертолетостроение, двигателестроение, энергомашиностроение, атомное, нефтегазовое и нефтехимическое машиностроение, железнодорожный транспорт, сельско-хозяйственное, тяжелое и специальное машиностроение, станкостроение, судостроение и кораблестроение, морскую технику и др. Необходимо выделить направление беспилотных технологий, которое требует отдельного рассмотрения.

1.2. Рынок беспилотных систем в странах БРИКС: оценки и прогнозы

По состоянию на 2024 г., по данным международного консалтингового агентства Markets and Markets [33], объем мирового рынка беспилотных систем оценивался в 27,1 млрд долл. При этом к 2030 г. ожидается рост общего объема рынка до 43,5 млрд долл. Прогнозируемый среднегодовой темп прироста рынка в 2024–2030 гг. составит 8,2% [33]. В то же время международная маркетинговая организация Mordor Intelligence [34] оценивает объем мирового рынка беспилотных систем в 2025 г. в 25 млрд долл. В 2025–2030 гг. среднегодовой темп прироста рынка, по оценкам специалистов Mordor Intelligence, составит 13,3%, что позволит к 2030 г. достичь объема в 46,8 млрд долл. [34].

В зависимости от среды применения беспилотные системы можно разделить на космические, воздушные, наземные и водные (надводные и подводные) [35, 36]. При этом в научном контексте особое внимание уделяется мультисредовым беспилотным системам [37–39]. В качестве ключевых рыночных сегментов беспилотных систем, в то же время, как правило, выделяются воздушные (авиационные), наземные и водные или морские (Рисунок 1).

Рисунок 1. Структура мирового рынка беспилотных систем в 2024 г. по сегментам, определяемым на основе среды применения %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Mordor Intelligence [34], 2025

Необходимо отметить, что конкретные численные оценки объемов рынка могут существенно различаться в зависимости от применяемой методики и доступных данных, даже в рамках исследований, проводимых одной организацией. Так, оценки Markets and Markets [40], приведенные в ходе анализа мирового рынка БАС в 2024 г., превышают значения соответствующих показателей для рынка беспилотных систем в целом (30,2 млрд долл. [40] по сравнению с 27,1 млрд долл. [33], отмеченными ранее). Согласно отчету Mordor Intelligence, посвященному анализу рынка беспилотных систем, сегмент БАС в 2024 г. оценивался в 18,7 млрд долл. [34], в то время как в профильном исследовании рынка беспилотной авиации приводится значение 12,4 млрд долл. по состоянию на 2025 г. при отмеченном росте рынка [41]. Кроме того, важно учитывать, что в международной практике маркетинговых исследований достаточно размыты границы между рынками «автономных аппаратов» (беспилотных воздушных и водных судов, а также наземных транспортных средств и услуг, оказываемых с их помощью) и «автономных систем» (включающих в себя также средства управления, в т.ч. внешнего и удаленного, и средства осуществления взлета и посадки или наводную/наземную станции).

Областями тематической фокусировки настоящего исследования, как было сказано выше, являются цифровые технологии, применяемые при разработке, производстве и эксплуатации беспилотных авиационных систем (в т.ч. беспилотных летательных аппаратов), а также беспилотных морских систем (в т.ч. беспилотных надводных и подводных аппаратов) в странах БРИКС. Беспилотные наземные системы подробнее рассмотрены в таких работах, как [42–45].

Тот факт, что доминирующим сегментом глобального рынка беспилотных систем являются беспилотные авиационные системы, подчеркивает ряд консалтинговых организаций [33, 34]. Ключевые оценки объемов мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2023–2024 гг. и на перспективу до 2030 г. приведены в Таблице 2.

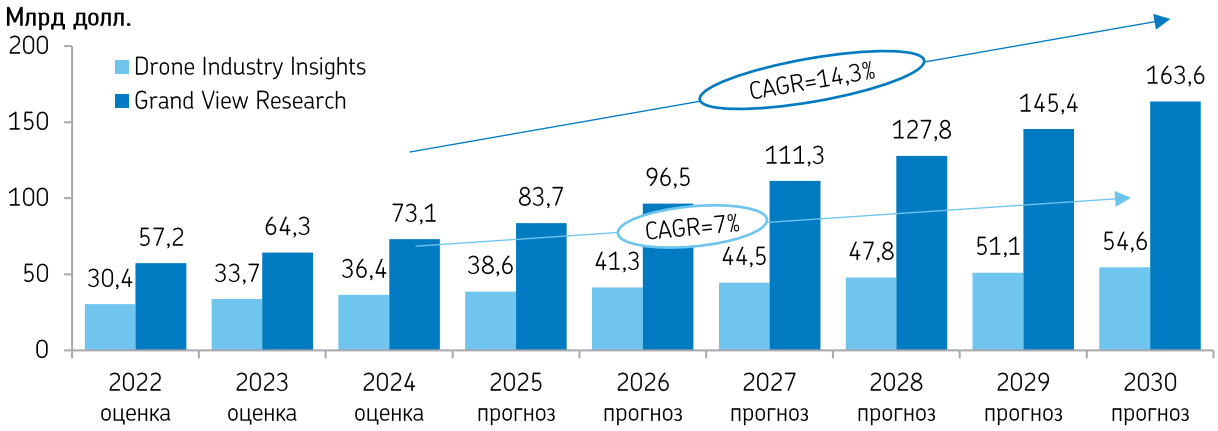
Таблица 2. Оценки и прогнозы объемов мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2023–2030 гг.

Организация	Год публикации отчета	Объем рынка, млрд долл.				CAGR	Прогнозный период
		Оценка		Прогноз			
		2023	2024	2029	2030		
Drone Industry Insights [46, 47]	2023	33,7	36,4	51,1	54,6	7,1%	2023-2030
Markets and Markets [40]	2024	28,2	30,2	48,5	-	9,9%	2024-2029
Mordor Intelligence [34, 41]	2025	-	18,7	-	20,7	10,8%	2025-2030
Market.us Scoop [48]	2024	33,4	36,8	59,6	65,6	10,1%	2024-2033
Grand View Research [49]	2024	73,1	83,7	145,4	163,6	14,3%	2025-2030

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2025

Существенная разница в оценках объемов рынка может объясняться спецификой применяемой методологии, в том числе различными подходами к определению рассматриваемого рынка. В частности, профильный отчет Mordor Intelligence [41] фокусируется на беспилотных воздушных судах, в то время как в рамках исследований Drone Industry Insights (Droneii) [46, 47], Markets and Markets [40], Market.us Scoop [48] и Grand View Research [49] проводится анализ глобальной экосистемы беспилотной авиации, включающий производителей беспилотных авиационных систем (аппаратной части), разработчиков специализированного программного обеспечения, поставщиков услуг и т.д. Необходимо отметить также, что оценки объемов рынка экспертами международной консалтинговой организации Grand View Research [49] более чем в два раза превышают значения соответствующих показателей, рассчитанных представителями компании Drone Industry Insights [46, 47], которая специализируется на маркетинговом анализе сегмента коммерческих беспилотных аппаратов. Отмеченные расхождения могут объясняться учетом специалистами Grand View Research [49] государственного сегмента, связанного с беспилотными системами военного и специального назначения (Рисунок 2).

Рисунок 2. Объем мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2022–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2024–2030 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Droneii [46], Grand View Research [49], 2025

На беспилотные морские системы приходится около четверти от общего объема глобального рынка беспилотных систем, при этом конкретные численные оценки объемов рассматриваемого сегмента рынка со стороны различных консалтинговых агентств и маркетинговых организаций, как и в случае с авиационными системами, могут иметь достаточно существенные расхождения (Таблица 3).

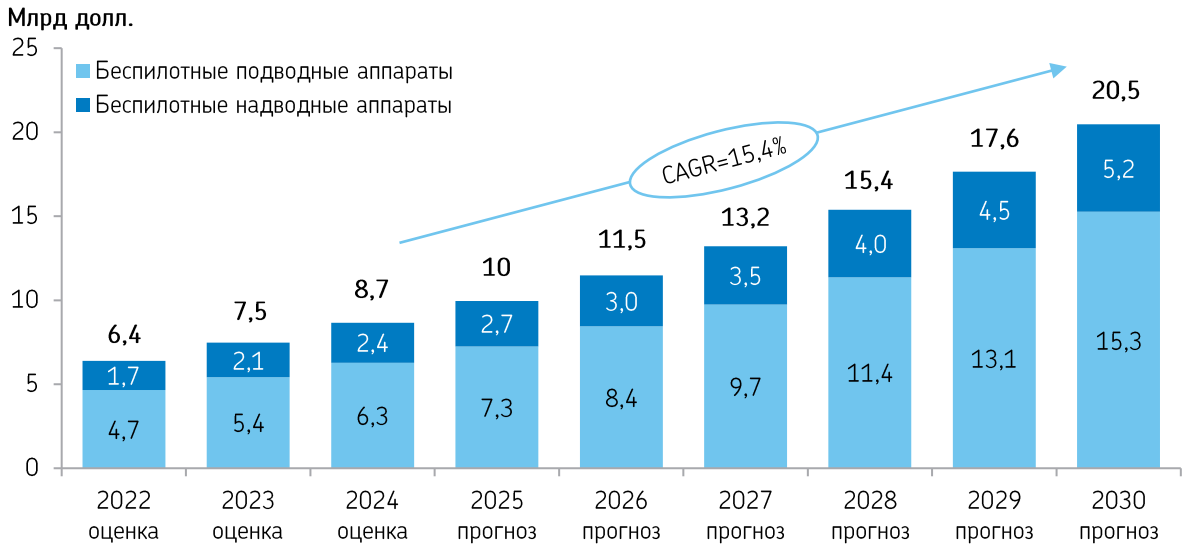
Таблица 3. Оценки и прогнозы объемов мирового рынка беспилотных морских систем в 2023–2030 гг.

Организация	Год публикации отчета	Объем рынка, млрд долл.				CAGR	Прогнозный период
		Оценка		Прогноз			
		2023	2024	2029	2030		
PwC [50]	2023	7,5	8,7	17,8	20,5	15,4%	2024–2030
Market Research Future [51]	2024	10,7	11,37	-	-	5,5%	2024–2032
Market.us [52]	2025	-	4,5	-	-	9,4%	2025–2034
Mordor Intelligence [53]	2025	-	-	-	8,1	8,5%	2025–2030
Global Industry Analysts [54, 55]	2025	-	7,8	-	16,8	13,7%	2024–2030

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2025

Необходимо отметить, что в целом в 2024–2030 гг. ожидается активный рост мирового рынка беспилотных морских систем. При этом, по интегрированным оценкам международного консалтингового агентства PwC [50], доминирующим сегментом на протяжении всего рассматриваемого периода остаются беспилотные подводные аппараты (Рисунок 3).

Рисунок 3. Объем мирового рынка беспилотных морских систем в 2022-2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2024–2030 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным PwC [50], 2025

Международные консалтинговые организации и маркетинговые агентства, как правило, рассматривают географическую структуру рынков, не выделяя страны БРИКС как отдельный сегмент. В то же время ряд источников позволяет восстановить оценки объемов непосредственно национальных рынков. В частности, в исследованиях международной консалтинговой организации Grand View Research [49] приводятся оценки объемов рынка беспилотных авиационных систем Китая [56], Индии [57], Бразилии [58], ЮАР [59] и ОАЭ [60] (Таблица 4).

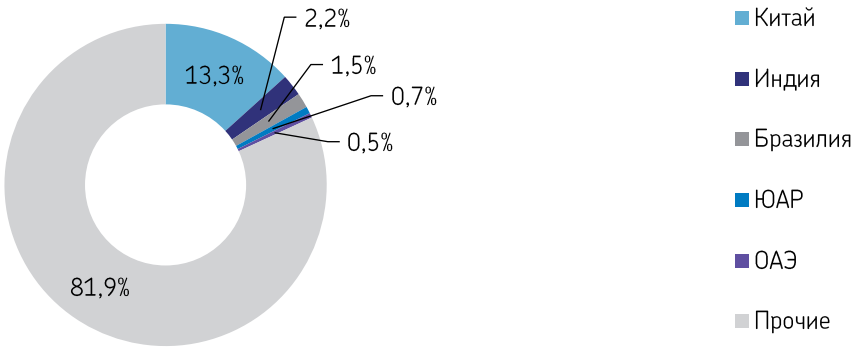
Таблица 4. Оценки и прогнозы объемов мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2023–2030 гг., в том числе в разрезе отдельных стран БРИКС

Страна	Объем рынка, млрд долл.		CAGR 2025-2030, %
	2024	2030	
Китай	9,7	22,4	14,8%
Индия	1,6	4,8	20,4%
Бразилия	1,1	2,5	14,6%
ЮАР	0,5	1,2	15,8%
ОАЭ	0,3	1,3	23,5%
Мир	**73,1**	**163,6**	**14,3%**

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Grand View Research [49, 56–60], 2025

Совокупная доля объема рынка указанных стран на рассматриваемом рынке, по оценкам Grand View Research [49, 56–60], составляет 18,1%, при этом 13,3% приходятся на Китайскую Народную Республику (Рисунок 4).

Рисунок 4. Структура мирового рынка беспилотных авиационных систем в 2024 г. в разрезе отдельных стран БРИКС, %

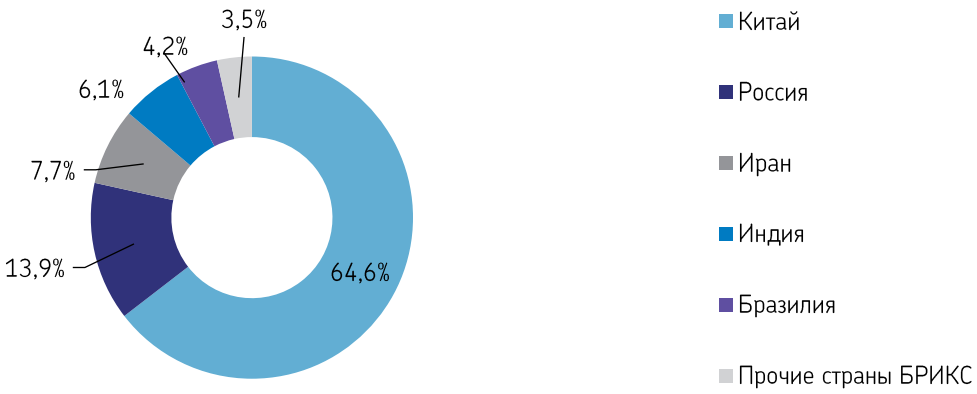


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Grand View Research [49, 56–60], 2025

В то же время, необходимо еще раз подчеркнуть, что конкретные численные оценки объемов рынков из разных источников могут содержать существенные различия, обусловленные спецификой применяемых методик и доступных данных. В частности, согласно отчету о состоянии экономики малых высот Китая за 2025 г. [61, 62], подготовленному китайской консалтинговой организацией iResearch Consulting Group, китайский рынок беспилотных авиационных систем в 2024 году оценивается примерно в 16,7 млрд долл.

Согласно сводным оценкам национальных рынков авиационных систем, приводимым в открытых источниках, Китайская Народная Республика занимает более половины от общего объема рынка БАС в странах БРИКС. При этом на такие страны, как Южно-Африканская Республика, Объединенные Арабские Эмираты, Египет, Эфиопия и Индонезия, в совокупности приходится менее 5%. Необходимо учитывать, что непосредственно численные оценки объемов рассматриваемого рынка в Арабской Республике Египет и Эфиопии в открытых источниках не приводятся, однако по отдельным оценкам [63–68] можно сделать вывод, что объем рынка БАС в каждой из указанных стран не превышает 50 млн долл. (Рисунок 5).

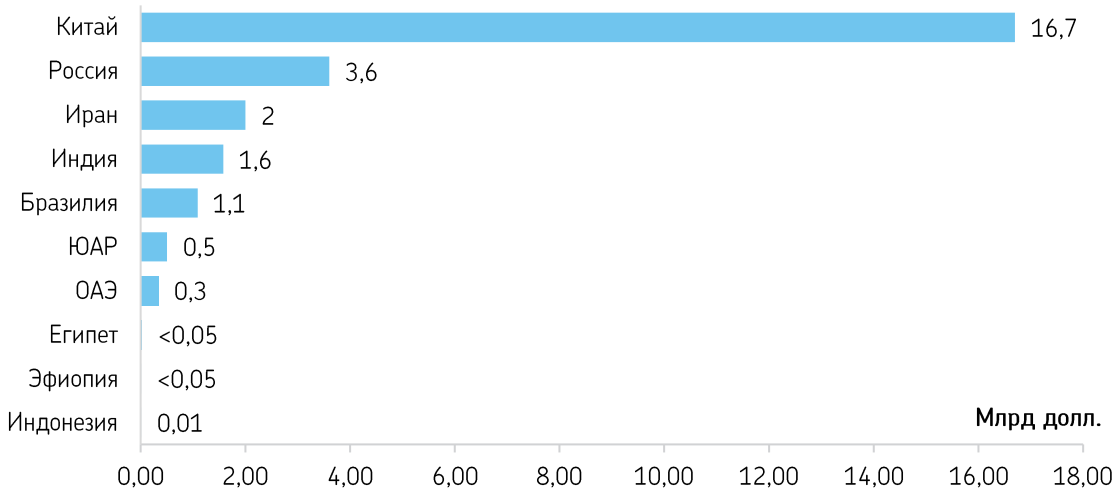
Рисунок 5. Структура рынка беспилотных авиационных систем в 2024 г. в странах БРИКС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2025

На Рисунке 6 представлен рейтинг стран БРИКС по объему рынка беспилотных авиационных систем в 2024 г., составленный на основании сводных оценок из открытых источников.

Рисунок 6. Рейтинг стран БРИКС по объему рынка беспилотных авиационных систем в 2024 г., млрд долл.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2025

В качестве наиболее динамично развивающихся рынков среди стран БРИКС, по оценкам отраслевых экспертов на перспективу до 2030 г., могут быть отмечены рынки ОАЭ и Индии (Таблица 5).

Таблица 5. Сводные оценки и прогнозы объемов рынка беспилотных авиационных систем в 2024–2030 гг. в разрезе стран БРИКС

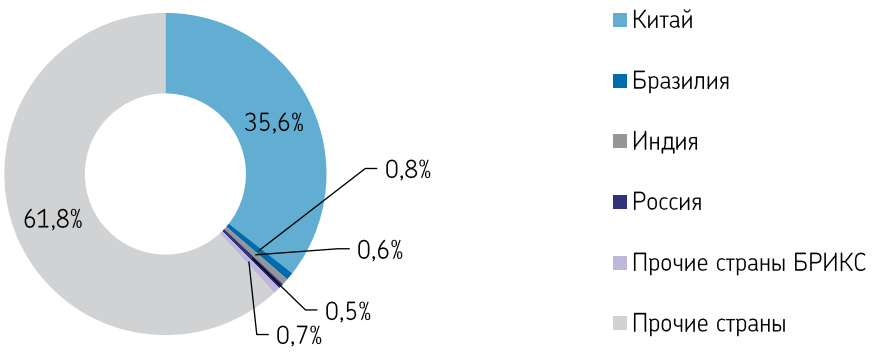
Страна	Объем рынка, млрд долл., 2024	Объем рынка, млрд долл., 2030	CAGR 2025–2030, %	Источник
Китай	16,7	40,8 (2029 год)	19,5% (2025–2029)	iResearch Consulting Group [61, 62]
Россия	3,6	4,7	5,2%	Ассоциация «АЭРОНЕКСТ» [69–71]
Иран	2	3,4	8,7%	Spherical Insights [72], Bonafide Research [73], Tasnim News Agency [74] (косвенные оценки)
Индия	1,6	4,8	20,4%	Grand View Research [57]
Бразилия	1,1	2,5	14,6%	Grand View Research [58]
ЮАР	0,5	1,2	15,8%	Grand View Research [59]

Страна	Объем рынка, млрд долл., 2024	Объем рынка, млрд долл., 2030	CAGR 2025–2030, %	Источник
ОАЭ	0,3	1,3	23,5%	Grand View Research [60]
Индонезия	0,01	0,01	6,3%	Research and Markets [75]
Египет	<0,05	н/д	н/д	Ensun [66], Cognitive Market Research [68], MarketResearch [67] (косвенные оценки)
Эфиопия	<0,05	н/д	н/д	Правительство Эфиопии [63–65] (косвенные оценки)
БРИКС	18,9	40,3	13,5%	Расчетные данные
Мир	**73,1**	**163,6**	**14,3%**	Grand View Research

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2025

Если рассматривать непосредственно производство беспилотных аппаратов (как сегмент мировой электронной промышленности), то по данным международной информационной платформы Statista [76] по состоянию на 2024 г. на страны БРИКС приходится 38,2% от общего объема мирового производства, при этом абсолютным лидером также является Китай (Рисунок 7).

Рисунок 7. Структура мирового рынка производства беспилотных аппаратов в 2024 г. в разрезе стран БРИКС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Statista [76], 2025

В то же время необходимо отметить, что в 2025–2029 гг. наиболее динамичный рост ожидается на российском рынке (Таблица 6).

Таблица 6. Оценки и прогнозы объемов мирового рынка производства беспилотных аппаратов в 2023–2029 гг. в разрезе стран БРИКС

Страна	Объем рынка, млрд долл.		CAGR 2025-2030, %
	2024	2029	
Китай	1,5	1,9	4,1%
Бразилия	0,03	0,04	5,1%
Индия	0,03	0,04	5,6%
Россия	0,02	0,04	12,5%
ЮАР	0,01	0,01	4,3%
Индонезия	0,007	0,01	6,1%
ОАЭ	0,004	0,005	1,2%
Иран	0,004	0,004	-0,7%
Египет	0,002	0,003	6,3%
Эфиопия	0,002	0,002	6,9%
Мир	**4,3**	**4,8**	**2,2%**

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Statista [76], 2025

Ниже более подробно рассмотрена специфика рынка беспилотных систем Китая как лидера среди стран БРИКС, доминирующего также на мировом рынке.

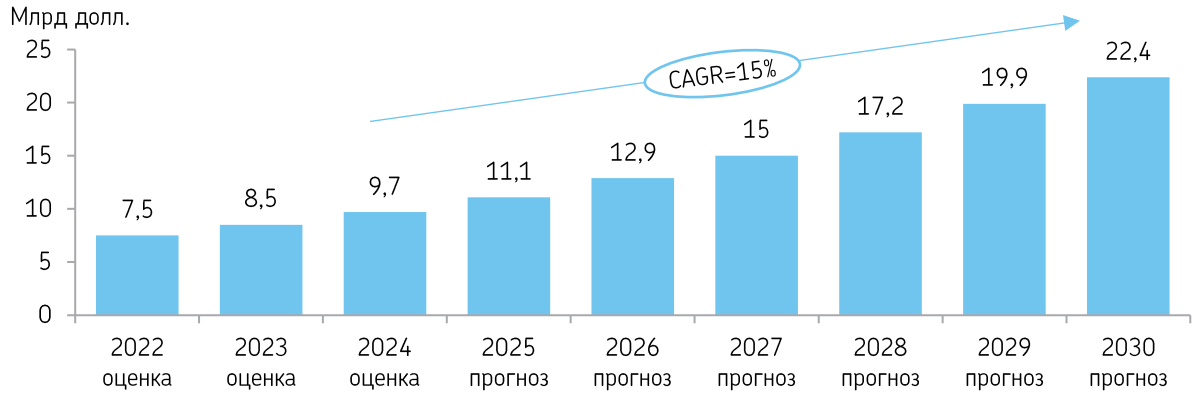
Робототехника и беспилотные авиационные системы входят в число национальных технологических приоритетов КНР, закрепленных, в частности, в рамках программы «Сделано в Китае – 2025», опубликованной Государственным советом КНР в 2015 г. [77] Беспилотные аппараты (беспилотный транспорт) также отмечены в числе приоритетных направлений в рамках документов, расширяющих и конкретизирующих четырнадцатый пятилетний план развития КНР, определяющий стратегию экономического и социального развития страны в 2021–2025 гг. В частности, на формировании экосистемы беспилотной авиации, включающей создание ряда инновационных платформ и экономических кластеров малых высот, фокусируется четырнадцатый пятилетний план развития гражданской авиации [78]. Кроме того, с 2024 г. экономика малых высот, включающая в себя сектор коммерческой беспилотной авиации, входит в ежегодный отчет о работе правительства [61].

Необходимо отметить также, что в 2019 г. Главное управление гражданской авиации КНР закрепило в рамках соответствующего руководства подход к сертификации БАС, основанный на анализе операционного риска, что позволило сократить сроки сертификации новых изделий за счет проведения цифровых (виртуальных) испытаний [79].

Как было сказано выше, КНР занимает ведущую позицию на глобальном рынке беспилотных систем. В частности, по оценкам экспертов [80], на Китай приходится 77% мирового производства литий-ионных аккумуляторов и до 80% основных компонентов БпЛА. Согласно оценкам Grand View Research [56], объем рынка беспилотных авиационных систем в Китае возрастет с 9,7 млрд долл. в

2024 г. до 22,4 млрд долл. в 2030 г. (соответственно, доля, занимаемая КНР на глобальном рынке БАС, увеличится с 13,3% до 13,7%), при этом среднегодовой темп прироста рынка в 2024–2030 гг. составит 15% (Рисунок 8).

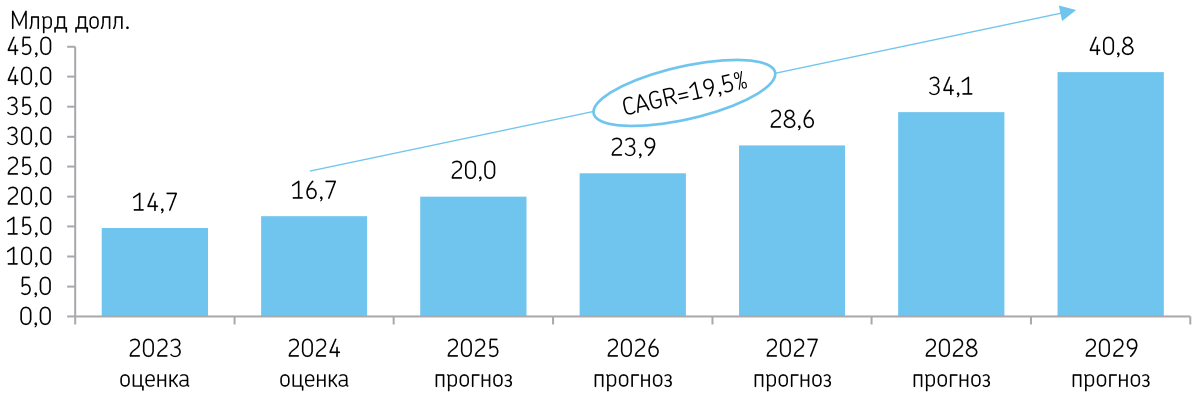
Рисунок 8. Объем рынка беспилотных авиационных систем в Китае в 2022–2030 гг., млрд долл.; CAGR в 2024–2030 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Grand View Research [56], 2025

В то же время, согласно отчету о состоянии экономики малых высот Китая за 2025 г. [61, 62], подготовленному китайской консалтинговой организацией iResearch Consulting Group, по состоянию на 2024 г. объем рынка коммерческих БАС в КНР составлял 121,5 млрд юаней (16,7 млрд долл. по среднегодовому курсу за 2024 г.), при этом к 2029 г. ожидается рост рынка до 300 млрд юаней (40,8 млрд долл.) (Рисунок 9).

Рисунок 9. Объем рынка беспилотных авиационных систем в Китае в 2023–2029 гг., млрд долл.; CAGR в 2024–2029 гг., %



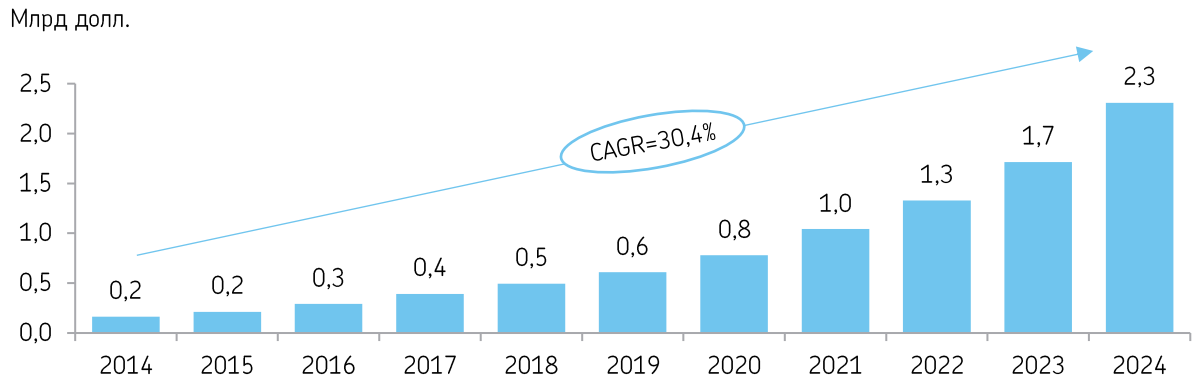
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным iResearch Consulting Group [61, 62], 2025

Необходимо отметить, что к числу ключевых технологий, определяющих будущее развитие рассматриваемого сектора, отраслевые эксперты относят технологии цифровых двойников [62].

Международные консалтинговые организации [50, 53] отмечают лидерские позиции Китая в сегментах беспилотных подводных и надводных аппаратов, при этом конкретные численные оценки

указанных сегментов, как правило, не приводятся. Специалисты китайского Института перспективных исследований промышленности (дочерней организации компании Shenzhen Qianzhan Information Co.) [81] оценивают объем национального рынка подводной робототехники в 16,8 млрд юаней (2,3 млрд долл.), отмечая существенный рост рынка за последние 10 лет (Рисунок 10).

Рисунок 10. Объем рынка подводной робототехники в Китае в 2014–2024 гг., млрд долл. и соответствующие им значения CAGR, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Института перспективных исследований промышленности (дочерней организации компании Shenzhen Qianzhan Information Co.) [81], 2025

Лидерство КНР в Азиатско-Тихоокеанском регионе и устойчивые ведущие позиции на глобальном рынке беспилотных систем во многом обусловлены действующей технологической политикой. Международные консалтинговые организации отмечают динамичное развитие в КНР как гражданского, так и военного секторов. В то же время при анализе отрасли беспилотных систем в Китае, необходимо принимать во внимание ограниченность и закрытый характер данных, относящихся к сектору военного и специального назначения [82].

1.3. Оценки и прогнозы развития рынка беспилотных систем в России

При анализе российского рынка беспилотных систем необходимо принимать во внимание, что продукты и решения, разрабатываемые в рамках указанного направления, относятся к приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации, согласно Указу Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий», а именно – к приоритетному направлению (5) интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, включая автономные транспортные средства [18].

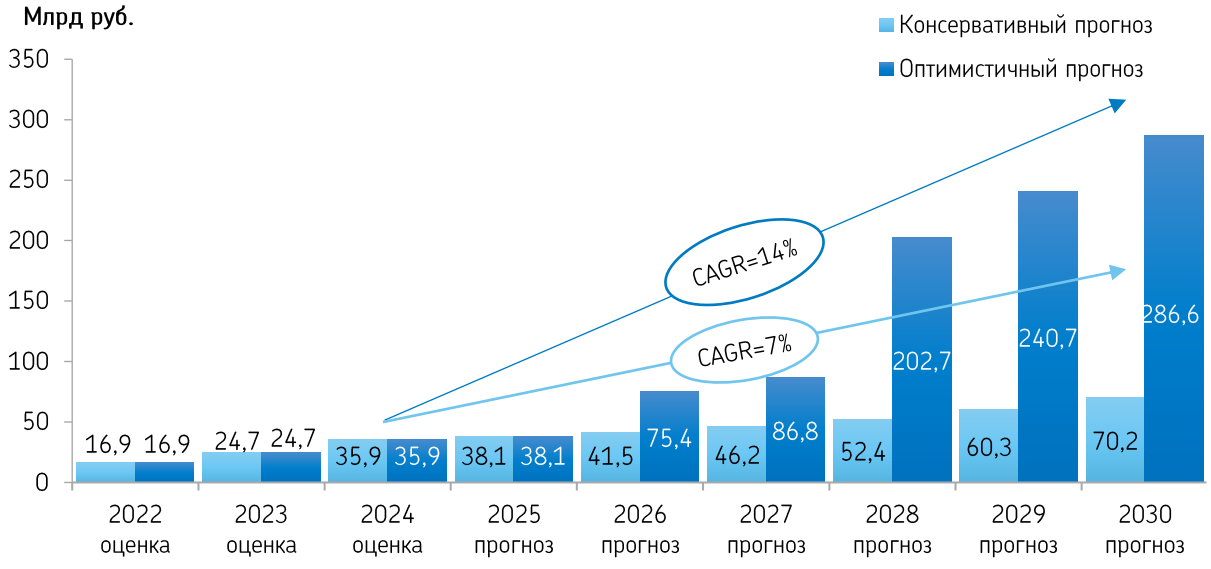
В рамках Национальной технологической инициативы [83] к приоритетам технологической политики (приоритетным «проектам-маякам», «стратегическим инициативам по созданию рынков высокотехнологичной продукции [84]») относятся беспилотная авиация и беспилотная аэродоставка грузов (AeroNet), автономное судовождение (MariNet), беспилотные логистические коридоры (AutoNet), а также поддерживающее и обеспечивающее обозначенные сегменты цифровое производство, включающее в числе ключевых компонентов умные цифровые и виртуальные фабрики (TechNet) [85].

В настоящее время в России реализуются Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. [86], а также национальный проект технологического лидерства «Беспилотные авиационные системы» [87], направленные на стимулирование роста указанного сегмента в Российской Федерации. При этом в рамках реализации стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 г. наряду с вышеуказанным проектом «Беспилотные авиационные системы» определены проекты «Автономное судовождение» и «Беспилотные логистические коридоры» [88].

Как уже было сказано выше, в рамках настоящего исследования основное внимание уделяется сегментам беспилотных авиационных систем (в т.ч. беспилотных летательных аппаратов), а также беспилотных морских систем (в т.ч. беспилотных надводных и подводных аппаратов).

В России, как и в других странах БРИКС и в мире в целом, доминирующим сегментом рынка беспилотных систем является беспилотная авиация. Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. [86] предполагает рост российского рынка беспилотных авиационных систем с учетом потребности в рамках услуг с 372,7 тыс. ед. в 2023–2026 гг. до 684,5 тыс. ед. в 2027–2030 гг. в базовом сценарии и с 389,7 тыс. ед. в 2023–2026 гг. до 718,8 тыс. ед. в 2027–2030 гг. – в прогрессивном. В финансовом выражении специалисты ПАО «Ростелеком» [89] оценивают коммерческий сектор БпЛА в 2024 г. в 13,4 млрд руб. (0,2 млрд долл. по среднегодовому курсу за 2024 г.). При этом к 2028 г. ожидается рост объемов рынка до 81,8 млрд руб. (0,9 млрд долл.). В то же время, специалисты Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69–71] оценивают гражданский сегмент рынка беспилотных систем (включающий исключительно гражданское и условно гражданское назначение) в 2024 г. в 35,9 млрд руб. (0,4 млрд долл.). В рамках прогноза Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69–71] рассматриваются два сценария развития рынка беспилотных систем: консервативный и оптимистичный, при этом оба предусматривают значительный рост гражданского сегмента в 2024-2030 гг. (11,8% и 41,4% в среднем в год соответственно) (Рисунок 11).

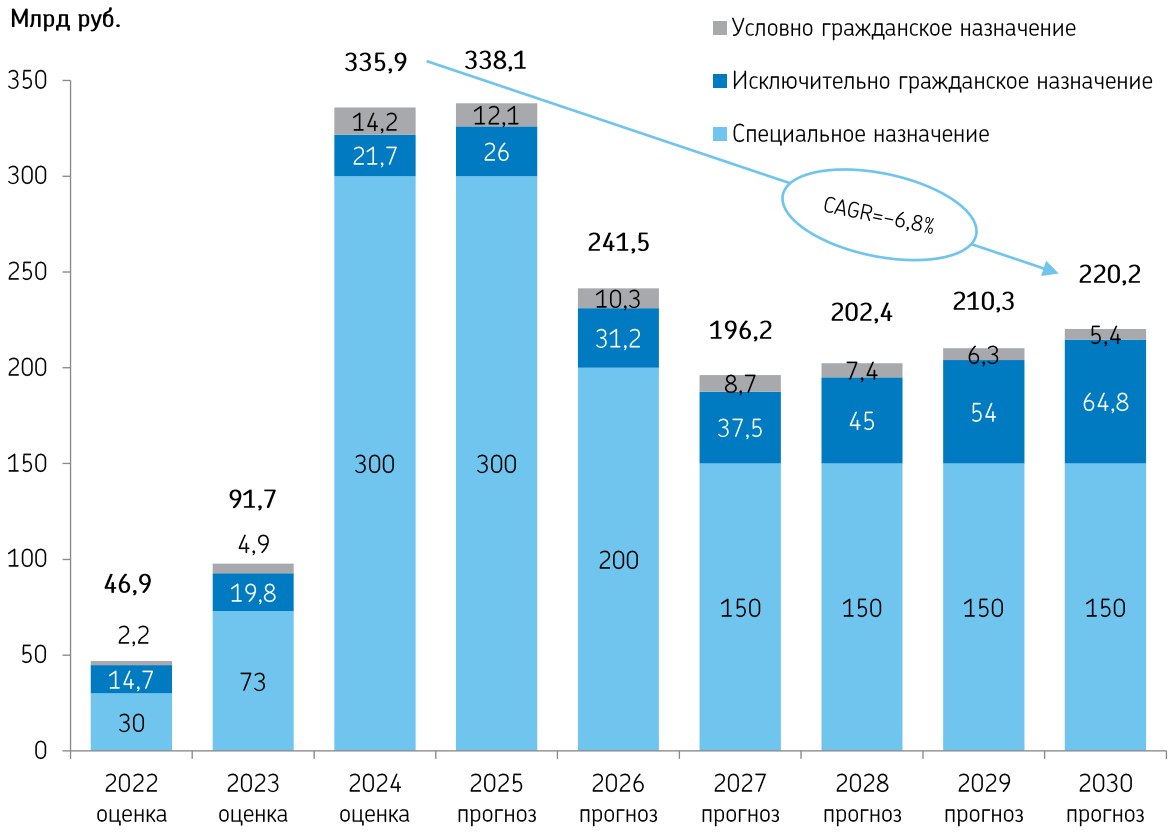
Рисунок 11. Объем рынка беспилотных авиационных систем гражданского назначения в России в 2022–2030 гг., млрд руб.; CAGR в 2024–2030 гг., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69–71], 2025

Полный объем рынка беспилотных систем (включая сегмент специального назначения) в финансовом выражении, согласно оценкам, приведенным в отчетах Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69–71], в 2024 г. составил 335,9 млрд руб. (3,6 млрд долл.). При этом консервативный сценарий развития рынка беспилотных авиационных систем в России, рассматриваемый специалистами Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69–71], предполагает сокращение общего объема рынка в среднем на 6,8% ежегодно – прежде всего, за счет снижения сегментов специального и условно гражданского назначения при недостаточном росте гражданского сегмента (Рисунок 12).

Рисунок 12. Объем рынка беспилотных авиационных систем в России в 2022–2030 гг. (консервативный сценарий), млрд руб.; CAGR в 2024–2030 гг., %

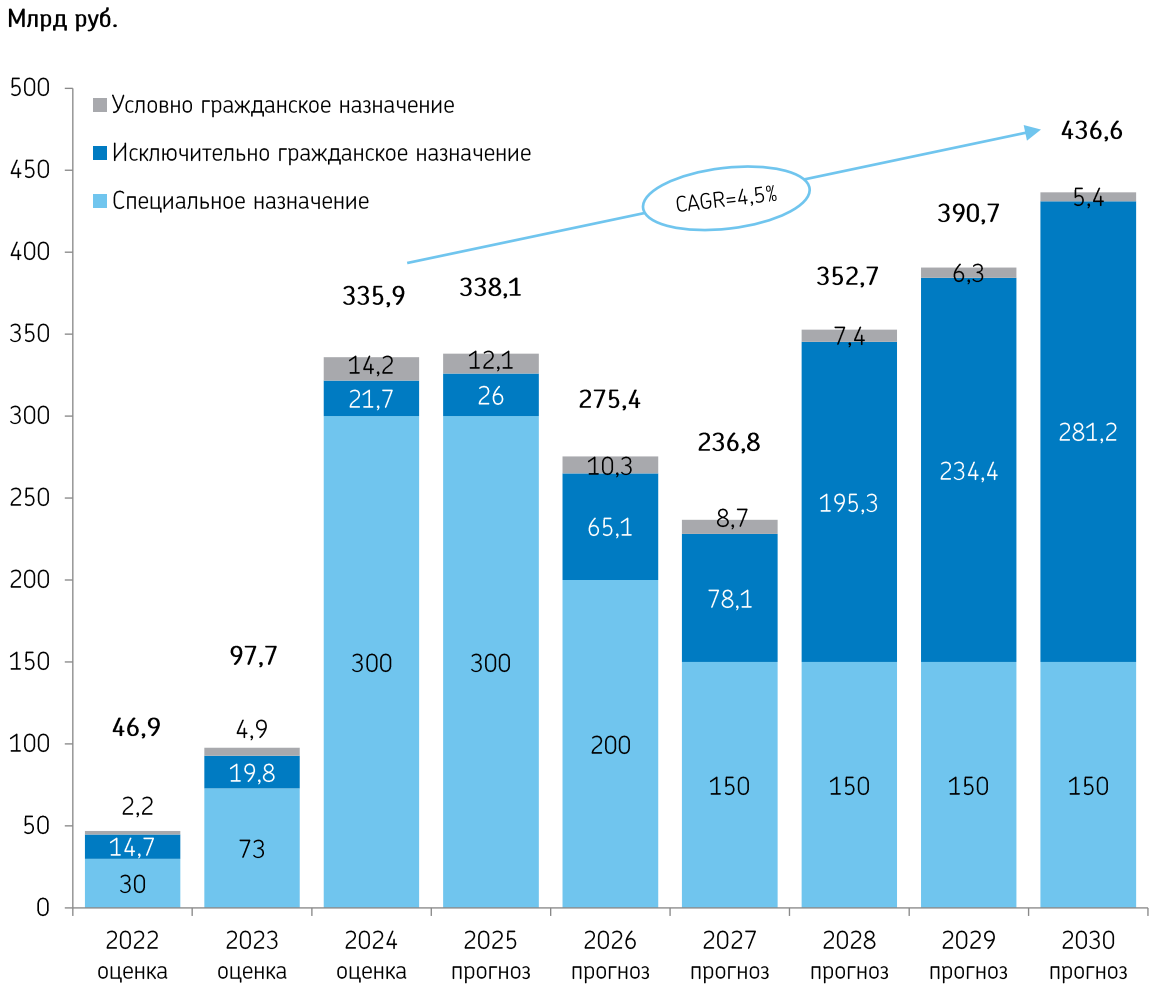


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69–71], 2025

Оптимистичный сценарий «АЭРОНЕКСТ» [69–71] предполагает взрывной рост гражданского сегмента беспилотных авиационных систем (Рисунок 13).

Рынок беспилотных авиационных систем в России в настоящее время демонстрирует уверенный рост, в т.ч. благодаря разворачиваемому комплексу мер поддержки и стимулирования. В частности, в 18 субъектах Российской Федерации созданы и функционируют научно-производственные центры, под которыми понимается «технологическая инфраструктура для разработки, испытаний, сертификации, производства и вывода на рынок беспилотных авиационных систем [90]». Отдельно необходимо отметить Центр «Беспилотные авиационные системы» Московского авиационного института [91], являющийся одним из активных участников формирования и развития рынка беспилотной авиации в Российской Федерации.

Рисунок 13. Объем рынка беспилотных авиационных систем в России в 2022–2030 гг. (оптимистичный сценарий), млрд руб.; CAGR в 2024–2030 гг., %

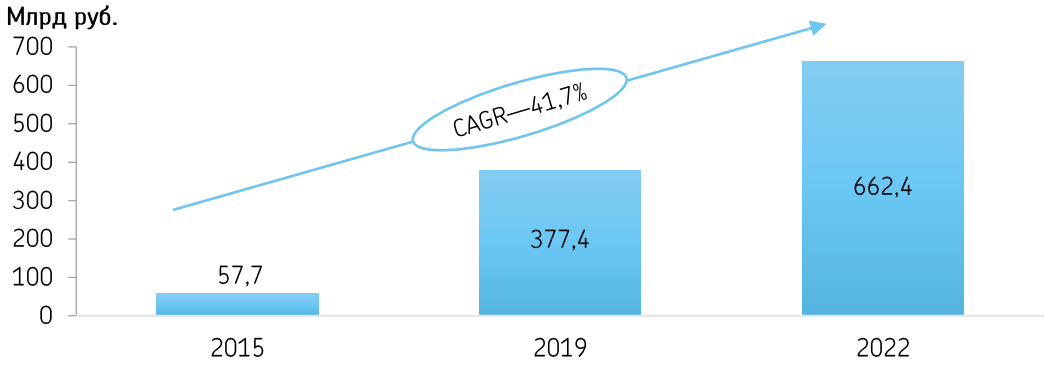


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69–71], 2025

Рынок морских беспилотных систем (в т.ч. надводных и подводных беспилотных аппаратов), как уже было сказано выше, также входит в число национальных технологических приоритетов Российской Федерации. В частности, развитие морской робототехники и безэкипажных катеров относятся к приоритетам оборонных технологий [92]. В настоящее время в военно-морском флоте Российской Федерации ведется работа по формированию специализированных воинских частей, включающих как воздушные беспилотные летательные аппараты и наземные автономные транспортные средства, так и безэкипажные катера и подводные необитаемые аппараты [93].

Прямые численные оценки российского рынка морских беспилотных систем в открытых источниках не приводятся. При этом отраслевые эксперты [94, 95] заявляют о росте рынка, а в рамках академических исследований [96] отмечается положительная динамика государственных закупок, в частности, закупок в сфере морской робототехники (Рисунок 14).

Рисунок 14. Объем государственных закупок в области подводной робототехники в России в 2015, 2019 и 2022 гг., млрд руб. и соответствующее ему значение CAGR (2015–2022 гг.), %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Митус К. Н., Гармашова Е. П. (2023) [96], 2025

В то же время отраслевые эксперты [95] указывают на малую емкость российского рынка беспилотных морских систем (в т.ч. беспилотных надводных и подводных аппаратов). По экспертным оценкам [94], потребность отечественных заказчиков в беспилотных подводных аппаратах в 2020-2025 гг. оценивалась в несколько сотен единиц, в т.ч. в несколько десятков единиц – в необитаемых подводных аппаратах среднего и тяжелого класса.

Гражданские беспилотные подводные аппараты используются для проведения широкого спектра исследовательских работ, в т.ч. для метеорологических наблюдений и прогнозирования климатических изменений. При этом к основным направлениям коммерческого гражданского применения беспилотных подводных судов в России, по оценкам исследователей [96–99], относится решение технических задач нефтегазовой промышленности, таких как картирование морского дна при строительстве подводной инфраструктуры, обследование и мониторинг состояния подводной инфраструктуры, оценка химического состава воды и выявление определенных соединений. Кроме того, беспилотные подводные аппараты используются для мониторинга морского дна в портах, а также анализа, картирования и обслуживания прилегающей акватории. Значимыми областями применения беспилотных подводных судов также являются аварийно-спасательные и другие неотложные работы при ликвидации в акваториях последствий чрезвычайных ситуаций, как природного, так и техногенного характера и т.д.

По оценкам, приведенным в исследовании специалистов ФГАОУ ВО «Севастопольский Государственный Университет» в 2023 г. [96], ключевыми потребителями на отечественном рынке подводной робототехники и, в частности, беспилотных подводных судов, являются научно-исследовательские институты, службы мониторинга (метеорологического, экологического и т.д.), аварийно-спасательные службы, промышленные предприятия и порты Российской Федерации.

В части надводных беспилотных аппаратов необходимо отметить, что коммерческая эксплуатация первого морского судна в режиме дистанционного управления (парома «Генерал Черняховский») началась в конце 2023 г. [100] По состоянию на конец 2024 г. первые в России автономные паромы «Маршал Рокоссовский» и упомянутый выше «Генерал Черняховский» перевезли порядка 1,3 млн тонн грузов и прошли более 150 тыс. морских миль (с момента оснащения паромов системой автономного судовождения и начала тестовых испытаний) [101, 102]. В целом, в рамках проекта

«Автономное судовождение» предусмотрено создание автономного портового флота из одной единицы в 2024 г. и из трех – в 2025 г. [103].

Как было сказано выше, доминирующим сегментом рынка беспилотных систем в России является беспилотная авиация. Рынок морских беспилотных систем (в т.ч. надводных и подводных беспилотных аппаратов), несмотря на отмечаемые отраслевыми экспертами значительные темпы роста, сохраняет относительно небольшую емкость и высокую зависимость от зарубежных поставщиков оборудования. В обозначенных условиях ключевыми направлениями, развитие которых необходимо для обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации в рассматриваемой области, становятся:

- технологии, методы и инструменты производства и проектирования, в т.ч. передовые цифровые производственные технологии, включающие технологии проведения цифровых (виртуальных) испытаний изделий, обеспечивающих ускорение вывода на рынок новых моделей беспилотных авиационных систем (в т.ч. беспилотных летательных аппаратов), а также беспилотных морских систем (в т.ч. беспилотных надводных и подводных аппаратов);
- технологии, направленные на повышение автономности беспилотных систем;
- технологии связи, обеспечивающие бесперебойную передачу данных, в т.ч. для решения задач дистанционного управления беспилотными аппаратами;
- технологии силовых установок и батарей, позволяющие увеличить срок активной эксплуатации беспилотных аппаратов и повысить надежность беспилотных систем;
- высокотехнологичные материалы и решения, основанные на применении композиционных материалов, обеспечивающие совершенствование технических характеристик беспилотных систем, в частности прочности, надежности, устойчивости к внешним воздействиям и т.д.

1.4. Ключевые цифровые технологии, применяемые в отрасли беспилотных систем, развитие и внедрение которых обеспечивает формирование технологического суверенитета государства

Как было обозначено выше, термин «технологический суверенитет» в последние годы активно вошел в международный публичный, аналитический и научный дискурс [8–10]. В глобальном контексте, равно как и в контексте стран БРИКС, особое значение для обеспечения технологического суверенитета государства имеют технологии, а также продукты и решения на базе указанных технологий, соответствующие мировым трендам. Среди них международные консалтинговые организации и аналитические агентства [104–107] выделяют, в частности, развитие искусственного интеллекта, распространение и развитие технологий цифровых двойников, облачных сервисов, сетей связи нового поколения и т.д. Передовые цифровые технологии, включая искусственный интеллект и управление данными, а также технологии связи, обеспечивающие функционирование цифровой инфраструктуры (в т.ч. 5G, спутниковые системы, наземные и неназемные сети), технологии энергетики и развития транспортной инфраструктуры входят в число приоритетных направлений сотрудничества стран БРИКС, что, в частности, отмечено в декларации «Укрепление многосторонности для справедливого глобального развития и безопасности» [108] по итогам XVI Саммита БРИКС, проведенного в 2024 г. в России.

Модель технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий

подробнее рассмотрена в разделе 1.1. настоящего отчета.

В контексте беспилотных систем, по оценкам отраслевых экспертов [109–111], особую значимость приобретают:

- передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов;
- технологии систем управления беспилотными аппаратами, в частности, направленные на повышение автономности, в т.ч. за счет решений на основе искусственного интеллекта;
- технологии связи для беспилотных аппаратов, унифицированные решения на базе стандартизированных протоколов связи, включая использование 5G, спутниковых систем и т.д.;
- технологии силовых установок и батарей, обеспечивающие надежность и увеличение продолжительности активной эксплуатации беспилотных аппаратов;
- высокотехнологичные материалы и решения, основанные на применении композиционных материалов.

Ключевые технологии, применяемые в отрасли беспилотных систем, развитие и внедрение которых способно обеспечить и поддержать технологический суверенитет Российской Федерации, относятся к следующим приоритетным направлениям, закрепленным на федеральном уровне в рамках Стратегии научно-технологического развития:

- переход к передовым технологиям проектирования и создания высокотехнологичной продукции, основанным на применении интеллектуальных производственных решений, роботизированных и высокопроизводительных вычислительных систем, новых материалов и химических соединений, результатов обработки больших объемов данных, технологий машинного обучения и искусственного интеллекта;
- повышение уровня связанности территории Российской Федерации путем создания интеллектуальных транспортных, энергетических и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, мирового океана, Арктики и Антарктики [12].

Как было сказано выше, интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, включая автономные транспортные средства, также входят в число приоритетных направлений научно-технологического развития, закрепленных Указом Президента Российской Феедерации от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» [18]. При этом в рамках данного Указа также определяется перечень важнейших наукоемких технологий, из которых в контексте разработки, производства и эксплуатации беспилотных систем можно выделить следующие:

- транспортные технологии для различных сфер применения (море, земля, воздух), в том числе беспилотные и автономные системы;
- технологии создания доверенного и защищенного системного и прикладного программного обеспечения;
- технологии защищенных квантовых систем передачи данных;
- технологии микроэлектроники и фотоники для систем хранения, обработки, передачи и защиты информации [18].

Значимыми сквозными технологиями в рассматриваемом контексте выступают «технологии искусственного интеллекта в отраслях экономики, социальной сферы (включая сферу общественной безопасности) и в органах публичной власти [18]».

В части беспилотных авиационных систем и беспилотных воздушных судов необходимо учитывать также приоритетные направления научных исследований и разработок, отмеченные в рамках федерального проекта «Перспективные технологии для беспилотных авиационных систем»:

- технологии компоновки и принципы движения БВС;
- энергетические и силовые установки;
- технологии навигации, радионавигации;
- технологии, методы и средства связи;
- технологии технического зрения для БАС;
- новые производственные технологии и новые материалы для БАС;
- технологии группового взаимодействия БВС, принятия решений и комплексных систем управления БВС;
- технологии и средства интеграции беспилотных воздушных судов в единое воздушное пространство;
- вычислители, фотонные интегральные информационные системы [112, 113].

При этом, в рамках модели технологического суверенитета выделяется ряд наиболее значимых производственных, транспортных, инфраструктурных технологий, а также технологий, связанных с цифровыми сервисами, для которых драйвером выступает искусственный интеллект, и т.д. [14, 114].

В рамках реализации стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 г. также приводится отдельный перечень приоритетных (внедряемых) технологий, в значительной части пересекающийся с направлениями, обозначенными выше:

- искусственный интеллект;
- технологии сбора и обработки больших данных;
- технологии систем распределенного реестра;
- технологии виртуальной и дополненной реальности;
- технологии пространственного анализа и моделирования;
- технологии информационного моделирования;
- производственные технологии в области управления производством;
- технологии робототехники и сенсорики, в том числе в области сенсоров и обработки сенсорной информации, сенсоров и систем сбора и обработки информации для эффективного функционирования робототехнических систем, интеллектуальных систем управления робототехническими системами, систем автоматизации управления;
- технология беспроводной связи в области защищенной телекоммуникации [88].

Кроме того, в 2023 г. Правительством Российской Федерации утверждено стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности (Распоряжение Правительства от 07.11.2023 г. № 3113-р), в рамках которого предполагается наращивание объемов производства, снижение себестоимости разработки и увеличение скорости вывода продукции на рынок («в первую очередь за счет разработки математических и компьютерных моделей с высокой степенью адекватности, прошедших процедуры верификации и валидации, проведения

цифровых (виртуальных) испытаний на цифровых (виртуальных) испытательных стендах и полигонах [20]»). При этом в рамках стратегического направления закрепляется официальный термин «цифровая сертификация», под которой понимается «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 натурных, сертификационных и прочих испытаний [20]». Необходимо отметить также, что Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. предполагает, в частности, «создание и развитие отечественной цифровой платформы в целях оптимизации методик проектирования беспилотных авиационных систем и их компонентов [86]».

В Таблице 7 на основе изложенного выше сформирован перечень ключевых технологий, применяемых в отрасли беспилотных систем, развитие и внедрение которых обеспечивает формирование технологического суверенитета государства, сгруппированных по основным технологическим доменам.

Таблица 7. Ключевые технологии, применяемые в отрасли беспилотных систем, развитие и внедрение которых обеспечивает формирование технологического суверенитета государства

Технологический домен	Технологии	Назначение / актуальность технологий	Примеры компаний – лидеров по направлению
Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов	Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Использование **передовых средств CAD/CAE** позволяет создавать высокоточные цифровые модели БПЛА и морских беспилотных систем и оптимизировать их аэро- и гидродинамические характеристики. Использование высокопроизводительных вычислений позволяет увеличить качество расчетов и ускорить разработку и выход продукта на рынок.	ZWSOFT [115] (Китай), Gstarsoft (Китай) [116]
	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Использование технологии **цифровых двойников** позволяет ускорить процесс разработки, снизить производственные затраты и в случае необходимости быстро повторять этапы проектирования, что важно для выбора наиболее оптимальной конструкции изделия. Цифровые двойники позволяют разработчикам тестировать и вносить изменения в конструкцию изделия без создания физического прототипа, что заметно сокращает затраты.	SHECC (Китай) [117]
	Системы управления данными и жизненным	Использование **PLM-систем** позволяет осуществлять централизованное и эффективное управление данными при разработке	CAXA (Китай) [118], JWI (Китай) [119]

Технологический домен	Технологии	Назначение / актуальность технологий	Примеры компаний – лидеров по направлению
	циклом продукта и системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (PDM/PLM; SPDM)	и эксплуатации изделий, что позволяет ускорить разработку, увеличить эффективность эксплуатации и скорость модернизации сложных беспилотных систем. Использование **SPDM-систем** позволяет управлять процессами и данными компьютерного моделирования, что позволяет создавать более эффективные беспилотные системы.	
	Промышленная автоматизация и робототехника	Использование **автоматизации и робототехнических средств** при производстве БПЛА и морских беспилотных систем позволяет увеличить качество сборки, снизить количество брака за счет исключения ручных операций и снизить зависимость производителей от доступности рабочей силы.	Siasun (Китай) [120], Diafacto (Индия) [121]
Технологии систем управления беспилотными аппаратами	Технологии бортового искусственного интеллекта	**Бортовой ИИ** повышает автономность БПЛА в сложной обстановке и позволяет им принимать более эффективные решения при выполнении сложных задач	DJI (Китай) [122], Hindustan Aeronautics Limited (Индия) [123]
	Технологии роевой навигации	**Роевая навигация** БПЛА и морских беспилотных систем позволяет осуществлять координацию работы аппаратов в больших группах, благодаря чему увеличивается эффективность в выполнении задач и повышается устойчивость к внешним воздействиям.	AVIC (Китай) [124], CETC (Китай) [125]
	Технологии технического зрения	**Техническое зрение (визуальная навигация)** обеспечивает возможность ориентации БПЛА и морским беспилотным системам в условиях, когда традиционные способы навигации затруднены.	Sensetime (Китай) [126], Ideaforgetech (Индия) [127]
	Продвинутые технологии автономной навигации	**Технологии автономной навигации** позволяют беспилотным системам действовать в труднодоступных зонах и зонах действия систем РЭБ, подавляющих сигналы спутниковой системы навигации (Global Positioning System, GPS).	Beijing Chuangheng Control Technology Co (Китай) [128], Aeron Systems (Индия) [129]

Технологический домен	Технологии	Назначение / актуальность технологий	Примеры компаний – лидеров по направлению
	Технологии предотвращения столкновений (DAA)	**Системы предотвращения столкновений (DAA-системы)** позволяют снижать риски столкновения беспилотных систем за счет использования данных лидаров, радаров и средств видеонаблюдения. Такие возможности важны в условиях плотного движения многочисленных БПЛА и морских беспилотных систем.	Neuvition (Китай) [130], Throttle Aerospace Systems (Индия) [131]
Технологии связи для беспилотных аппаратов	Технологии децентрализованных и mesh-сетей	Использование **децентрализованных и mesh-сетей** позволяет сократить зависимость от наземной инфраструктуры, повысить отказоустойчивость и увеличить эффективность работы БПЛА и беспилотных систем в зонах с подавленным радиосигналом.	Iwave (Китай) [132], Next Leap Aeronautics (Индия) [133]
	Лазерные технологии связи	Использование **лазерных технологий связи** позволяет на порядки увеличить пропускную способность связи по сравнению с радио и обеспечить эффективную передачу данных в условиях действия систем РЭБ.	Chang Guang Satellite Technology Co., Ltd. [134], Astrogate Labs [135]
	Технологии связи с использованием низкоорбитальной спутниковой группировки	Использование **связи с применением низкоорбитальных спутников** может расширить зону действия беспилотных систем до практически всей территории земного шара, снизить зависимость от наземной инфраструктуры, а также позволить осуществлять высокоскоростную передачу данных и удаленно управлять беспилотной системой с минимальной задержкой сигнала.	GalaxySpace [136]
	Помехоустойчивые ГНСС-приемники и каналообразующее оборудование для помехоустойчивой связи	**Устойчивые к помехам глобальной навигационной системы спутниковой связи (ГНСС)-приемники и каналообразующее оборудование** позволяют осуществлять эффективное дистанционное управление БПЛА и морскими беспилотными системами в условиях действия систем РЭБ.	CETC (Китай) [137], ComNav Technology (Китай) [138], Accord Software & Systems (Индия) [139]
	Электродвигатели для БПЛА	**Электродвигатели** обладают высоким КПД и низкими шумовыми	DJI (Китай) [122], Tmotor (Китай) [140]

Технологический домен	Технологии	Назначение / актуальность технологий	Примеры компаний – лидеров по направлению
Технологии силовых установок и батарей	и морских беспилотных систем	характеристиками, что делает их доминирующим решением в сфере беспилотных систем. В настоящее время в России увеличивается производство электродвигателей различной мощности.	
	Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) для БПЛА и морских беспилотных систем	Использование **двигателей внутреннего сгорания (ДВС)** наиболее распространено в сфере средних и тяжелых БПЛА, а также морских беспилотных систем. Использование ДВС позволяет беспилотным системам работать на дальних расстояниях. Для морских беспилотных систем использование ДВС делает возможной автономную работу в течение нескольких недель.	AVIC [124], Hindustan Aeronautics Limited [123]
	Гибридные силовые установки для БПЛА и морских беспилотных систем	**Гибридные силовые установки** сочетают преимущества двигателей внутреннего сгорания и электродвигателей, что позволяет сократить расход топлива и продлить время работы.	Autoflight (Китай) [141], Richenpower (Китай) [142]
	Реактивные двигатели для БПЛА	Использование **реактивных двигателей** позволяет БПЛА работать на высоких скоростях. Главной сферой использования реактивных двигателей остается производство ударных и разведывательных БПЛА.	AECC (Китай) [143], Raghu Vamsi Machine Tools (Индия) [144]
	Водородные источники питания	Использование **перспективных водородных источников питания** позволит обеспечить высокую энергетическую плотность и длительную автономность систем, а также повысит соответствие беспилотных систем экологическим требованиям.	JOUAV (Китай)[145], Refire (Китай)[146]
	Продвинутые литий-ионные батареи	**Продвинутые литий-ионные батареи** обладают более высокой энергоемкостью и необходимой для частых циклов заряда-разряда термической стабильностью, что продлевает срок службы и увеличивает эффективность беспилотных систем.	CATL (Китай) [147], Tattu (Китай) [148]
Высокотехнологичные, в т.ч. композиционные,	Композиционные материалы	Использование **композиционных и других новых материалов** позволяет оптимизировать аэродинамические	AVIC (Китай) [124], DJI (Китай) [122],

Технологический домен	Технологии	Назначение / актуальность технологий	Примеры компаний – лидеров по направлению
материалы и решения для беспилотных аппаратов	и стелс-материалы	характеристики БПЛА и увеличить время автономной работы беспилотных систем. Для морских беспилотных систем важным преимуществом использования композиционных материалов является их устойчивость к коррозии. Стелс-материалы (многослойные композиционные материалы, обладающие поглощающими свойствами) снижают заметность БПЛА для радиолокационных систем, что критически важно для военных беспилотных систем.	Hindustan Aeronautics Limited (Индия) [123]
	Технологии аддитивного производства (3D-печать)	Использование средств **аддитивного производства** облегчает создание геометрически сложных изделий, позволяет делать их легче, значительно сокращает затраты времени на прототипирование и ускоряет вывод продуктов на рынок.	Farsoon (Китай) [149], BLT (Китай) [150]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2025

Группировка технологий произведена на основе исследовательских работ Национальной технологической инициативы, предлагаемой авторами модели технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий, а также данных, полученных в результате анализа рыночной ситуации (см. разделы 1.1., 1.2. и 1.3. настоящего отчета). Выделенные технологические домены (группы технологий) учитывают полный жизненный цикл беспилотных систем (в частности, беспилотных авиационных, надводных и подводных аппаратов) от разработки до эксплуатации и, согласно оценкам научных и отраслевых экспертов, имеют критическое значение в контексте формирования и развития отечественной отрасли беспилотных систем и обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации. Значительное внимание к использованию цифровых технологий проектирования и моделирования, систем управления жизненным циклом изделия обусловлено необходимостью обеспечивать конкурентоспособность отечественных производителей и разработчиков на мировом высокотехнологическом рынке беспилотных систем. Выделенная структура технологических доменов определяет приоритетные направления дальнейшего анализа компаний, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ КОМПАНИЙ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОТОРЫХ НАПРАВЛЕНА НА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ПО СРЕЗУ ТЕХНОЛОГИЙ

Настоящий раздел посвящен анализу ключевых компаний – производителей беспилотных систем из стран БРИКС, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по рассматриваемому срезу технологий в рамках кросс-рыночного, кросс-отраслевого направления «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ.

При анализе текущего состояния и структуры ключевых игроков на рынке беспилотных систем стран БРИКС учтены определенные расхождения в оценках, связанные с отсутствием единых стандартов и общей системы статистического учета. В то же время интеграция экспертных оценок и официальной статистики, находящейся в открытом доступе, позволила сформировать общее представление о ключевых компаниях – производителях, а также выделить основные продукты и технологии, разрабатываемые вышеуказанными компаниями.

Анализ компаний в рамках настоящего раздела проводится по блокам (подразделам):

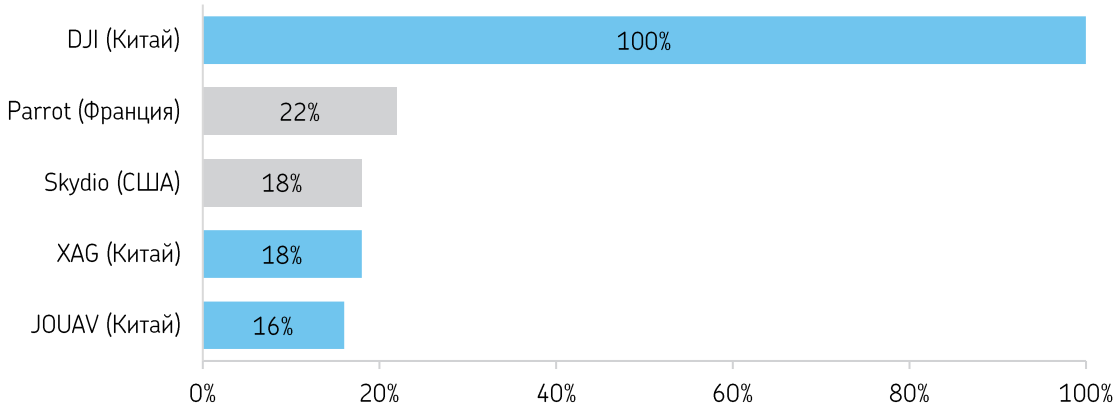
- текущее состояние, структура ключевых игроков стран БРИКС;
- компании – национальные лидеры (по странам БРИКС за исключением России);
- ключевые российские компании, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по срезу технологий.

2.1. Текущее состояние, структура ключевых игроков стран БРИКС

Абсолютным мировым лидером в области производства беспилотных систем и их компонентов, доминирующим как в сегменте беспилотной авиации, так и в сегментах беспилотных надводных и подводных аппаратов, как было сказано выше, является Китайская Народная Республика. В частности, по данным международной информационной платформы Statista [66], на КНР приходилось 35,5% общего объема мирового производства беспилотных судов в финансовом выражении в 2024 г., при этом ряд отраслевых экспертов [63] оценивает долю Китая на глобальном рынке коммерческих беспилотных судов в 2025 г. в 70–80%. Согласно экспертным оценкам [17], по состоянию на конец 2023 г. в Китае работало более 2 300 предприятий, занимающихся разработкой гражданских беспилотных воздушных судов, при этом число беспилотных летательных аппаратов, выпускаемых серийно, превысило 1 000 моделей. В 2022 г., по оценкам Drone Industry Insights [67], международной консалтинговой организации, специализирующейся на анализе рынка коммерческих беспилотных аппаратов, на КНР приходилось 3 из 5 компаний – лидеров глобального гражданского рынка (Рисунок 15) [68].

По состоянию на 2024 г., по оценкам Drone Industry Insights, китайские производители сохраняют доминирование на рынке коммерческого производства беспилотных воздушных судов, при этом мировым лидером остается компания DJI [152]. DJI также лидирует в рассматриваемом сегменте, согласно оценкам отраслевой образовательной платформы Drone U [153] и консалтинговой организации BCC Research [154]. Кроме того, необходимо отметить, что в актуальный список из 18 компаний – лидеров в области производства беспилотных воздушных судов и их компонентов, по оценкам Drone U [153], входят 5 китайских организаций.

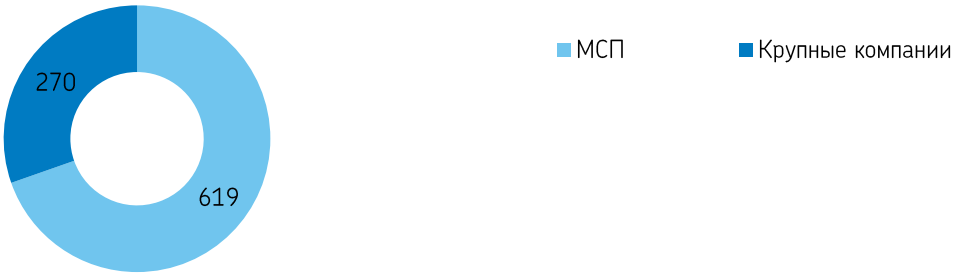
Рисунок 15. ТОП-5 компаний – мировых лидеров в сфере производства гражданских беспилотных воздушных судов, % от оценки в баллах позиций компании – абсолютного лидера



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Drone Industry Insights [151]

Российская Федерация находится на втором месте среди стран БРИКС по числу компаний-производителей беспилотных систем и их компонентов, благодаря как сложившемуся сектору «старых» технологических компаний, так и активному развитию малого и среднего предпринимательства на фоне усиления роли беспилотной авиации в обороноспособности страны. В частности, по оценкам АО «Федеральная корпорация по развитию малого и среднего предпринимательства» (Корпорация МСП) [155], общее число производителей беспилотных авиационных систем и их компонентов в 2025 г. в России составило 889 организаций, при этом около 70% из них пришлось на малые и средние предприятия (Рисунок 16).

Рисунок 16. Структура российских производителей беспилотных авиационных систем в 2025 г. в зависимости от размера предприятия, ед.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Корпорации МСП [155]

Необходимо отметить, что в 2022–2025 гг. количество МСП в рассматриваемой области возросло практически в 2 раза – с 356 предприятий в 2022 г. до 619 предприятий в 2025 г. При этом 163 новых организации было создано в 2024 г. [155, 156]

В сфере разработки и производства беспилотных надводных и подводных аппаратов в Российской Федерации работает ряд организаций, включающий как промышленные предприятия, так и научно-исследовательские институты, а также высшие учебные заведения. В то же время число разработчиков и производителей, непосредственно специализирующихся в рассматриваемой области, относительно невелико. В частности, специалисты ФГАОУ ВО «Севастопольский Государственный

Университет» [96] приводят перечень из 14 основных компаний – производителей подводных беспилотных аппаратов невоенного назначения. На основании интегрированных оценок, по данным открытых источников, можно выделить около 30 ключевых производителей надводных и подводных аппаратов в России.

Индийский рынок беспилотных авиационных систем, по оценкам международной консалтинговой организации Grand View Research [57], в 2025–2030 гг. характеризуется наиболее высокими ожидаемыми темпами роста среди стран Азиатско-Тихоокеанского региона. При этом в зависимости от выделяемых критериев оценки можно говорить о 250 ключевых производителях беспилотных систем [157] или о 48 официально зарегистрированных компаниях-производителях, выпускающих сертифицированные модели БпЛА, лицензированные Главным управлением гражданской авиации Индии [158].

Рынок беспилотных систем Исламской Республики Иран отличается закрытой структурой компаний с доминированием сегмента военного и специального назначения. Существенная часть организаций рассматриваемого сектора находится под постоянным санкционным давлением, в связи с чем онлайн-присутствие вышеуказанных организаций достаточно ограничено. Кроме того, распространена практика регулярной смены названий компаний. В Иране функционирует 5 основных (крупнейших) компаний в области производства беспилотных летательных аппаратов. При этом в официальных новостных публикациях Управления гражданской авиации Исламской Республики Иран общий объем рассматриваемого сегмента ориентировочно оценивается в 100 компаний [159].

В Индонезии, согласно оценкам национальной Ассоциации беспилотных систем и технологий [160], объединяющей организации, занимающиеся разработкой, исследованием, производством, использованием и поставкой беспилотных систем и технологий, на рассматриваемом рынке в настоящее время функционирует не менее 104 компаний (большинство из которых относится к малому и среднему предпринимательству), при этом непосредственно разработчиками являются 28 из них.

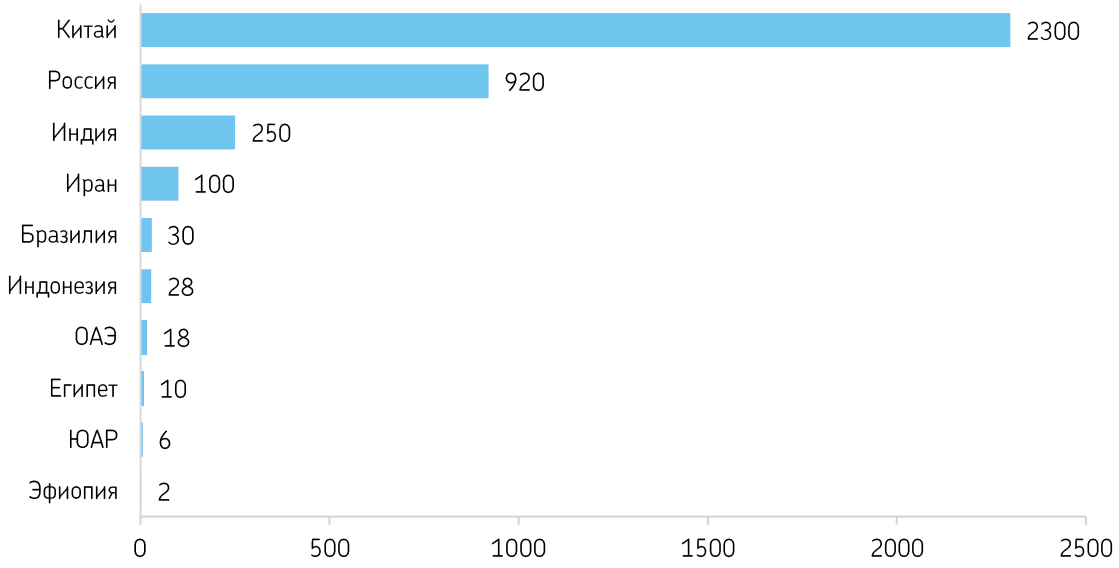
Эфиопия является активным эксплуатантом беспилотных систем, в то же время первое крупномасштабное производство беспилотных авиационных систем на базе внутренних мощностей страны – компания Sky Wing Industry – запущено в 2025 г. [63–65] Кроме того, с 2020 года на территории страны работает компания Ethio Red Fox Agricultural Drone Spraying and Manufacturing, специализирующаяся в области сборки сельскохозяйственных беспилотных воздушных судов и предоставления услуг с использованием БВС [161, 162].

Необходимо отметить, что в открытом доступе в настоящее время отсутствуют официальные оценки числа действующих производителей беспилотных авиационных систем, а также беспилотных надводных и подводных аппаратов в Бразилии. В то же время косвенные оценки маркетинговых платформ позволяют говорить о существовании более 30 производителей [163]. Аналогичным образом косвенные оценки числа производителей беспилотных систем в Объединенных Арабских Эмиратах позволяют выделить 18 ключевых организаций [164]. Информация из открытых источников, доступная относительно рыночной ситуации в Арабской Республике Египет, позволяет говорить о функционировании в стране 10 производителей беспилотных систем [66]. В Южно-Африканской Республике аналогичным образом в рассматриваемом сегменте насчитывается 6 основных компаний – производителей [59, 165].

Соответственно, если ориентироваться на сводные оценки, доступные в открытых источниках

относительно компаний – производителей на рынке беспилотных систем, среди стран БРИКС на рассматриваемом рынке можно выделить 4 ключевых «национальных игрока»: Китай, Россию, Индию, Иран (Рисунок 17).

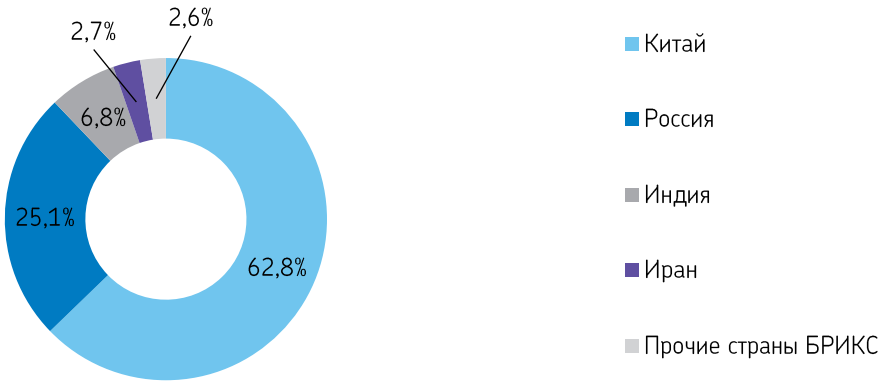
Рисунок 17. Рейтинг стран БРИКС по числу компаний – производителей беспилотных систем, ед.



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

При этом на прочие страны БРИКС: Бразилию, Индонезию, ОАЭ, Египет, ЮАР и Эфиопию – в совокупности приходится меньше 3% от общего числа компаний – производителей беспилотных систем (Рисунок 18).

Рисунок 18. Структура компаний – производителей беспилотных систем в разрезе стран БРИКС, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Более подробная информация о ключевых компаниях – производителях беспилотных систем в странах БРИКС, а также об основных продуктах и технологиях, разрабатываемых вышеуказанными компаниями, рассматриваемая в контексте обеспечения технологического суверенитета государства, приведена в следующих разделах настоящего отчета.

2.2. Компании – национальные лидеры (по странам БРИКС за исключением Российской Федерации)

В технологических направлениях, важных для обеспечения технологического суверенитета, в настоящий момент однозначно лидируют компании из Китайской Народной Республики, что связано с рядом факторов, таких как лидерство КНР в производстве коммерческих беспилотных систем, развитый и высококонкурентный сектор производства электроники и средств связи (исключительно важных для развития сферы БПЛА), активные инвестиции в передовые производственные технологии, а также крупные государственные программы технологического развития. Вместе с тем необходимо отметить, что, несмотря на существование крупных национальных игроков, сектор передового инженерного программного обеспечения в КНР развит не так сильно – активное развитие данного направления началось с 2018 года в связи с санкционным давлением, при этом американское и европейское инженерное ПО для проектирования и инженерных расчетов все еще занимает большую часть китайского рынка, что обусловлено универсальными для всех национальных рынков причинами, такими как высокий барьер входа [166].

Компании – национальные лидеры (по странам БРИКС за исключением Российской Федерации), а также представляемые данными компаниями ключевые продукты и технологии в разрезе технологических доменов сведены в Таблицу 8.

Таблица 8. Перечень компаний – национальных лидеров из стран БРИКС в области технологий, критически важных для разработки и производства беспилотных авиационных систем, а также беспилотных надводных и подводных аппаратов

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
CAXA Digital Technology (Китай)	www.caxa.com	CAD/CAE/CAM	CAXA Digital Technology – один из лидирующих китайских разработчиков инженерного ПО, предоставляющий широкую линейку CAD, CAE, CAM, PLM и MES-систем, а также облачных решений для промышленности [167]. Компания имеет несколько сотен промышленных патентов. Бизнес-модель компании основана на предоставлении интегрированных программных решений и средств организации совместной работы в единой цифровой среде. Число коммерческих клиентов превышает 30 тысяч компаний. Компания предоставляет ПО в более чем 3 тысячи образовательных организаций.
		PDM/PLM	CAXA Digital Technology Co., Ltd. – один из крупнейших китайских разработчиков промышленного ПО. На рынке PLM систем компания продвигает CAXA PLM – модульную PLM-систему, интегрированную с другими продуктами компании CAXA [168]. Основой для архитектуры CAXA PLM послужила PLM-система компании Dassault Systems. С

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			2005 года CAXA развивает свою систему как самостоятельный продукт [169].
ZWSOFT (Китай)	www.zwsoft.com	CAD/CAE/CAM	Zwsoft – лидирующий китайский разработчик систем CAD/CAE/CAM. Основанная в 1998 году компания обладает сетью из 6-ти исследовательских центров в Китае и США, в которых работает более 260 сотрудников. Клиентами компании является более 1,4 млн пользователей из 90 стран [170]. Основными продуктами компании являются ZWCAD (2D CAD), ZW3D (3D CAD/CAM) и ZWSIM (CAE). Компания также заявляет о запатентованной технологии «QuickMill» для оптимизации процессов механической обработки.
		PDM/PLM	Компания ZWSotft, помимо продуктов в сфере CAD/CAE также развивает собственную PDM-систему ZWTeammate (функциональность системы выстроена вокруг данных о продукте и позволяет разработчикам совместно работать CAD/CAE документацией. Полноценные возможности PLM-систем в решении отсутствуют [171].
Simright (Китай)	www.simright.com	CAD/CAE/CAM	Компания Simright была основана в 2016 году бывшим работником компании Altair. Основным продуктом компании Simright является облачная платформа для инженерного анализа. Продукция компании ориентирована на малый бизнес и реализуется по классической SaaS-модели (Software as a Service – программное обеспечение как услуга) с элементами freemium-подхода (бизнес-модель, которая предполагает предоставление базовой версии продукта бесплатно, с возможностью оплаты за дополнительные функции или расширенные возможности) [172]. Основные продукты компании на сегодняшний день: препроцессор Webmesher, инструменты моделирования Simulator, топологической оптимизации Toptimizer, преобразования CAE-моделей Converter, просмотра CAD/CAE-моделей Viewer и библиотека моделей [173].
Gstarsoft Co., Ltd. (Китай)	www.gstarcad.net	CAD/CAE/CAM	Gstarsoft – ведущий китайский поставщик программного обеспечения и решений 2D/3D CAD для широкого перечня отраслей, в том числе машиностроения, энергетики и производства электронных устройств.

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			В 3-х исследовательских центрах компании работает более 200 сотрудников. Бизнес-стратегия компании – создание доступной альтернативы AutoCAD с высокой совместимостью с продукцией их конкурентов и развитие облачных CAD-систем [174].
Jytra Technology Solutions (Индия)	jytra.com	CAD/CAE/CAM	Индийская компания Jytra Technology Solutions специализируется на разработке CAD/CAM-систем, консультационных услугах, дистрибуции ПО от крупных вендоров, а также обучении и сертификации. С 2006 года компания в качестве члена международного консорциума IntelliCAD развивает собственную CAD-систему ActCAD на основе IntelliCAD. Стратегия компании основана на предложении бюджетной альтернативы Autocad [175].
Yuansuan Technology (Китай)	www.yu-ansuan.com/en	CAD/CAE/CAM, Передовой цифровой инжиниринг и создание цифровых двойников	Yuansuan Technology – китайский стартап – разработчик CAE-систем, основанный в 2017 году. Основной продукт компании – облачная платформа моделирования Grewin Cloud CAE, специально разработанная для инженеров-расчетчиков. Платформа основана на открытых решениях, имеет модульную архитектуру и задействует для своей работы вычислительные ресурсы национальных суперкомпьютерных центров [176]. Переход от локальных к облачным CAE-системам рассматривается в КНР как один из способ импортозамещения в сфере инженерного ПО – 95% рынка промышленного ПО в стране все еще занято западными продуктами [177]. Помимо собственной CAE-платформы, компания Yuansuan Technology разрабатывает цифровые двойники изделий для компаний из таких отраслей как автомобилестроение, аэрокосмическая отрасль.
Paninian (Индия)	www.paninian.com	Передовой цифровой инжиниринг и создание цифровых двойников	Paninian – инновационная индийская компания, работающая в сфере аэрокосмических и оборонных технологий. Основная специализация компании – разработка цифровых двойников и автономных систем для оборонной промышленности. В компании работает 35 специалистов. Среди прочих продуктов, компания разработала цифровой двойник изделия с применением технологий ИИ для моделирования характеристик

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			и прогнозирования состояния устаревших авиадвигателей, в рамках мероприятий по продлению срока службы самолетов ВВС Индии, таких как «Jaguar» и «Сухой» [177].
4Sight BluESP (ЮАР)	4sight.cloud	Передовой цифровой инжиниринг и создание цифровых двойников	4Sight BluESP – южноафриканская компания, специализирующаяся на предоставлении программных решений для горнодобывающего сектора и машиностроения, предоставляет клиентам услуги по разработке цифровых двойников под задачи на основе разработок американской компании AspenTech (4Sight BluESP – официальный партнер и представитель AspenTech в регионе) [178].
Shenzhen JWI Software (Китай)	jwi.jwis.cn	PDM/PLM	JWI (Shenzhen JWI Software Ltd.) – ведущий китайский разработчик комплексных PLM-систем, основанный в 2007 году бывшим работником компании PTC. Компания JWI ориентируется на создание промышленного ПО нового поколения и развивает собственную PLM-платформу, реализованную по современным архитектурным и технологическим принципам Platform-as-a-service. Компания фокусируется на обслуживании высокотехнологичных отраслей (автомобилестроение и производство электроники). Ключевой продукт компании – JWI Cloud Platform – реализуется как набор микросервисов с высокой степенью кастомизации под требования заказчика [179]. В качестве отдельных возможностей разработчики системы заявляют о поддержке технологии цифровых двойников.
Siasun Robot & Automation Co., Ltd. (Китай)	en.siasun.com	Промышленная автоматизация и робототехника	Компания SIASUN основана в 2000 году как коммерческая организация, принадлежащая китайской Академии Наук. На сегодняшний день компания производит широкую линейку изделий в сфере робототехники, а также занимается системной интеграцией роботов в более чем 60 отраслях. Главными продуктами компании Siasun являются многоосевые промышленные роботы для широкого спектра применения с диапазоном полезной нагрузки от 4 до 360 килограмм [180]. Компания также производит мобильных сервисных роботов для складской логистики, а также разработала линейку шестиосевых коллаборативных роботов DUCO GCR Series Cobot [181].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
Estun Automation (Китай)	en.estun.com	Промышленная автоматизация и робототехника	Компания Estun Automation основана в Нанкине в 1993 году. За время своего существования компания из производителя сервоинверторов превратилась в одного из лидеров производства роботов в Китае и крупного экспортера. Компания обладает международной сетью из 75 сервисных центров и активно наращивает поставки на мировой рынок [182]. Лидирующий продукт компании – семейство шестиосевых роботов Estun, работающих в диапазоне 3-700 кг полезной нагрузки.
EFORT Intelligent Equipment (Китай)	www.efortrobot-ics.com	Промышленная автоматизация и робототехника	Компания EFORT производит широкий спектр роботов для сварки, покраски, перемещения грузов, а также роботов-манипуляторов типа SCARA [183]. Компания активна на иностранных рынках. В состав группы EFORT входит несколько поглощенных европейских производителей роботов.
JAKA Robotics (Китай)	www.jakarobotics.com	Промышленная автоматизация и робототехника	Робототехнический стартап JAKA (Just Always Keeping Amazing) был основан как спинофф (выделенное малое инновационное предприятие) университета Цзяотун в 2014 году [184]. Компания JAKA специализируется на коллаборативных роботах и занимает одно из лидирующих мест на китайском рынке коллаборативных роботов за счет успеха своих роботов Zu-серии. Роботы компании относятся преимущественно к легким, диапазон полезной нагрузки составляет 1-18 килограмм.
Systemantics (Индия)	www.systemantics.com	Промышленная автоматизация и робототехника	Базирующаяся в Бангалоре компания Systemantics – первый производитель полностью индийских 6-осевых манипуляторов. С 2019 года компания серийно выпускает роботы ASYSTR с полезной нагрузкой 6 килограмм, ориентированные на применение малыми и средними предприятиями [185]. Локализация производства ключевых элементов робота компании была поддержана за счет государственных субсидий Министерства науки и технологий Индии [186].
DIJ (Китай)	www.dji.com	Бортовой ИИ	Компания DJI – мировой лидер в производстве коммерческих БПЛА – реализует стратегию по наращиванию автономных возможностей своих устройств.

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			Важным элементом этой стратегии является увеличение вычислительных возможностей БПЛА за счет развития встраиваемых компьютеров Manifold, ориентированных на использование ИИ на борту БПЛА [187]. Использование встраиваемых компьютеров, созданных специально для бортового использования ИИ-алгоритмов, позволяет решать широкий спектр задач: обнаружение объектов (например, во время поисково-спасательных операций), построение сложной архитектуры маршрутов (например, при автономных съемках шахт) и осмотрах объектов. Гибридные алгоритмы позволяют осуществлять часть расчетов на борту БПЛА, а часть – на облачных серверах без задержек.
Autel (Китай)	www.autelrobotics.com/	Бортовой ИИ	Компания Autel Robotics разрабатывает собственную платформу бортового ИИ – Autonomy Engine. Платформа создается при помощи встроенных ARM/GPU-компьютеров для БВС для промышленного использования [188]. Autonomy Engine позволяет обеспечивать работу нейросетевых алгоритмов, обработку данных с сенсоров и улучшать планирование маршрутов полета без привлечения облачных вычислительных ресурсов. Автономные БВС Autel используются для проведения осмотров промышленных объектов и линий электропередачи, обеспечения поисковых задач (автоматизированный поиск объектов, трехмерное сканирование сцен происшествий) и экологического мониторинга.
AVIC (Aviation Industry Corporation of China) (Китай)	www.avic.com.cn	Бортовой ИИ	AVIC – ключевой китайский разработчик военных БВС (тип Wing Loong, GJ-2, TL-series) и систем управления для БВС. Компания разрабатывает специализированные бортовые ИИ-компьютеры, оптимизированные для задач разведки, наблюдения и распознавания объектов. Бортовой ИИ позволяет ведущим БВС от компании AVIC, таким как Wing Loong II, осуществлять автономное патрулирование, распознавать цели и анализировать данные, получаемые с радаров. Данные, собранные БВС, передаются в центр управления полетом в обработанном виде [189].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
SenseThink (Китай)	www.sensethink.cn	Mesh-сети[1]	Shanghai SenseThink Communication Technology – китайская технологическая компания, специализирующаяся на разработке и производстве передовых решений в области беспроводной связи [190]. Компания работает на всех стадиях жизненного цикла разработки: от проектирования и производства микросхем до создания готовых изделий и ПО. LeapLink® – разработка компании Sensethink – архитектура широкополосной самоорганизующейся Mesh-сети, предназначенная для обеспечения стабильной и высокоскоростной передачи данных на большие расстояния. Решения, использующие архитектуру Leapthink, отличаются от универсальных чипов для Wi-Fi Mesh-сетей использованием специализированных протоколов и аппаратных средств. В сфере БВС использование Leapthink позволяет создавать самоорганизующиеся сети из беспилотных летательных аппаратов, для управления БВС вне прямой видимости (за пределами прямой видимости) BVLOS), а также для инспектирования удаленных объектов и обеспечения связи в условиях стихийных бедствий [191].
AEE Technology (LinkAV)	www.linkavtech.com	Mesh-сети	Компания LinkAV Technology была основана в 2005 году в Шэньчжэне, КНР. Ключевая специализация компании – проектирование и производство беспроводных систем передачи данных для ведомственного (пожарная охрана и полиция) и промышленного применения [192]. Mesh-технологии – ключевой рынок для компании. Компания производит устройства для организации MANET (Mobile Ad-hoc Network) – беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, каждый узел в которых способен работать в качестве ретранслятора сигнала. Такие решения могут устанавливаться как стационарно, так и на БПЛА – для такого применения компания разработала с пециализированный Mesh-модем MANET3618 [193].

[1] В выборочный список в данной таблице включались производители систем Mesh-связи, ориентирующиеся на специальное, а не на бытовое применение. В силу этого в перечне отсутствуют лидирующие на бытовом рынке Mesh-модемов компании Huawei, Tp-Link и Xiaomi и др.

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
Taobotics (Китай)	www.taobotics.com	Mesh-сети	Shenzhen Chaowendao Intelligent Information Technology Co., Ltd. (TAObotics) – китайский разработчик мобильных технических систем. Компания была основана в 2018 году как спинофф Северо-Западного политехнического университета (КНР). Главными продуктами компании выступают наземные роботы (серий Thunder, Octopus), а также роботы для сектора услуг и образования. Помимо непосредственных робототехнических устройств компания выпускает системы связи для роботов, в том числе с применением собственных Mesh-технологий. Taobotics вместе с Северо-Западным политехническим университетом КНР была разработана линейка широкополосных Mesh-модулей для создания беспроводных самоорганизующихся сетей, предназначенных для использования в армии и спасательных службах [194]. Mesh-модемы компании доступны в трех видах: - Бортовой модуль для БПЛА; - Портативный модуль для индивидуальной переноски; - Автомобильный модуль. Mesh-модемы Taobotics предназначены для управления роями беспилотных систем, координации действий групп морских безэкипажных катеров, проведения аварийно-спасательных операций и действий по обеспечению общественной безопасности.
Hangk (Китай)	hanhgk.com	Mesh-сети	Основанная в 2020 году компания Hangk (Beijing Hanhua Gaoke Technology) специализируется на системах связи для полиции и вооруженных сил для работы в тяжелых природных условиях и в отсутствии стандартной инфраструктуры связи. Компания тесно связана с научными учреждениями из систем китайской академии наук, университета Цинхуа и Китайской военной академии [195]. Компания производит широкую линейку Mesh-устройств, в том числе HanhGk-2110097HW для малоразмерных БПЛА в расчете на роевое применение [196]. Основными сферами применения устройств компании служат организация экстренной связи при спасательных операциях, мониторинг лесных массивов, организация пожаротушения, обеспечение цифровой связи для нефтяных

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			месторождений и автоколонн, а также управление группами беспилотных систем.
Indrajaal (Индия)	indrajaal.in	Mesh-сети	Indrajaal – индийская инновационная компания (выделенное подразделение компании Grene Robotics), специализирующаяся инфраструктуре для БпЛА и разработке систем безопасности. Основное направление деятельности компании – передовые решения для борьбы с БПЛА и инфраструктурные решения для безопасной интеграции беспилотных систем в экономику [197]. Компания разработала решение SpiderMesh® Communication Network – высокоскоростную mesh-сеть с покрытием до 4 тысяч кв. км. Сеть способна оперативно сформировать «купол связи» над охраняемой территорией для осуществления передачи видеосигнала в высоком разрешении [198]. Основное применение решений компании – защита критической инфраструктуры от угроз БПЛА.
CETC 34th Research Institute (Китай)	www.gioc.com.cn	Лазерные технологии связи	34 научно-исследовательский институт – один из ключевых подразделений государственной корпорации CETC [199]. В июле 2023 года 34 институт CETC провел успешные испытания по созданию сетевой беспроводной лазерной связи между несколькими беспилотными летательными аппаратами, на которых были установлены терминалы беспроводной лазерной связи, разработанной в институте [200]. Использование лазерной связи позволило осуществлять дистанционное наведение, слежение и захват цели, и передачу аудио- и видеосигналов в высоком качестве.
Wuhan Liubo Optoelectronic Technology (Китай)	www.wh-fso.com	Помехоустойчивые ГНСС -приемники и каналообразующее оборудование для помехоустойчивой связи	Wuhan Liubo Optoelectronic Technology – коммерческая компания, основанная в 2017 году как спинофф Уханьского университета, специализирующийся на лазерных технологиях связи [201]. В 2023 году компания провела испытания коммерческого образца лазерного модуля LB50DBA-15JF, благодаря которому два мультикоптера поддерживали двустороннюю широкополосную связь на дистанции в 2 км [202]. Ключевыми нишами для разработанной технологии должны стать задача обеспечения промышленной и военной связи в условиях перегрузки радиоканалов.

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
Harxon (Китай)	www.harxon.com	Помехоустойчивые ГНСС -приемники и каналообразующее оборудование для помехоустойчивой связи	Входящая в холдинг BDStar компания Harxon – один из ведущих мировых производителей GNSS-антенн и беспроводных радиомодемов. В компании работает свыше 400 сотрудников. Компания работает по модели полного цикла – от НИОКР до массового производства и дистрибуции, специализируясь на решениях для робототехники, сельского хозяйства, беспилотного транспорта и в особенности – БПЛА [203]. Среди продуктов компании – линейка GNSS-антенн, устойчивые к помехам и подавлению связи [204]. Решения компании применяются в широком спектре отраслей – от картографии и точного земледелия до управления роботами в условиях работы средств РЭБ.
EHang Holdings (Китай)	www.ehang.com	Роевой ИИ	Компания EHang – один из ведущих китайских поставщиков решения для городской воздушной мобильности. Компания разрабатывает БпЛА для коммерческих пассажирских перевозок, средства управления умным городом [205]. Среди прочих продуктов компании – сервис EHang Aerial Light Show – воздушное шоу с использованием сотен или тысяч беспилотных систем со светодиодной подсветкой. Действия всех систем управляются оператором с одного устройства [206].
XAG (Китай)	xa.com/en	Роевой ИИ	XAG – китайская агротехнологическая компания, основанная в 2007 году. Компания реализует стратегию развития собственной экосистемы умного сельского хозяйства, предоставляет широкий спектр взаимосвязанных технологий, такие как автономные БПЛА, ИИ-решения и технологии Интернета вещей для сельского хозяйства [207]. Компания XAG разработала автономное решение на базе сельско-хозяйственных БПЛА, в рамках которого беспилотные системы осуществляют роевые операции по опрыскиванию, посеву и внесению удобрений на сельхозугодьях [208]. Также возможна обработка посевов в ночное время [209].
NewSpace Research & Technologies (Индия)	newspace.co.in	Роевой ИИ	NewSpace Research & Technologies – индийский стартап, специализирующийся на создании беспилотных систем и роевых технологиях. Значительная часть продуктов компании создается для военного применения [210].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			Помимо роев БПЛА компания также разрабатывает системы ведомых БПЛА для совместных действий с пилотируемой авиацией [211].
DJI (Китай)	www.dji.com	Техническое зрение	Система обхода препятствий APAS 5.0 от компании DJI, реализованная в модели Mavic 3 Classic, представляет собой передовую технологию, основанную на использовании комплекса из 5-ти пар стереокамер и двух инфракрасных датчиков, которые в режиме реального времени создают детализированную трехмерную карту окружающего пространства. Данная система способна автоматически рассчитывать альтернативные маршруты при скорости полета до 19 метров в секунду, при этом время реакции не превышает 150 миллисекунд. Модель Mavic 3 Classic активно используется в кинопроизводстве и для инспекции инфраструктурных объектов, где критически важно обеспечить плавное движение камеры при выполнении полетных маневров [212].
		Продвинутые технологии автономной навигации	В 2024 году DJI Automotive вывела на рынок систему LiDAR-vision, которая сочетает в себе LiDAR, стереосенсор, монокамеру с длинным фокусом и технологии инерциальной навигации. По сравнению с более распространенным на рынке сочетаний технологий «LiDAR + камера, расположенная спереди», эта система позволяет снизить затраты на 30–40 %, обеспечивая при этом 100 % производительность и обеспечивает все функции. Благодаря интегрированной конструкции решение «LiDAR-vision» также может быть встроено в салон транспортного средства, что снижает общие затраты на установку [213].
Autel Robotics (Китай)	www.autelrobotics.com	Техническое зрение	Флагманская модель EVO Max 4T XE от компании Autel оснащена мультисенсорной системой, включающей четыре пары бинокулярных камер «рыбий глаз» и миллиметровый волновой радар. Совокупный угол обзора сенсоров достигает 720°, обеспечивая полное круговое покрытие (360°) и всепогодное обнаружение препятствий. Технология меш-сети A-Mesh обеспечивает защищенную передачу HD-видеосигнала на дистанцию до 15 километров с применением шифрования AES-256. Данная технология связи

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			в сочетании с системой Autonomy Engine позволяет группе из 5–7 БВС, действующих как единый «рой», проводить автономную инспекцию линий электропередач без постоянного контроля оператора [214].
		Продвинутые технологии автономной навигации	Система Autel Autonomy Engine позволяет собирать данные об окружающей среде и планировать маршрут в трех измерениях через сложную среду. Autel Autonomy Engine объединяет традиционные бинокулярные системы визуального наблюдения с использованием радаров миллиметрового диапазона, за счет чего устраняются слепые зоны. Решение используется для построения 3D-моделей крупных объектов, обеспечения общественной безопасности и мониторинга состояния промышленных объектов [215].
Baidu Apollo (Китай)	apollo.auto	Техническое зрение	Компанией Baidu Apollo разработан продукт Apollo Lite – камероцентричная система L4 без лидаров, использующая 10 камер с 360° охватом. Apollo Lite обрабатывает видео с высокой скоростью, распознает объекты на расстоянии до 215 м и обеспечивает высокий уровень автономии L4. Отказ от дорогих лидаров снижает стоимость сенсорных систем, что критично для массового внедрения роботакси и автономных логистических платформ [216].
SenseTime (Китай)	www.sensetime.com	Техническое зрение	Компания SenseTime – мировой лидер в области компьютерного зрения. Технологический потенциал компании подтверждается портфелем, включающим более 12 500 патентов и свыше 700 научных публикаций [217]. Флагманская платформа SenseFoundry обеспечивает передовую обработку видеопотоков с городских камер наблюдения. Система автоматически анализирует видео в режиме реального времени, выявляя и структурируя данные о различных инцидентах. Платформа успешно развернута в крупнейших китайских мегаполисах, включая Пекин, Шанхай и Шэньчжэнь. Благодаря оперативным оповещениям от SenseFoundry городские службы получают возможность существенно сократить время

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			реагирования и устранения последствий инцидентов [218].
JOUAV (Китай)	jouav.com	Продвинутые технологии автономной навигации	Основанная в 2010 году компания JOUAV специализируется на разработке промышленных БПЛА VTOL (БВС вертикального взлета и посадки) и занимает более чем 50% китайского рынка таких устройств. Компанией был разработан JOUAV JOS-C700 – «умный ИИ-ангар» для БПЛА, использующий визуально-инерциальную систему навигации (SLAM, метод одновременной навигации и построения карты) и технологии позиционирования по совпадению сцен (SMPT, Scene Matching Positioning Technologies) для повышения точности автономной навигации. Система JOUAV JOS-C700 обладает радиусом действия до 50 километров. Высокая устойчивость системы к помехам и подделке сигналов GNSS обеспечивает надежную работу даже в условиях сложной электромагнитной среды [219]. Решение используется в таких областях как мониторинг, инспекции сетей электропередач и ликвидации стихийных бедствий [220].
		Спутниковые системы связи	Компания Jouav разработала многоканальную коммуникационную систему связи для своего БПЛА CW-80E, включающую в себя высокопропускную спутниковую связь через геостационарные спутники Ka-диапазона, систему коротких сообщений Beidou через национальную глобальную спутниковую навигационную систему, беспроводную mesh-сеть, базовую станцию связи LTE и систему микроволновой радиосвязи, действующей на 100-200 км. [221] Основное предназначение БПЛА CW-80E – использование в чрезвычайных ситуациях, когда нарушены дорожная и энергетическая инфраструктура и система связи [222].
Nanoradar (Китай)	en.nanoradar.cn	DAA/ предотвращение столкновений	Компания Hunan Nanoradar Science and Technology Co., Ltd – основанное в 2012 году дочернее предприятие компании Novasky, специализирующейся на разработке, производстве и дистрибуции радаров миллиметрового диапазона для ВПК, беспилотных систем и автомобильной промышленности. Разработанный компанией двухлучевой 77GHz миллиметровый радар MR72-UAV,

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			предназначен для автоматического обхода препятствий БПЛА. Nanoradar MR72-UAV поддерживает одновременный вывод информации о расстоянии, скорости и угле до 64 целей. Благодаря низкой стоимости, высокой точности, небольшому размеру и весу, а также низкому энергопотреблению, MR72-UAV может применяться в сельском хозяйстве, энергетике, промышленности, на небольших дирижаблях и в других областях [223].
Livox (Китай)	livoxtech.com	DAA/ предотвращение столкновений	Livox – дочерняя инновационная компания концерна DJI, основанная в 2016 с целью радикального сокращения расходов и увеличения темпов производства лидаров. Ключевое отличие технологии Livox от традиционных механических лидаров – переход от линейного сканирования к неповторяющимся паттернам сканирования (в форме «цветка»), за счет чего сокращается количество слепых зон и увеличивается надежность системы [224]. Решения компании используются в сфере БПЛА и мобильных роботов.
China Unicom (Китай)	www.chinaunicom.com	Спутниковые системы связи	China Unicom – один из крупнейших телекоммуникационных операторов в КНР. В 2023 году компания разработала модуль LTE связи для БПЛА. В качестве резервного канала связи с беспилотными системами реализована возможность связи со спутниками [225]. Основное предназначение проекта – мониторинг удаленных объектов и картография.
China Satcom (Китай)	chinasatcom.com	Спутниковые системы связи	China Satcom – государственный китайский оператор спутниковой связи, ключевой игрок для развития национальной спутниковой инфраструктуры, управляющий 19 современными спутниками связи. Компания разработала стандартизированные спутниковые терминалы Ka-диапазона для установки на БПЛА, для применения в условиях чрезвычайных ситуаций [226]. Стандартизированные терминалы компании могут быть установлены как на БПЛА среднего класса, так и на вертолеты и дирижабли, для развертывания интегрированных систем связи. Предполагается, что основными сферами применения такой связи должны стать ликвидация чрезвычайных ситуаций, мониторинг лесных зон и охрана государственной границы.

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
DBS/Satpro (Китай)	satpro.com	Спутниковые системы связи	Компания DBS (бренд Satro) разработала специализированный БПЛА вертикального взлета и посадки FS100, оснащенный системой связи, использующей как широкополосную спутниковую связь, так и связь 4G/5G. Такое решение позволяет размещать на борту БПЛА базовые станции 4G/5G и быстро восстанавливать локальные святи связи [227]. Основные направления применения FS100 – лесопожарный мониторинг, патрулирование электросетей и пограничных территорий, патрулирование прибрежных вод и работа в зонах стихийных бедствий [228].
Zongshen Aero Engine Company (Китай)	mobile.zsaeroengine.com	ДВС	Китайская компания Chongqing Zonsen Aero Engine Manufacturing основана в 2014 году как дочернее предприятие Chongqing Zonsen General Power Machine. Компания специализируется на разработке, производстве, дистрибуции и сервисном обслуживании авиационных двигателей. В портфеле компании представлены вертолеты, самолеты с неподвижным крылом, БВС и техника для малой авиации. Модельный ряд компании включает серию поршневых авиадвигателей мощностью от 2 до 400 л.с. Компания разработала собственные пропеллеры из углепластика (ZP1780, ZP1870), оптимизированные для двигателей мощностью 115–160 лошадиных сил. Технологические компетенции компании охватывают разработку систем зажигания для тяжелого топлива и интеллектуальных систем мониторинга состояния авиационных поршневых двигателей (EHS). По оценкам специалистов, данные разработки достигли передового международного уровня [229, 230].
Mile Haoxiang Technology Co., Ltd. (DLE) (Китай)	www.dlengine.com	ДВС	Основанная в 2007 году компания Mile Haoxiang Technology (Мировой бренд DLE) специализируется на разработке и производстве двигателей для авиамоделей, а также производит сельскохозяйственные БПЛА. В производственной линейке компании – десятки двигателей для авиационной техники и БПЛА легкого и среднего типа. Компания производит широкий ассортимент двухтактных бензиновых двигателей от 20 до 400 $см^3$. Международная репутация бренда и обширная сеть дилерских центров в более чем 30 странах

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			позволяет компании осуществлять уверенную экспансию на рынке [231].
Xiamen Limbach Aviation Engine Co., Ltd. (Китай)	www.limbach.cn/ae/index.html	ДВС	Компания Xiamen Limbach Aircraft Engine Co., Ltd. основана в 2012 году в китайском городе Сямынь. Компания выступает дочерним предприятием немецкого производителя Limbach Flugmotoren GmbH & Co. KG и специализируется на выпуске авиационных двигателей по немецкой лицензии с использованием передовых технологий [232]. Компания Xiamen Limbach занимается внедрением, адаптацией и совершенствованием ключевых технологий двигателестроения. Приоритетное направление работы — производство двигателей для БВС и легкой пилотируемой авиации общего назначения. Производственный комплекс предприятия оснащен современным оборудованием и включает собственную сборочную линию и испытательный центр. Компания осуществляет серийное производство двигателей серий L275 и L550, параллельно проводя модернизацию флагманской модели L2400. Продуктовая линейка предприятия включает не только авиационные двигатели и силовые установки для БВС, но и авиационные винты. Наличие сертификата системы менеджмента качества ISO 9001 подтверждает соответствие производства международным стандартам [233].
BG Motor (Китай)	www.china-bgmotor.com	Электродвигатели	Основанная в 1994 году компания BG Motor – китайский производитель широкого спектра электродвигателей. В портфеле продуктов представлены бесщеточные двигатели постоянного тока (BLDC), щеточные двигатели постоянного тока, планетарные и червячные редукторы, универсальные двигатели и двигатели переменного тока. Важной вехой стало открытие в 2017 году филиала в провинции Цзянсу, где был создан специализированный отдел исследований и разработок, сфокусированный на бесщеточных двигателях. Данный шаг позволил компании успешно разработать серию из более чем 20 моделей двигателей и вывести их на международный рынок. Компания BG Motor обладает технической базой и осуществляет полный цикл независимых разработок, что подтверждается наличием множественных патентных сертификатов. Особое

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			внимание компания уделяет созданию высококачественных двигателей для БВС. Разработка специализированных двигателей напрямую опирается на экспертизу компании в области технологий разработки бесщеточных двигателей и редукторов [234].
Dongyang JC Motor (Китай)	jcmotor.en.made-in-china.com	Электродвигатели	Компания Dongyang JC Motor – китайский разработчик и производитель различных типов электродвигателей, включая двигатели для БВС, бесщеточные двигатели постоянного тока и щеточные двигатели постоянного тока. Производственные мощности предприятия достигают 1,1 миллиона двигателей в год. Предприятие осуществляет полный цикл работ – от проектирования до серийного производства двигателей и контроллеров. Продукция компании применяется в таких отраслях как аэрофотосъемка, промышленная автоматизация, сельскохозяйственная техника, коммерческое оборудование и робототехнические системы. Компания работает на международном рынке, поставляя продукцию более чем в 30 стран мира. Качество продукции и соответствие международным стандартам подтверждаются сертификатами ISO 9001, CCC, UL, CE и RoHS [235].
T-MOTOR (Китай)	uav-en.tmotor.com	Электродвигатели	Китайская компания T-MOTOR основана в 2009 году. Основная деятельность компании сосредоточена на создании интегрированных пропульсивных систем для БПЛА. Технология MEPT (Modular Electric Propulsion Technology) реализована в серии A-Series. Платформа объединяет в единый модуль бесколлекторный двигатель, электронный регулятор скорости и воздушный винт, что упрощает установку и обеспечивает совместимость компонентов [236]. Технические параметры модулей предусматривают работу с LiPo-аккумуляторами 14S–24S. Диапазон создаваемой тяги составляет от 2 до 60 кг. Для конкретных моделей зафиксированы следующие показатели: F15 — 0,244 кг тяги, AT1030 — 28 кг, U15 — 63 кг. Базовая защита модулей соответствует стандарту IPX6. Сферы применения систем T-MOTOR охватывают такие задачи, как промышленный мониторинг объектов инфраструктуры, сельско-хозяйственная авиация, аэрофотосъемка с нагрузкой до 1,8 кг и грузовые платформы вертикального взлета и посадки (VTOL) [237].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
Mechtex (Индия)	mechtex.com/products/drone-motors	Электродвигатели	Индийская компания Mechtex специализируется на производстве бесщеточных двигателей постоянного тока для БВС. В линейке продукции представлены двигатели для разных типов БВС. Максимальная мощность двигателя достигает 7000 Вт, а показатель KV может составлять до 800 единиц. Конструктивные особенности двигателей обеспечивают их надежность и долговечность. Корпус изготавливается из высокопрочного авиационного алюминия марки 7075, который сочетает легкость и прочность. Медные обмотки оснащены изоляцией класса C, способной выдерживать температуру до 200 °C. Кроме того, двигатели имеют защиту от пыли и влаги согласно стандарту IP. Моторы отличаются низким уровнем шума, высокой энергоэффективностью и продолжительным сроком службы. Благодаря данным характеристикам БВС с двигателями Mechtex способны совершать длительные полеты и эффективно работать в сложных условиях эксплуатации. Продукция компании находит применение как в коммерческих, так и в промышленных проектах, связанных с разработкой и производством БВС [238].
Richenpower Technology (Китай)	www.richenpower.com	Гибридные двигатели	Richenpower Technology – китайский производитель тяжелых сельскохозяйственных БПЛА и гибридных силовых установок. [239] Гибридные системы компании способны обеспечивать полет более двух часов. В 2018 году БПЛА Owling с созданным компанией двигателем H2 совершил полет длительностью 7 часов 17 минут [240].
Zhuhai SVFFI Aviation (Китай)	www.svffi.com	Гибридные двигатели	Основанная в 2016 году компания Zhuhai SVFFI Aviation специализируется на НИОКР и производстве силовых установок для пилотируемой авиации и БПЛА, и производит, в том числе, гибридные силовые установки для мультикоптеров. В частности, компания выпускает линейку гибридных силовых установок малой и средней мощности для мультикоптеров, применяемых в таких отраслях как сельское хозяйство, аэрофотосъемка и промышленный мониторинг [241].
Mile Hao Xiang	www.dlengine.com/	Гибридные двигатели	Mile Hao Xiang Technology – компания, работающая на мировом рынке под брендом

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
Technology (коммерческий бренд – DLE) (Китай)			DLE – китайский производитель авиамодельных двигателей и двигателей для БПЛА. DLE – один из самых известных китайских производителей авиамодельных двигателей. В настоящее время двигатели компании активно применяются в БПЛА, парапланах и легких пилотируемых летательных аппаратах [242]. Ключевыми преимуществами двигателей компании является модульность компонентов (стартера, генератора и системы охлаждения), относительно низкий вес и высокая топливная экономичность.
Shandong Lianxin Power Technology Co., Ltd. (Китай)	lianxindongli.en.made-in-china.com/?pv_id=1j1vequtg13b&faw_id=null&bv_id=1j1ver43de82	Реактивные двигатели для БПЛА	Shandong Lianxin Power Technology была основана в Вэйфане в 2004 году. Сегодня Shandong Lianxin Power Technology выпускает турбореактивные двигатели различной мощности, работающие на авиационном керосине, весом от 9 до 160 кг. Двигатели компании используются для БПЛА и авиамоделей, а также устанавливаются на снегоуборочных машинах [243].
Fengcheng Hongbo Turbo Co., Ltd. (Китай)	www.hongboturbo.net	Реактивные двигатели для БПЛА	Fengcheng Hongbo Turbo основана в апреле 2010 года. Компания производит автозапчасти, детали турбокомпрессоров и турбореактивных двигателей [244]. В настоящее время в производственной линейке компании несколько небольших легких турбореактивных двигателей (JT-400N, JT-800N, JT-1000N и JT-1350N), способных к использованию в качестве силовой установки легких и средних БПЛА [245].
TURBOKOO (Китай)	turbokoo.com	Реактивные двигатели для БПЛА	TURBOKOO Technology – один из ведущих производителей турбокомпрессоров в Китае. Компания выступает как контрактный производитель (ODM, Original Design Manufacturer,) и специализируется на глубокой кастомизации своих разработок под нужды заказчика [246]. Разработанный компанией турбореактивный двигатель TK400 обладает высокой тягой (400 Н) и относительно малым весом (3,2 кг). Также компания предлагает разработку и производство турбореактивных двигателей до 1000 Н, кастомизированных под нужды заказчика [247].
HiTS (Shanghai) Hydrogen Power	www.shhits.com.cn	Водородные топливные элементы	HiTS (Shanghai) Hydrogen Power Technology Co., Ltd. – китайский разработчик водородных топливных элементов с воздушным охлаждением, обладающий крупной

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
Technology Co., Ltd. (Китай)			научно-исследовательской базой и масштабным пакетом патентов в данной области [248]. В настоящее время компания развивает три основные бизнес-сегмента: водородные топливные элементы с воздушным охлаждением, БПЛА, использующие водород и технологии производства и хранения водорода. БПЛА Atlas H100, разработанные компанией способны нести до 40 кг полезной нагрузки в течение 2х часов при температуре до минус 40 градусов Цельсия [249].
Hydrogen Craft Corporation (Китай)	www.hydrogencraft.com	Водородные топливные элементы	Основанная в 2017 году Hydrogen Craft Corporation – китайский производитель легких водородных топливных элементов, электрогенераторов на водородном топливе и БПЛА, использующих на водородные топливные элементы [250]. На основе DJI M350 компанией был создан водородный БПЛА, мощностью 1700 Вт и временем полета до 90 минут. Другая разработка компании – БПЛА FC30, способный транспортировать груз до 15 кг в течении 75 минут [251].
HyPACE (Индия)	hypace.in	Водородные топливные элементы	HyPACE – технологическое подразделение компании Urjahub Private Limited, специализирующееся на работке водородных топливных элементов для воздушного и наземного транспорта. Разработанные компанией водородные беспилотные системы (HPD) оснащены топливными ячейками собственной разработки [252]. Решения компании применяются в нефтегазовой промышленности (отслеживание выбросов газа, мониторинг факельных стеков, обнаружения утечек и коррозии и пр.), в сфере национальной обороны, в логистике и для обслуживания солнечных электростанций. В качестве ключевых преимуществ продукта называются дальний радиус действия и большая грузоподъемностью по сравнению с БПЛА на литий-ионных батареях [252].
Holo Battery (Китай)	holobattery.com	Литий-ионные батареи	Holo Battery – основанный в 2007 году китайский производитель пользовательских литий-ионных батарей. Holo Battery специализируется на батареях с высокой плотностью энергии (до 450 Вт.ч/кг), применяемых в том числе для БПЛА и пилотируемых средств городской воздушной мобильности [253].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			Ключевые преимущества продукции компании – высокая плотность энергии, длительный жизненный цикл батарей (около 3000 циклов вместо обычных 500-600) и гибкие возможности кастомизации производства под задачи заказчика [254].
CATL (Китай)	www.catl.com	Литий-ионные батареи	Основанная в 2011 году китайская компания Contemporary Amperex Technology Company Limited (CATL) – крупнейший мировой производитель литий-ионных аккумуляторов. [255] По итогам первого квартала 2025 года CATL занимает 38,3% мирового рынка аккумуляторов для электромобилей [256]. Корпорация производит широкий спектр батарей, включая сверхэффективные батареи с высокой энергетической плотностью (500 Вт-ч/кг), применимые в электросамолетах [257].
Artek Energy (Индия)	artekgroup.in	Литий-ионные батареи	Artek Energy – крупная индийская компания в сфере БПЛА, специализирующаяся на проектировании и производстве литий-ионных батарей. Компания предлагает широкий ассортимент батарей для бытовых и промышленных БПЛА [258]. Ключевое заявляемое преимущество продукции компании – кастомизация создаваемых батарей под требования БПЛА [259].
SunLipo Energy (Shenzhen) Co., Ltd. (Китай)	sunlipo.en.made-in-china.com	Высокоскоростные литий-ионные и твердотельные батареи для FPV дронов	SunLipo Energy Shenzhen – один из ведущих производитель батарей для БПЛА различных видов. Производственные мощности компании позволяют производить 50 тысяч батарей ежедневно. Компания специализируется на производстве батарей и других компонентов для легких FPV беспилотных аппаратов. Преимущества продукции компании – быстрое и гибкое производство, надежность и сертификация по многочисленным международным стандартам [260].
Weihai Carbon Fiber UAV Co., Ltd. (Китай)	www.carbonfiberuav.com	Карбоновые пластины и рамы для БПЛА	Weihai Carbon Fiber UAV Co., Ltd. – китайский производитель карбоновых рам и деталей для БПЛА. Ключевая специализация компании – изготовление монолитных и сэндвич-ТакТепанелей и рам различного форм-фактора (мультикоптеры, БВС вертикального взлета и посадки и пр.). Ключевые преимущества продукции компании – высокая прочность при сохранении малого веса, устойчивость ко внешнему воздействию и адаптация под различные виды полезных нагрузок [261].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
Jinbo Carbon (Китай)	www.kbcarbon.com	Композиционные материалы	Jinbo Carbon – основанная в 2005 году высокотехнологичная китайская компания, один из ведущих производителей высококлассных композиционных материалов на основе углерода в Китае. Компания включена в особый список инновационных компаний, выделяемых Министерством промышленности и информационных технологий КНР [262]. Jinbo Carbon производит композиционные материалы на основе углерода для таких отраслей как солнечная энергетика, производство электроники, и машиностроение [263].
Guangdong Hangyu Composite Material Technology Co., Ltd. (Китай)	www.carbonfiberproduct.com	Композиционные материалы	Основанная в 2020 году компания Guangdong Hangyu Composite Material Technology – китайский высокотехнологичный производитель изделий из углеволокна и композиционных материалов полного цикла [264]. Компания специализируется на армированных термореактивных и термопластичных композиционных материалах из углеродного волокна. Для сферы БПЛА компания производит рамы, пропеллеры из углеволокна, корпусные детали для БВС различных типов. К числу преимуществ продукции компании относится глубокая кастомизация деталей под индивидуальные требования заказчиков [265].
BLT (Китай)	www.xa-blt.com/en/	Аддитивные технологии	Китайская компания BLT специализируется на технологиях металлической аддитивной печати, в частности на лазерном сплавлении порошковых слоев [266]. Компания предлагает ряд продуктов и услуг, включая производство оборудования, контрактную печать металлических деталей, поставку металлических порошков, техническое обслуживание и разработку программного обеспечения. Разработав несколько серий металлических 3D-принтеров, BLT утвердилась как игрок на внутреннем рынке Китая по объему поставок подобных систем [266]. Решения компании применяются в различных секторах: аэрокосмическая отрасль, энергетика, медицина, изготовление промышленной оснастки и автомобилестроение [267]. Мощности BLT в области контрактного производства и НИОКР, включающие свыше 270 металлических аддитивных машин, делают компанию одним из ведущих поставщиков услуг металлической 3D-печати в стране [268].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
Farsoon Technologies (Китай)	www.farsoon.com	Аддитивные технологии	Основанная в 2009 году компания Farsoon Technologies – крупный китайский производитель промышленных систем для аддитивного производства. Компания специализируется на разработке и поставке систем лазерного сплавления порошкового слоя как для полимерных, так и для металлических материалов. Оборудование компании находит применение в различных отраслях по всему миру, включая аэрокосмическую, автомобильную, медицинскую и общее производство. В своей стратегии компания Farsoon делает ставку на открытость платформ, предлагая клиентам гибкие системы, что позволяет адаптировать процессы и материалы под конкретные производственные нужды. Для решения задач серийного выпуска продукции компания развивает высокоскоростную 3D-печать, представив в 2022 году новое поколение лазерных установок с увеличенными камерами для работы с металлами и полимерами. Устойчивость бизнес-модели компании подтверждается финансовыми результатами: в 2023 году выручка выросла на 33%, достигнув 605,7 млн юаней. Подавляющую часть доходов (87,45%) обеспечивают продажи 3D-принтеров и сопутствующего оборудования [269].
Shenzhen JR Technology (Китай)	www.china-3dprinting.com	Аддитивные технологии	Компания Shenzhen JR Technology – один из лидеров рынка аддитивного производства в Китае. Shenzhen JR Technology предоставляет высококачественные решения для аддитивного производства в таких областях как медицинская промышленность, аэрокосмическая отрасль, робототехника, производство потребительской электроники и БПЛА. Компания предлагает решения в среднем на 50% дешевле европейских и американских производителей вместе со сверхбыстрым производством – развертывание производства занимает 24 часа. Shenzhen JR Technology предоставляет полный спектр технологий аддитивного производства: 3D-печать металлическими порошками, MJF 3D-печать, SLS 3D-печать, SLA 3D-печать и FDM 3D-печать [270].
Wipro 3D (Индия)	wipro-3d.com	Аддитивные технологии	Индийская компания Wipro 3D, выделенное подразделение аддитивного производства в составе Wipro Infrastructure Engineering, является признанным лидером в сфере

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			металлической 3D-печати на индийском рынке. Опираясь на более чем 40-летний опыт Wipro Infrastructure Engineering, подразделение динамично развивается и занимает ведущие позиции на рынке. Wipro 3D предлагает решения для высокотехнологичных отраслей промышленности, таких как аэрокосмическая отрасль, оборонная промышленность, энергетическое и тяжелое машиностроение, а также автомобилестроение. Конкурентное преимущество компании – полный цикл коммерческих решений, от проектирования до запуска полноценного аддитивного производства под требования заказчика [271].

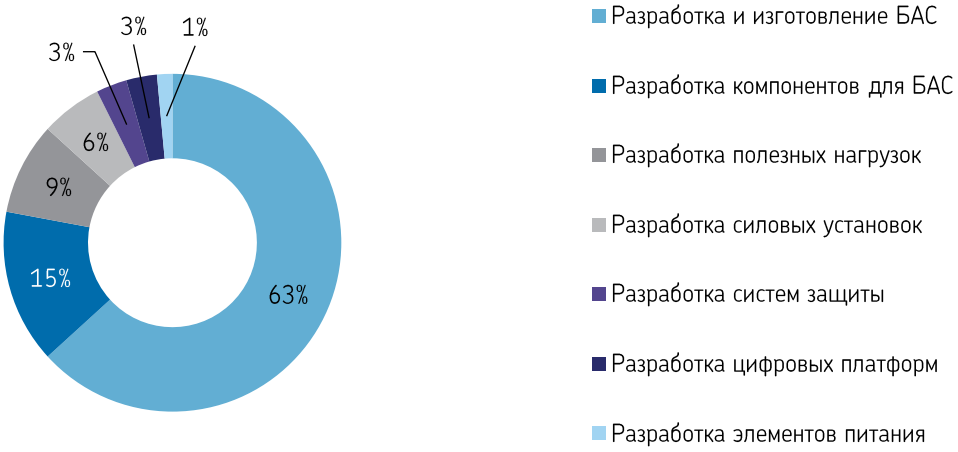
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2025

Мировой рынок коммерческих БПЛА характеризуется высокой зависимостью от производителей из КНР. В 2024 году на компанию DJI приходится более 90% продаж потребительских БПЛА в мире. На китайских производителей приходится 77% мирового производства литий-ионных батарей. На сегодняшний день Китай обладает практически целой цепочкой производства БПЛА на своей территории (с определенными ограничениями в части самых передовых электронных компонентов). В таких условиях, вероятнее всего, выход российских производителей на мировые рынки гражданских БПЛА будет осложнен не только санкционным давлением, но и серьезной ценовой конкуренцией с китайскими игроками, что потребует как поиска целевых ниш для российской продукции, так и эффективных форматов взаимодействия и создания совместных предприятий со странами БРИКС помимо КНР.

2.3. Ключевые российские компании, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по срезу технологий

Специалисты Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69–71] по состоянию на конец 2024 г. выделяют не менее 220 организаций – участников рынка беспилотных авиационных систем, из них – 150 предприятий, «открыто осуществляющих предпринимательскую деятельность, участвующих в государственных закупках, имеющих заметный объем выручки [69]». В структуре организаций, рассматриваемых Ассоциацией, преобладают компании – разработчики (непосредственно авиационных систем, ПО, полезных нагрузок, компонентов и т.д.), на которые приходится 68% от общего числа предприятий. Среди компаний – разработчиков, в свою очередь, 63% приходится на организации, деятельность которых непосредственно связана с разработкой и изготовлением беспилотных авиационных систем (Рисунок 19).

Рисунок 19. Структура российских компаний – разработчиков в отрасли БАС в 2024 г. по областям специализации, %

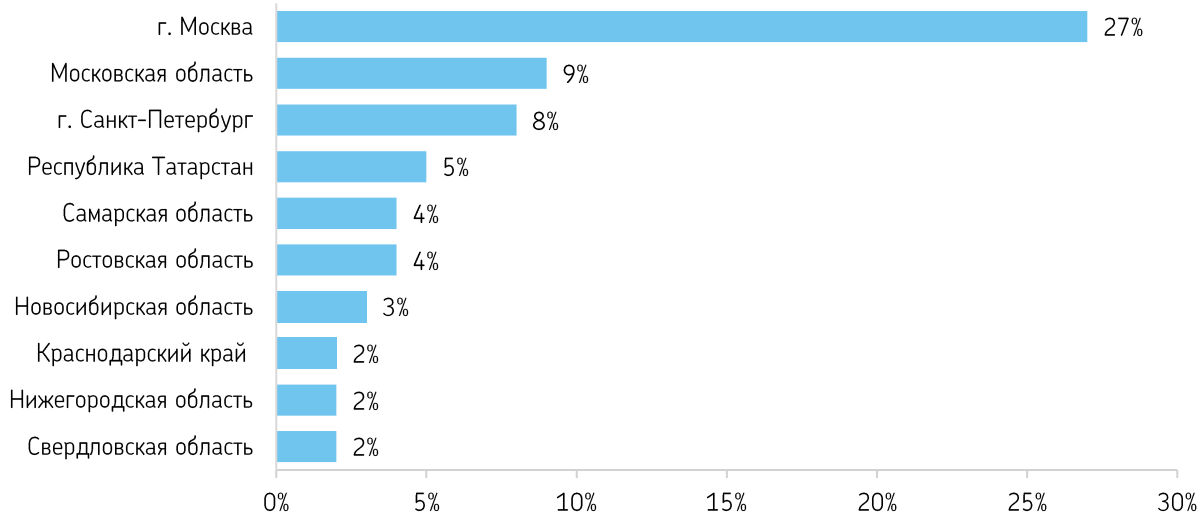


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по материалам Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» [69], 2025

Согласно дайджесту «Проекты отрасли БАС на радаре НТИ» (версия №2 от июля 2024 года) [272], в 2024 г. в области беспилотных авиационных систем в Российской Федерации зарегистрировано 1 145 проектов.

В то же время, как было отмечено выше, АО «Федеральная корпорация по развитию малого и среднего предпринимательства» [155] отмечает в настоящее время в рассматриваемом сегменте в целом 889 организаций, включая представителей МСП. При этом около половины предприятий – производителей беспилотных авиационных систем и их компонентов зарегистрировано в г. Москве, Московской области, г. Санкт-Петербурге и Республике Татарстан (Рисунок 20).

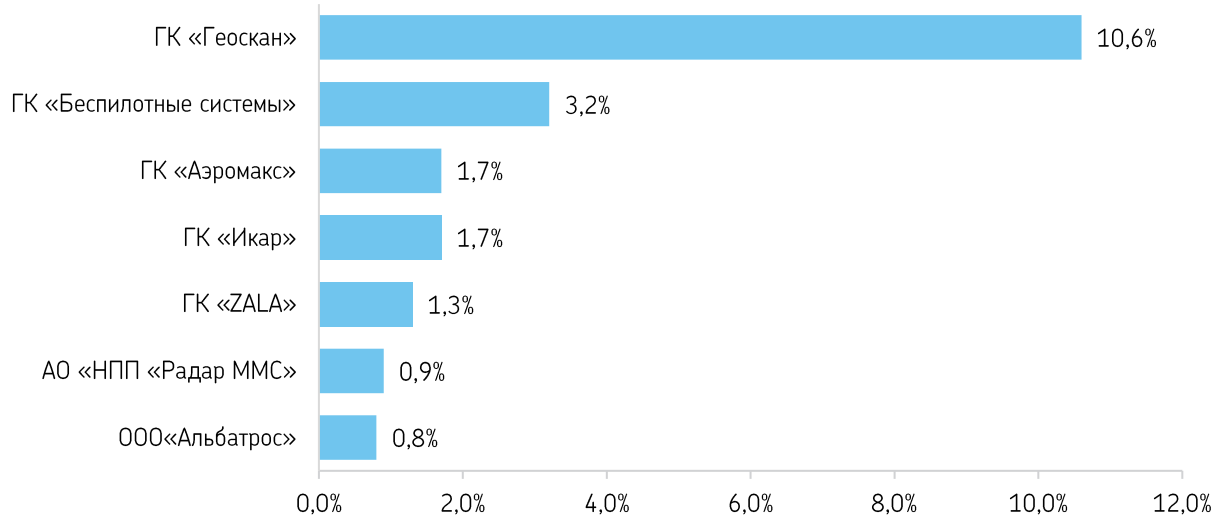
Рисунок 20. ТОП-10 регионов Российской Федерации по числу предприятий – производителей БАС и их компонентов в 2025 г., %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным Корпорация МСП [155], 2025

Необходимо отметить, что специалисты аналитического агентства TAdviser [273] выделяют 20 наиболее заметных игроков российского рынка производства БПЛА, первое место из которых занимает ГК «Геоскан». Аналогичным образом, по оценкам, приведенным в рамках соответствующего отчета аналитического агентства «ГидМаркет» [274], среди российских производителей беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения лидирует ГК «Геоскан», на которую приходится 10,6% рассматриваемого сегмента рынка (Рисунок 21).

Рисунок 21. Российские компании – лидирующие производители БПЛА гражданского назначения, % (доля рынка)



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным ГидМаркет, цит. по [275, 276], 2025

В сфере разработки и производства беспилотных надводных и подводных аппаратов в Российской Федерации работает целый ряд промышленных предприятий, научно-исследовательских организаций и высших учебных заведений. В частности, в 2024 г. был представлен надводный беспилотный комплекс для мониторинга водоемов, разработанный специалистами Петрозаводского государственного университета [277]. В 2024 г. на базе ООО «Кингисеппский машиностроительный завод» также завершены испытания и начато серийное производство первого отечественного тяжелого надводного беспилотного аппарата «Визир» [278]. В ходе конференции «Безэкипажное судовождение и морская робототехника: перспективные проекты в России и за рубежом» [95], прошедшей 25 сентября 2024 года в рамках Всероссийского Морского конгресса при участии и поддержке ключевых отраслевых федеральных и региональных ведомств, предприятий и организаций, были отдельно отмечены такие компании, как АО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин», АО «Концерн «НПО «Аврора», АО «Тетис Про», АО «НПП ПТ «Океанос». В отраслевой публикации газеты «Коммерсантъ» в числе ключевых производителей (проектантов) беспилотных подводных аппаратов определены такие организации, как ФГБУ «Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН», ФГБУ «Институт океанологии им. Ширшова» РАН, АО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», ФГУП «ОКБ океанологической техники РАН», АО «Тетис Про» [94]. В то же время специалисты ФГАОУ ВО «Севастопольский Государственный Университет» [96] приводят перечень из 14 основных компаний – производителей беспилотных подводных аппаратов невоенного назначения.

Интегрированный перечень основных игроков в сегменте разработки беспилотных авиационных систем, а также беспилотных подводных и надводных аппаратов представлен в Таблице 9.

Таблица 9. Перечень российских компаний – национальных лидеров в области разработки и производства беспилотных авиационных систем, а также беспилотных надводных и подводных аппаратов

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
ГК «Геоскан»	geoscan.ru	Технологии систем управления беспилотными аппаратами	Рой БВС «Геоскан Пионер», включающий 10 образовательных БВС (модели «Пионер Базовый» или «Пионер Мини») и соответствующее ПО. Готовое коммерческое решение, может применяться как для шоу дронов, так и для отработки алгоритмов роевого интеллекта [279]. Система навигации «Локус» обеспечивает управление БВС внутри контролируемой полетной зоны 10x10x4 метра независимо от других навигационных систем за счет сети ультразвуковых передатчиков, размещаемых в помещении, и приемника, которым оснащается беспилотное воздушное судно [280].
		Технологии связи для беспилотных аппаратов	БВС «Геоскан 201» – подтверждена возможность использования системы спутниковой связи «Гонец» для мониторинга и управления (совместный проект с АО «Спутниковая система «Гонец»), БВС оснащено экспериментальным бортовым модемом «Гонец» и антенной в специальном облегченном форм-факторе [281, 282].
		Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов	Корпус ряда моделей БВС (Геоскан 201, Геоскан 701) из композиционных материалов, крылья из вспененного полипропилена [283]. БВС «Геоскан 401» – рама из углепластика [284]. БВС «Геоскан Gemini» – в конструкции рамы и корпуса использованы композиционные материалы [285, 286].
	supercam.aero	Технологии силовых установок и батарей	Флагманский продукт – БВС «Supercam S350 / S350F» – оснащен АКБ повышенной емкости

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
ГК «Беспилотные системы»			21000mAh (совместная разработка со специалистами компании «Li-Pol Systems»), обеспечивающими максимально долгую работу от одного заряда (4,5 часа – рекорд продолжительности полета среди малых БПЛА) в сочетании с легкостью, компактностью и надежностью [287, 288]. БВС состоит из модульных элементов [288].
		Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов	Конструкция ряда БВС группы компаний выполнена из карбона и композиционных материалов (Supercam S350 / S350F [288], Supercam X4 [289], Supercam X4E [290] и др.)
ГК «Аэромакс»	aeromax-group.ru	Технологии систем управления беспилотными аппаратами	БАС вертолетного типа под брендом «SmartHELI» (выпускаемые ООО «АВС», вошедшей в состав группы компаний [291]), в основе бортового комплекса которых лежат технологии искусственного интеллекта, что позволяет им самостоятельно выполнять автономный полет, ориентируясь в пространстве среди препятствий и различных объектов при выполнении транспортные задач и задач мониторинга [292].
		Технологии силовых установок и батарей	БВС вертолетного типа «SH-750» (совместно с ГК «Икар») и мультироторное БВС на водородных топливных элементах (продолжается разработка). Разработкой непосредственно водородной силовой установки занимается ООО «Центр Водородных Технологий» по заказу группы компаний. Планируется, что такая установка сможет поднять в воздух грузовой беспилотный вертолет взлетной массой в 750 кг. [293–296]
		Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов	В производстве ГК «Аэромакс» активно используются композиционные материалы, в частности, производственные мощности группы компаний включают цеха по разработке композиционных материалов и развитию технологий их производства [297, 298].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
ГК «Икар»	ikarcenter.ru	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов	Группа компаний – инженерно-производственный холдинг, в число услуг которого входит проектирование на всех стадиях жизненного цикла изделия с использованием передовых цифровых инструментов [299].
		Технологии силовых установок и батарей	БВС вертолетного типа «SH-750» (совместно с ГК «Аэромакс») на водородных топливных элементах (продолжается разработка) [293–296]. Электродвигатель для мультироторных БВС – «ЭДМ-8724-100» – функциональный аналог иностранных изделий подобного класса [300].
		Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов	В производстве активно используются передовые композиционные материалы, в частности, производственные мощности группы компаний включают: Комплекс для изготовления композиционных материалов методом вакуумной инфузии; Раскройно-разметочный комплекс по неметаллическим материалам (1300 х 1200 мм, толщина до 50 мм); Камеру полимеризации для горячего формования (7000 х 2500 х 2500 мм) [301].
ГК «ZALA»	zala-aero.com	Технологии систем управления беспилотными аппаратами	БВС «ZALA 421-16E5G» оснащено системой полной расшифровки подстилающей поверхности с помощью нейронной сети, расположенной непосредственно на борту. Система с элементами ИИ обеспечивает дешифровку изображения, распознавание объектов и видеонавигацию. Кроме того, по словам представителей ГК «ZALA», ZALA 421-16E5G является первым в мире БВС самолетного типа и безаэродромного базирования, оснащенным гибридной силовой установкой в составе электромотора и двигателя внутреннего сгорания [302].
		Технологии силовых установок и батарей	
		Высокотехнологичные материалы	Композиционные материалы используются в конструкции ряда моделей БВС (ZALA Z-16 [303] и др.),

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
		и композиционные решения для беспилотных аппаратов	в т.ч. в конструкции носителей управляемого боеприпаса (Изделие 51-Э [304], Изделие 52-Э [305] и т.д.)
АО «ЦКБМТ «Рубин»	ckb-rubin.ru	Технологии систем управления беспилотными аппаратами	Автономный подводный аппарат «Аргус», способный также работать в составе группы до 5 однотипных аппаратов, координирующих свои действия [306]. Концепт-проект группы автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) для морских геофизических исследований – от 200 до 1000 АНПА-приемников, от 1 АНПА-передатчика (проект на стадии НИР) [307]. Глубоководный комплекс «Витязь-Д», в состав которого входит автономный необитаемый подводный аппарат для сверхглубоководных погружений (АНПА СГП) с системой управления с элементами ИИ [308–311].
		Технологии связи для беспилотных аппаратов	Система гидроакустической связи повышенной мощности, входящая в состав глубоководного комплекса «Витязь-Д» [308–311].
		Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов	В конструкции АНПА СГП «Витязь-Д» использованы титановые сплавы и сферопластик повышенной прочности [308–311].
АО «Концерн «НПО «Аврора»	aokmp.ru/aurora	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов	Компания использует собственный программный комплекс для исследовательского проектирования и моделирования, в т.ч. позволяющий проведение цифровых испытаний АНПА. Указанная система комплексного моделирования АНПА, его технического состояния, внешних условий и тактической обстановки, математической и алгоритмической отладки систем управления АНПА позволяет решать задачи эффективного одиночного применения и группового взаимодействия разрабатываемых аппаратов [312, 313].
		Технологии систем управления беспилотными аппаратами	В продуктовый портфель компании входит линейка модульных морских робототехнических комплексов

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
			легкого класса на базе АНПА [312–314].
		Технологии силовых установок и батарей	Ведутся разработки, направленные на оптимизацию используемых для обеспечения работы АНПА энергетических модулей. В частности, подтверждена возможность применения энергетического отсека воздухонезависимой энергетической установки на базе принципа электрохимической генерации – водородно-кислородного аккумулятора и газобаллонной системы хранения реагентов [312–314].
ООО «КМЗ»	kmz1.ru	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов	Продукт – тяжелый надводный беспилотный аппарат «Визир»; ключевые технологии, используемые при разработке / производстве / эксплуатации: Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC), в т.ч. разработка модели безэкипажного катера «Визир-700» при участии специалистов СПбПУ; Технологии бортового искусственного интеллекта – аппарат может работать без сопровождения оператором за счет модуля на базе ИИ, обученного на собственном наборе данных; Гиростабилизированная платформа, обеспечивающая устойчивость аппарата и стабильное положение бортового оборудования, в т.ч. при сильном ветре и волнении воды; Композиционные материалы и алюминиевые сплавы – основные материалы, используемые в производстве [278, 315–317].
		Технологии систем управления беспилотными аппаратами	
		Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов	
АО «Тетис Про»	tetis-pro.ru	Технологии связи для беспилотных аппаратов	В 2023 году (на перспективу до 2028 года) заявлен проект разработки телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА), способных работать на безэкипажных судах. В 2027 году планируется внедрить технологии, обеспечивающие удаленное управление аппаратами по спутниковой связи [318].

Компания	Сайт	Технологический домен	Ключевые продукты и технологии
АО «НПП ПТ «Океанос»	oceanos.ru	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов	В основе методологии АО «НПП ПТ «Океанос» положен «метод математического моделирования работы изделия в реальных условиях с целью формирования базы данных физического взаимодействия изделия с реальной средой. Такой научно-эмпирический метод исследования позволяет разработчикам строить более точные конечные модели как конструкции изделия, так и систем автоматического управления (САУ) аппаратом для оптимизационного математического моделирования [319]».
		Технологии систем управления беспилотными аппаратами	Система управления интервенционного автономного подводного аппарата (ЛИ АНПА) на базе ИИ обеспечивает автономную работу самого аппарата и бортового манипуляторного комплекса, в т.ч. за счет использования систем технического зрения [319–321].
		Технологии связи для беспилотных аппаратов	Система высокоскоростной подводной оптической связи 02-СПОС-44020 предназначена для беспроводной передачи данных и управления подводным аппаратом [321].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников, 2025

ГК «Геоскан» (Санкт-Петербург, год основания: 2011) – группа компаний, специализирующаяся в области разработки и производства беспилотных авиационных систем, а также ПО для фотограмметрической обработки данных и трехмерной визуализации. Один из лидеров российского рынка, поставляющий продукцию в более чем 50 стран мира. Деятельность группы компаний включает также разработку и производство малых космических аппаратов, авионики, средств беспроводной связи, систем сенсоров и датчиков. Кроме того, ГК «Геоскан» предоставляет услуги по беспилотной мультиспектральной и тепловизионной аэрофотосъемке, воздушному лазерному сканированию, геологоразведке, шоу дронов [322, 323].

ГК «Беспилотные системы» (Ижевск, год основания: 2010) – группа компаний, специализирующаяся в области разработки и производства беспилотных авиационных комплексов марки «Supercam», в т.ч. разрабатывающая соответствующее ПО и системы навигационных сенсоров и датчиков. К областям деятельности группы компаний также относится оказание услуг по аэрофотосъемке и авиапатрулированию с использованием разрабатываемых беспилотных воздушных судов [324].

ГК «Аэромакс» (Москва, год основания: 2017) – инновационный центр АФК «Система», группа компаний, объединяющая ряд разработчиков и производителей беспилотных авиационных систем на всей территории Российской Федерации. К областям специализации группы компаний относится:

- разработка и производство БАС и целевых нагрузок;
- создание цифровых решений, в т.ч. для обработки геопространственных данных и их последующей интеграции с информационными системами заказчиков;
- оказание услуг с применением беспилотных авиационных систем [322, 325].

ГК «Икар» (Москва, год основания: 2002/2024) – группа компаний, специализирующаяся в области проектирования и разработки беспилотных авиационных систем и компонентов, а также в сфере инженерных решений и научно-исследовательских работ [326]. В 2002 году создавалась как совместное предприятие Airbus и ГК «Каскол», ориентированное на проектирование и конструирование самолетов Airbus. С 2022 года данное предприятие является активом АФК «Система». В 2024 году АФК «Система» сформировала новую организационную структуру со специализацией в области беспилотных авиационных систем [327].

ГК «ZALA» (Ижевск, год основания: 2003) – группа компаний, специализирующаяся в области разработки и производства беспилотных воздушных систем, целевых нагрузок и мобильных комплексов. К областям деятельности группы компаний также относится оказание услуг авиационного мониторинга, в частности для нефтегазовой промышленности, а также подготовка операторов БАС и разработка индивидуальных курсов обучения программным решениям и тактикам применения систем. С января 2015 года группа компаний «ZALA» входит в АО «Концерн «Калашников» [322, 328].

АО «ЦКБМТ «Рубин» (Санкт-Петербург, год основания: 1901) – акционерное общество «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин» – крупнейшее в России многопрофильное конструкторское бюро морской техники. В число областей специализации компании также входит разработка и производство морских робототехнических комплексов, в т.ч. автономных необитаемых подводных аппаратов [329, 330].

АО «Концерн «НПО «Аврора» (Санкт-Петербург, год основания: 1970) – акционерное общество «Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора» – один из крупнейших российских разработчиков, изготовителей и поставщиков систем автоматического управления корабельными техническими средствами, автоматизированных систем боевого управления, а также систем для судов всех классов [331]. С 2020 года входит в состав АО «Корпорация морского приборостроения» [332].

ООО «КМЗ» (Ленинградская область / Санкт-Петербург, год основания: 2013) – общество с ограниченной ответственностью «Кингисеппский машиностроительный завод» – машиностроительное предприятие оборонно-промышленного комплекса России, специализирующееся на производстве, ремонте и поставках дизельного, газотурбинного и палубного оборудования [333, 334]. Как отмечено выше, с 2024 г. на базе предприятия завершены испытания и начато серийное производство первого отечественного тяжелого надводного беспилотного аппарата «Визир» [278]. Разработка «основы» безэкипажного катера выполнена в 2022 году совместно с Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский университет Петра Великого» [315–317].

АО «Тетис Про» (Москва, год основания: 2006) – один из ведущих российских разработчиков и производителей водолазных комплексов, специального водолазного снаряжения и роботизированных необитаемых подводных комплексов [335].

АО «НПП ПТ «Океанос» (Санкт-Петербург, год основания: 2003) – акционерное общество «Научно-производственное предприятие подводных технологий «Океанос» – предприятие, специализирующееся в области разработки и производства морских робототехнических комплексов широкого применения, включая автономные необитаемые подводные аппараты и телеуправляемые подводные аппараты [336].

Более подробная информация, в т.ч. о решениях и технологиях, критических для обеспечения технологического суверенитета, представлена в Приложении 2 к настоящему отчету «Реестр компаний, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по срезу технологий».

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧЕННЫХ В КРОСС-РЫНОЧНОЕ, КРОСС-ОТРАСЛЕВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ «ТЕХНЕТ» НТИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПРОВЕДЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

Как было отмечено в предыдущих разделах, технологии, обеспечивающие проведение цифровых испытаний изделий и, соответственно, позволяющие систематически снижать себестоимость разработок, а также наращивать скорость вывода продукции на рынок, входят в число национальных приоритетов, развитие и внедрение которых обеспечивает формирование технологического суверенитета государства, что актуально как в контексте Российской Федерации, так и в контексте иных стран БРИКС. Ключевая задача, решаемая в рамках настоящего раздела, предполагает непосредственный анализ технологий, включенных в кросс-рыночное, кросс-отраслевое направление «Технет» НТИ, обеспечивающих проведение цифровых испытаний изделий в процессе разработки беспилотных систем.

Указанная аналитическая работа проводится по следующим блокам (подразделам):

- место и роль цифровых испытаний в жизненном цикле беспилотных систем;
- ключевые методики численного моделирования физических процессов в части аэродинамики, аэроупругости, прочности, материалов в контексте проведения цифровых (виртуальны) испытаний изделий;
- технологии построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов (ВИС) и полигонов (ВИП), проведения цифровых (виртуальны) испытаний беспилотных систем;
- выводы и предложения.

3.1. Место и роль цифровых испытаний в жизненном цикле беспилотных систем

Концепция цифровых испытаний представляет собой комплексный подход к оценке характеристик, надежности и поведения изделия посредством использования вычислительных моделей, виртуальных сред и компьютерного моделирования до создания физического прототипа. Ключевые аспекты технологии цифровых испытаний включают применение математических и компьютерных моделей, системное моделирование, использование специализированного программного обеспечения, создание цифровых (виртуальных) испытательных стендов (ВИС) и полигонов (ВИП), в наиболее развитой форме, реализацию концепции цифрового двойника [337]. Основная цель цифровых испытаний – прогнозирование поведения изделия, выявление потенциальных отказов и оптимизация конструкции на основе виртуальных данных. Цифровые испытания позволяют существенно сократить затраты на натурные испытания, в частности, в контексте беспилотных систем цифровые испытания – один из способов безопасно отработать экстремальные и аварийные сценарии, потенциально возможные в процессе эксплуатации беспилотных воздушных судов, а также беспилотных надводных и подводных аппаратов [338, 339]. Однако, как подчеркивается в академических исследованиях [340], в рассматриваемой области в настоящее время сохраняется значительная терминологическая несогласованность. Ключевой проблемой является отсутствие общего словаря и общепринятой, закрепленной в авторитетных источниках терминологии. Несмотря на то, что концепция цифровых испытаний широко используется на практике, единое четкое определение указанного термина в актуальной

академической литературе отсутствует [340]. Более узкие определения, в частности, в области электроники, описывают цифровые испытания как «разработку, отладку и валидацию тестовой программы в среде моделирования, а не на физическом стенде [341]» или как «разработку и отладку изделия с использованием моделей тестируемого устройства [342]». В ряде источников [343] в качестве «цифровых испытаний» описывается подход, технически близкий к комплексному применению систем инженерного анализа (CAE), в рамках которого поведение изделия в различных средах и условиях моделируется посредством сложных расчетов, а также аналитической работы с использованием передового ПО и оборудования на начальном этапе разработки при тесном взаимодействии между специалистами: конструкторами, аналитиками и испытателями. Практикоориентированное определение предполагает, что цифровые испытания обеспечивают компьютерное моделирование условий эксперимента для подтверждения того, что продукт работает в заданных условиях, в то время как инженерный анализ в большей степени обеспечивает соответствие изделия нормативам, требованиям заказчика и законодательства. Альтернативный подход к разграничению «цифровых испытаний» и «инженерного анализа» акцентирует внимание на том факте, что функциональным аналогом проведения цифровых испытаний является изготовление прототипа и проведение натурных испытаний [340].

Процесс становления концепции и применения технологии проведения цифровых испытаний неразрывно связан с развитием вычислительных мощностей и программного обеспечения. Зарождение концепции связано с использованием инженерных расчетов и математического моделирования, выполняемых вручную, без специализированного инженерного ПО, для анализа отдельных параметров или узлов изделия. Подобные методы обладали существенными ограничениями в части точности и возможностей охвата. Указанные расчеты иногда упоминаются в литературных источниках как простейшая форма цифровых испытаний, несмотря на то что современное понимание данной концепции неразрывно связано с компьютерным моделированием. Переломным моментом стало появление и широкое внедрение специализированных программных комплексов для инженерного анализа, таких как ANSYS, NASTRAN, Abaqus, MSC Adams. Указанные инструменты позволили проводить детальное компьютерное моделирование физических явлений на основе цифровых моделей, созданных в CAD. Фокус сместился в сторону анализа отдельных физических явлений и верификации конструкции. Инструменты ANSYS и NASTRAN сыграли ключевую роль в анализе методом конечных элементов (Finite Element Analysis, FEA) и вычислительной гидродинамики (Computational fluid dynamics, CFD), позволив инженерам проводить детальное тестирование на прочность, аэродинамический анализ и тепловые расчеты [344]. Одной из самых значительных вех в истории ПО для аэрокосмического проектирования стала разработка CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) компанией Dassault Systèmes в конце 1970-х годов. Изначально созданная для удовлетворения внутренних потребностей Dassault Aviation, CATIA быстро завоевала популярность и была принята компаниями – аэрокосмическими корпорациями, такими как Boeing и Airbus. Данное ПО произвело революцию в проектировании сложных авиационных конструкций и систем, предоставив инструменты, которые обеспечили гораздо большую точность и эффективность, чем это было возможно ранее [344]. Разработка систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем), таких как Siemens Teamcenter и PTC Windchill, представила более целостный подход к управлению аэрокосмическими проектами. Программное обеспечение PLM позволяет управлять всем жизненным циклом продукта, от первоначального проектирования до производства, обслуживания и вывода из эксплуатации. Данная интеграция критически важна для обеспечения целостности данных, соответствия

нормативным стандартам и содействия сотрудничеству между различными командами и дисциплинами [344]. CAE-анализ стал ключевым инструментом на этапах детальной разработки, обеспечивая итеративное взаимодействие с процессом проектирования и проверку соответствия конструкции установленным требованиям. Прогресс в CAE-анализе создал основу для применения CAE-моделей с целью воспроизведения конкретных испытательных процедур и условий на цифровой модели изделия до изготовления физического прототипа. На современном этапе происходит переход к концепции цифрового двойника, предполагающей сквозную интеграцию мультифизического моделирования, системного подхода и данных от физических прототипов и эксплуатации (Рисунок 22) [340].

Рисунок 22. Схема трансформации места цифрового моделирования в жизненном цикле продукта



Источник: Tahera K. [и др.] (2023) [340]

Необходимо отметить, что в практике Российской Федерации указанный подход закреплен и регламентирован стандартом ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий» [345]. В частности, в рамках данного стандарта приводится официальное определение цифрового двойника изделия – «системы, состоящей из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями [345]» – а также цифровых (виртуальных) испытаний, под которыми понимается «определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) этого объекта [345]». Указанный стандарт разработан специалистами экосистемы технологического развития Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Центра НТИ «Новые производственные технологии» Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг») совместно со специалистами ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ») в 2021 году. Данный стандарт также официально переведен на китайский язык и включен в перечень взаимно признаваемых стандартов в сфере авиастроения между Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией [346].

Цифровые испытания являются важнейшим этапом оценки физических, функциональных и иных характеристик, а также безопасности автономных систем. При всем разнообразии методов тестирования их объединяет ключевое ограничение – высокая трудоемкость моделирования окружающей среды. Компьютерное моделирование физически точных датчиков требует больших вычислительных мощностей. В ряде случаев реальное время работы не гарантируется, что ухудшает

динамический отклик автоматизированных систем управления. Полное соответствие виртуальной среды реальности принципиально недостижимо: всегда сохранятся расхождения между цифровой моделью и физическим миром [347, 348]. Концепция испытаний X-in-the-Loop (XiL) предполагает создание виртуальной испытательной установки, в которой тестируемый компонент или система «X» (например, модель, программное обеспечение, аппаратное обеспечение и т.д.) интегрируется в замкнутый цикл с виртуальной средой. Реакция «X» влияет на состояние среды, которая генерирует новые входные воздействия для «X» [349]. При этом в контексте цифровых испытаний беспилотных систем используются такие методы (группы методов), как тестирование «программного обеспечения в контуре» (Software-in-the-Loop, SiL), тестирование «аппаратного обеспечения в контуре» (Hardware-in-the-Loop, HiL) и тестирование «транспортного средства в контуре» (Vehicle-in-the-Loop, ViL) [350–352].

Как сказано выше, к наиболее распространенным парадигмам XiL относится метод (или группа методов) «программного обеспечения в контуре» (SiL). Данный метод ориентирован на тестирование программного обеспечения автоматизированной системы управления беспилотным аппаратом. Он эффективен, в частности, при верификации функциональной безопасности ПО, тестировании конкретных программных модулей, таких как модули сенсорной обработки, восприятия и принятия решений.

Ключевыми преимуществами SiL являются:

- масштабируемость: возможность параллельного запуска множества тестовых сценариев или экземпляров цифровых моделей;
- высокая скорость тестирования: тестирование может выполняться значительно быстрее реального времени при наличии достаточной вычислительной мощности [353].

Метод (группа методов) «аппаратного обеспечения в контуре» (HiL) предполагает тестирование реальных аппаратных компонентов автоматизированной системы управления беспилотным аппаратом, которые интегрируются в тестовый контур с цифровым окружением. Реальное устройство взаимодействует с цифровой моделью, предоставляющей модели входных сигналов и обрабатывающей его выходные сигналы в реальном времени.

HiL рассматривается как следующий этап после SiL при разработки автоматизированной системы управления беспилотным наземным транспортным средством, воздушным судном или надводным / подводным аппаратом, однако указанная группа методов имеет ряд ограничений:

- требование системы точного реального времени: необходима гарантированная производительность стенда;
- сложность компьютерного моделирования среды: достижение необходимой точности моделирования окружающего мира и сенсоров;
- валидация моделей для обеспечения достоверности результатов;
- ограниченный охват системы: как правило, тестируется не вся система «датчики-вычисления-исполнительные механизмы», а лишь интегрированные аппаратные компоненты.

В последнем случае глубина тестирования зависит от состава включенного в контур оборудования. Следовательно, глубина и объем тестирования критически зависят от конкретного набора интегрированных аппаратных компонентов [351].

Метод (группа методов) «транспортного средства в контуре» (ViL) преодолевает ограничения HiL за счет полномасштабной интеграции физического беспилотного аппарата в контур цифровой модели. В контур включается весь комплекс бортовых систем: электронные блоки управления, сетевые интерфейсы, полный набор датчиков и вычислительное оборудование автоматизированной системы вождения. Цифровая среда генерирует синтетические сенсорные стимулы, позволяя автоматизированной системе управления функционировать в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации. ViL является заключительным этапом виртуальной верификации и валидации перед переходом к физическим испытаниям на испытательных полигонах или, в случае беспилотных наземных транспортных средств, дорогах общего пользования. Ключевое преимущество ViL состоит в проверке временных характеристик и динамического отклика автоматизированной системы управления беспилотным аппаратом в условиях детерминированного реального времени, что важно для оценки безопасности и надежности системы [354].

Испытания безопасности автоматизированных систем управления беспилотными аппаратами в виртуальной среде могут быть классифицированы в зависимости от степени контроля над окружением. Контролируемое тестирование проводится по заранее определенным сценариям в строго контролируемом виртуальном пространстве, например, на цифровом (виртуальном) испытательном полигоне с закрытыми границами, где сенсорные условия и параметры среды задаются и контролируются разработчиком. Неконтролируемое тестирование осуществляется в цифровой среде, моделирующей реальную местность, с использованием произвольных, но статистически реалистичных моделей движения трафика и динамических сенсорных условий. Для обоих типов тестирования в цифровой тестовой среде возможно определить и реализовать конкретные сценарии испытаний. Тестирование на основе сценариев является ключевым подходом при цифровом испытании беспилотных систем и помогает оценить поведенческие реакции, безопасность и детерминизм тестируемой системы автоматизированного управления. Сценарии можно классифицировать следующим образом:

- функциональные сценарии представляют собой высокоуровневое, абстрактное описание тестируемой ситуации. данные сценарии дают словесное описание местности, в т.ч. присутствующих стационарных и подвижных объектов, а также общих погодных условий и других факторов окружающей среды. такие сценарии задают общий контекст, в котором будет происходить тестирование;
- логические сценарии уточняют функциональные, задавая количественные параметры и их диапазоны, которые описывают ключевые аспекты среды функционирования беспилотного аппарата. например, они могут определять диапазон ширины полос движения, радиусов кривых, расположение дорожных знаков для беспилотных наземных транспортных средств, а также скорость и поведение динамических объектов. Однако, логический сценарий не является конкретным тестовым случаем, а задает пространство возможных вариантов, из которого будут выбраны конкретные параметры;
- конкретный сценарий или тестовый случай формируется путем выбора точных значений параметров из диапазонов, заданных в логическом сценарии. каждый тестовый случай отличается набором параметров. Именно конкретные сценарии реализуются и запускаются в инструментальной цепочке цифровых испытаний для проверки поведения и реакций автоматизированных систем управления беспилотным аппаратом [355].

Внедрение технологий проведения цифровых испытаний в процесс разработки высокотехнологичной продукции сопровождается рядом вызовов. Одной из ключевых проблем является недоверие к результатам цифровых испытаний, особенно у компаний, традиционно ориентировавшихся на натурные испытания. Недостаточная уверенность в точности и надежности цифровых моделей, а также отсутствие качественных полевых данных для создания достоверных моделей вызывают сомнения в их эффективности. С учетом вышеизложенного возникает потребность в проведении дополнительных натурных испытаний для валидации и корректировки результатов цифровых тестов, а также для количественной оценки неопределенности результатов [356, 357]. Кроме того, интеграция различных моделей, используемых разными командами, в единую систему анализа сложных изделий представляет собой технически непростую задачу. Цифровые испытания генерируют большие объемы данных, что порождает вопрос ответственности за их хранение, актуализацию и своевременное предоставление специалистам. В то же время, несмотря на отмеченные проблемы и вызовы, цифровые испытания существенно сокращают сроки и стоимость разработки, расширяют охват тестовых сценариев и способствуют более раннему выявлению проблем. Интеграция методов цифровых и физических испытаний, в том числе через концепцию цифрового двойника, позволяет повысить качество и надежность тестирования, несмотря на то, что требует решения новых задач по управлению потоками данных и обеспечению их безопасности [358, 359].

Важным шагом в институционализации цифровых испытаний в Российской Федерации стало Распоряжение Правительства Российской Федерации № 3113-р от 7 ноября 2023 года, утвердившее стратегическое направление цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности до 2030 года. Как было отмечено выше, указанный документ вводит в нормативно-правовое поле Российской Федерации термин «цифровая сертификация», под которой понимается «специализированный бизнес-процесс, основанный на тысячах (десятках тысяч) цифровых (виртуальных) испытаний компонентов и систем, цель которого – прохождение с первого раза натурных и сертификационных испытаний [20]». Данным распоряжением актуализирована Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности (Распоряжение № 1512-р от 2020 года), закрепившая цифровые испытания как один из приоритетных инструментов для снижения сроков вывода продукции на рынок. Процедура цифровой сертификации в рассматриваемом контексте подразумевает переход к бизнес-процессам, включающим проведение цифровых испытаний и управление полным жизненным циклом изделий. Кроме того, по итогам стратегической сессии, проведенной Председателем Правительства Российской Федерации Михаилом Мишустиным 7 ноября 2023 года, были сформированы предложения, устанавливающие обязательные требования к созданию промышленной продукции, производимой с привлечением бюджетных средств Российской Федерации, где ключевое требование – использование российских PLM-решений. На основе упомянутых предложений разработан проект Перспективной программы стандартизации в области поддержки жизненного цикла изделий на 2024–2026 годы [360].

Кроме того, в рассматриваемом контексте необходимо отметить опыт Китайской Народной Республики как одного из лидеров по внедрению цифровых испытаний в процессы сертификации тяжелых беспилотных воздушных систем и электрических летательных аппаратов вертикального взлета и посадки. Ключевую роль в этом процессе сыграла Администрация гражданской авиации Китая, Civil Aviation Administration of China (CAAC), реализовавшая риск-ориентированный подход к сертификации новых типов воздушных судов. В 2019 году CAAC выпустила руководство по сертификации БВС, основанное на оценке операционного риска. Данный документ позволил отказаться от применения

устаревших норм и перейти к разработке специальных требований для каждого проекта. Данный подход уже был успешно применен при сертификации пассажирского электрического летательного аппарата вертикального взлета и посадки EHang EH216-S и грузового конвертоплана AutoFlight V2000CG. Принципиально важным нововведением китайской модели стало официальное признание цифровых испытаний равноправным инструментом подтверждения летной годности наряду с физическими испытаниями. Такой подход не только существенно сократил сроки сертификации, но и обеспечил высокий уровень безопасности. Ключевое значение для регулятора имеет достоверность математических и компьютерных моделей. Основой успеха китайского подхода стала постоянная верификация цифровых моделей на основе данных предыдущих этапов – фактически, создание цифрового двойника. Для повышения доверия к цифровым методам в Китае были созданы специализированные испытательные лаборатории и сертификационные центры, в которых проводится независимая экспертиза моделей, предоставляемых производителями. Данное институциональное решение позволило выработать единые критерии приемлемости цифровых испытаний и заложить основу для формирования новых международных стандартов сертификации инновационной авиационной техники [79].

3.2. Ключевые методики численного моделирования физических процессов в контексте проведения цифровых испытаний изделий

В рамках настоящего раздела на основании актуальных научных публикаций проводится анализ методик численного моделирования физических процессов в части аэродинамики, аэроупругости, гидродинамики, аэрогидродинамики, а также прочности материалов. При этом основной задачей становится выявление методик, доказавших свою эффективность, и определение основных направлений их применения в контексте цифровых испытаний. Областями тематической фокусировки являются цифровые технологии, применяемые при проектировании, разработке, производстве и эксплуатации беспилотных авиационных систем (в т.ч. беспилотных летательных аппаратов), а также беспилотных морских систем (в т.ч. беспилотных надводных и подводных аппаратов). Соответственно, для отбора рассматриваемых публикаций использовался следующий перечень ключевых слов (по категориям):

- методы численного моделирования (Numerical Methods or Numerical Modeling);
- типы беспилотных воздушных судов, БВС или беспилотных летательных аппаратов, БПЛА (Unmanned Aerial Vehicle, UAV):
    - беспилотное воздушное судно (БВС) самолетного типа или самолетное беспилотное воздушное судно (БВС) (Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicle or Fixed-Wing UAV);
    - беспилотное воздушное судно (БВС) мультироторного типа или мультироторное беспилотное воздушное судно (БВС) (Multirotor UAV);
    - беспилотное воздушное судно (БВС) вертолетного типа или вертолетное беспилотное воздушное судно (БВС) (Unmanned Helicopter);
    - БВС вертикального взлета и посадки (Vertical Take-Off and Landing, VTOL UAV);
    - БВС гибридного типа (конвертоплан) (Tiltrotor UAV);
    - гидросамолет (Unmanned Flying Boat or Seaplane UAV);

- типы беспилотных морских судов или морских беспилотных аппаратов (Unmanned Sea Vehicle or Unmanned Marine Vehicle):
    - беспилотное надводное судно (Unmanned Surface Vehicle, USV or Unmanned Vessel);
    - беспилотное подводное судно (Unmanned Underwater Vehicle, UUV or Unmanned Submarine);
    - полупогружное беспилотное судно (Semi-submersible USV/UUV);
- типы двигательных установок:
    - электрический двигатель (Electric Propulsion);
    - газотурбинный двигатель (Gas Turbine Engine, GTE);
    - поршневой двигатель (Piston Engine);
    - водородный двигатель (Hydrogen Propulsion);
- области научного знания и предметы исследования:
    - аэродинамика (Aerodynamics);
    - аэроупругость (Aeroelasticity);
    - гидродинамика (Fluid Dynamics or Hydrodynamics);
    - аэрогидродинамика (Aerohydrodynamics);
    - материаловедение (Materials Science);
    - прочность конструкций (Structural Strength).

В Таблице 10 представлены выбранные на основе анализа публикации, наиболее широко применяемые ключевые методики численного моделирования физических процессов в части аэродинамики, аэроупругости, гидродинамики, аэрогидродинамики, а также прочности материалов в контексте проведения цифровых испытаний изделий.

Таблица 10. Ключевые методики численного моделирования физических процессов в контексте проведения цифровых испытаний изделий по данным актуальных научных публикаций

Область научных знаний и ключевые физические процессы	Применяемые численные методы	Ключевые публикации
Аэродинамика Обтекание газом/жидкостью, распределение давления, аэродинамические силы, ударные волны, пограничные слои.	Вычислительная гидродинамика, метод конечных элементов, многоуровневые модели.	Chalot et al. (2023) [361]: Улучшение стабилизированных формулировок метода конечных элементов для высокоскоростных сжимаемых течений. Esfahani (2023) [362]: Улучшения метода конечных элементов и адаптивные сетки для вычислительной гидродинамики. Maathuis et al. (2024) [4]: Применение многоуровневых моделей в аэродинамическом проектировании.

Область научных знаний и ключевые физические процессы	Применяемые численные методы	Ключевые публикации
		Sarker (2024) [5]: Физически информированные нейронные сети для многоуровневых моделей. Reimer et al. (2021) [363]: Междисциплинарное моделирование для цифровых летных испытаний. Шевченко и Муравицкая (2024) [364]: Верификация вычислительно-гидродинамических моделей БВС на экспериментальных данных аэродинамических труб. Гунчин (2023) [365]: Методика численного моделирования аэроупругости крыла. Воеводин и др. (2023) [366]: Моделирование аэродинамики самолетов на больших углах атаки и малоразмерных БВС при низких Re.
Гидродинамика Обтекание корпусов, кавитация, волнообразование и волновое сопротивление, сопротивление формы, гидродинамическая устойчивость и управляемость, взаимодействие с волнами.	Вычислительная гидродинамика, моделирование по уравнениям Навье-Стокса со средним по Рейнольдсу, моделирование крупных вихрей, моделирование отделенного вихреобразования, метод объемной доли, сглаженная частичная гидродинамика, метод граничных элементов, метод конечных элементов с учетом взаимодействия жидкости и конструкции.	Bird (2013) [367]: Анализ гидродинамического удара и испытания беспилотного летательного аппарата при посадке на воду. Du P. и др. (2023) [368]: Обзор современных методов вычислительной гидродинамики и их приложений в морской технике. Ranmuthugala & Leong (2016) [369]: Гидродинамические аспекты проектирования подводных аппаратов.
Аэрогидродинамика Взаимодействие воздушного и водного потоков, брызгообразование, гидродинамическое планирование, экранный эффект, аэродинамика на малых высотах над водой, устойчивость и управляемость	Многофазное вычислительное моделирование с методами объемной доли и методом уровня, взаимодействие жидкости и конструкции, многоуровневые модели, моделирование течений со свободной поверхностью.	Salimov (2018) [370]: Применение решения обратной краевой задачи для аналитических функций в аэро- и гидродинамике. Azanaw G. (2024) [371]: Обзор интеграции технологий цифровых двойников, BIM и ИИ в инженерных приложениях.

Область научных знаний и ключевые физические процессы	Применяемые численные методы	Ключевые публикации
на границе раздела сред, удары днищем о воду.		
Аэроупругость Флаттер, дивергенция, колебания с предельным циклом, взаимодействие жидкость-конструкция.	CAE, ROM-модели, нелинейное моделирование.	Bartels & Sayma (2007) [372]: Применение ROM-моделей и нелинейного моделирования для CAE планеров и турбомашин. Mufti et al. (2024) [373]: Применение метода главных компонент и машинного обучения для построения ROM-моделей. Reimer et al. (2021) [363]: Применение CAE для цифровых летных испытаний и анализа маневренных нагрузок. Rossow & Krol (2016) [374]: Применение CAE для сертификации.
Прочность конструкций Напряжения, деформации, распространение трещин, усталость материалов, контактное взаимодействие, ползучесть.	Метод конечных элементов, моделирование материалов,	Fredriksson (2014) [375]: Метод конечных элементов для структурного анализа, включая усталость и разрушение. Chengalva & Dang (2024) [376]: Моделирование разрушения материалов на основе экспериментальных данных. Tavares et al. (2024) [6]: Применение цифровых двойников и машинного обучения для мониторинга и прогноза.
Материаловедение Разрушение, деградация, поведение при экстремальных нагрузках, микроструктурная эволюция.	Многоуровневое моделирование, расширенный метод конечных элементов, бессеточные методы.	Hong (2023) [377]: Применение бессеточных методов и сглаженного метода конечных элементов для многомасштабного моделирования материалов. Chengalva & Dang (2024) [376]: Моделирование разрушения материалов на основе экспериментальных данных. Tavares et al. (2024) [6]: Цифровые двойники и нейронные сети с учетом физических законов для мониторинга деградации материалов и прогноза срока службы. Etim et al. (2024) [7]: Применение методов машинного обучения и нейронных сетей с учетом физических законов для мониторинга и прогноза.

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Далее на основании анализа актуальных научных публикаций приводится более подробное описание каждой группы процессов и соответствующих методик.

1. Аэродинамика

Вычислительная гидродинамика представляет собой базовый инструмент аэродинамического анализа, позволяющий моделировать течение жидкости вокруг авиационных конструкций. Для дискретизации уравнений Навье-Стокса, описывающих поведение жидкости, широко применяются метод конечных элементов и метод конечных объемов [361, 362]. Данные методы позволяют прогнозировать распределение давления, подъемную силу и силу сопротивления, что критически важно для оптимизации аэродинамической формы крыльев БВС самолетного типа, снижения лобового сопротивления корпусов БМС или минимизации волнового сопротивления гидросамолетов, а также выявлять критические особенности течения, такие как ударные волны и пограничные слои.

В последние годы достигнуты значительные улучшения в стабилизированных формулировках метода конечных элементов, что повысило точность и устойчивость расчетов вычислительной гидродинамики, особенно для высокоскоростных сжимаемых течений [361, 362]. Стабилизирующие добавки обеспечивают подавление численных неустойчивостей и корректное разрешение областей с резкими градиентами. Кроме того, интеграция методов адаптивного сгущения сетки обеспечивает оптимизацию вычислительных ресурсов, позволяя получать результаты высокого разрешения в областях интереса при сохранении общей эффективности расчетов [362].

В аэродинамическом проектировании получила распространение концепция многоуровневых моделей, которые сочетают низкоточные и высокоточные подходы для балансировки вычислительной стоимости и точности [4, 5]. В частности, нейронные сети с учетом физических законов применяются для предсказания высокоточных решений на основе данных низкоточных моделей, что позволяет ускорить итерации проектирования при разработке новых конфигураций, таких как конвертопланы или гибридные БВС вертикального взлета, где взаимодействие несущих систем сложно и требует быстрого анализа множества вариантов [5].

В контексте цифровых испытаний продукции расчеты вычислительной гидродинамики и многоуровневые модели являются неотъемлемыми инструментами для виртуальных летных испытаний. Высокоточные инструменты моделирования позволяют анализировать явления на стыке различных дисциплин, включая аэродинамику, структурную динамику и силовые установки [363]. Использование данных инструментов способствует верификации характеристик летательных аппаратов в реалистичных условиях эксплуатации, что снижает необходимость в физических прототипах и ускоряет процесс проектирования [363, 374].

Российские исследования в области аэродинамики развивают указанные направления. В частности, недавно была представлена верификация вычислительно-гидродинамических моделей БВС дозвукового диапазона на основе экспериментальных данных аэродинамических труб [364]. Данные исследования подтверждают необходимость экспериментальной валидации численных моделей.

Недавно были предложены методики двусторонне связанного вычислительно-гидродинамического и метода конечных элементов моделирования аэроупругого поведения крыла с использованием ПО Star-CCM+ и Abaqus [365]. Другие отечественные исследования охватывают моделирование аэродинамики гражданских самолетов на больших углах атаки и малоразмерных летательных аппаратов

в условиях низких чисел Рейнольдса, что имеет практическое значение для разработки беспилотных воздушных судов, особенно малоразмерных и низкоскоростных аппаратов, работающих в режимах, где классические модели могут давать значительную погрешность [366].

2. Аэроупругость

Вычислительная аэроупругость объединяет методы вычислительной гидродинамики и вычислительной структурной динамики для анализа взаимодействия аэродинамических сил и деформаций конструкции. Этот подход необходим для прогнозирования таких явлений, как флаттер, дивергенция и колебания с предельным циклом [372], в особенности в конструкциях с гибкими элементами: длинными крыльями БВС самолетного типа, лопастями несущих винтов мультироторных БВС и конвертопланов, или гибкими корпусами БВС.

Точность расчетов в рамках инженерного анализа (CAE) критически зависит от корректного моделирования нелинейного поведения конструкции, особенно в случаях больших деформаций и материальной нелинейности. Современные исследования сосредоточены на разработке моделей пониженного порядка (Reduced Order Models, ROM-моделей), направленных на повышение эффективности и точности расчетов аэроупругости. Данные методы применяются как при проектировании планеров, так и турбомашин [372].

Для снижения вычислительной стоимости расчетов аэроупругости широко применяются модели сокращенной размерности. Данные методы упрощают управляющие уравнения, сохраняя основную динамику системы. Метод собственного ортогонального разложения и методы машинного обучения применяются для построения ROM-моделей, что позволяет проводить расчеты в реальном времени, оптимизировать проектирование и оценивать неопределенности [373, 378], в частности, для задач активного подавления флаттера или анализа динамической устойчивости БВС в широком диапазоне скоростей и конфигураций.

В цифровых испытаниях продукции инструменты CAE применяются для моделирования поведения авиационных конструкций в различных полетных условиях. Цифровые летные испытания, проведенные Немецким аэрокосмическим центром (German Aerospace Center, DLR), подтвердили возможность высокоточного моделирования продольных и многоосевых маневров с использованием интегрированных вычислительных сред [363]. Данные инструменты также применяются для анализа маневренных нагрузок и разработки процессов сертификации на основе численного моделирования [363, 374], что может быть использовано для некоторых типов БВС (маневренные самолетные БВС) или БМС.

3.Прочность конструкций

Метод конечных элементов является базовым инструментом структурного анализа, позволяя моделировать напряжения, деформации и перемещения при различных условиях нагружения. Данный метод применяется для решения линейных и нелинейных задач, включая моделирование распространения трещин, контактный анализ и оценку усталостной долговечности [375], а также оценку прочности легких композитных конструкций планеров БВС самолетного и мультироторного типа, анализ рам двигательных установок, расчет на прочность корпусов БМС, подверженных гидродинамическим ударам или давлению на глубине, моделирование контакта при посадке БВС или швартовке БМС.

Моделирование поведения материалов критически важно для прогнозирования механического отклика конструкций в экстремальных условиях эксплуатации. Подход, основанный на использовании экспериментальных данных о свойствах материалов для построения трехмерных определяющих уравнений, успешно применяется для моделирования процессов разрушения [376]. Данная методология особенно эффективна при анализе перспективных материалов, таких как композиты, которые широко применяются в современных БВС для снижения массы, а также при оценке стойкости материалов корпусов БМС к коррозии в морской среде или эрозии гребных винтов в различных условиях нагружения и внешних воздействий [376].

Анализ усталости и разрушения является ключевым направлением для оценки долговечности авиационных конструкций. Метод конечных элементов широко применяется для моделирования развития трещин и прогнозирования усталостного разрушения при циклическом нагружении [375]. Современные исследования сосредоточены на разработке расширенного метода конечных элементов для точного моделирования зон концентрации напряжений и особенностей напряженно-деформированного состояния.

Разрушение при высоких температурах является критической проблемой для авиаконструкций, эксплуатирующихся в условиях экстремального термонагружения. Численные методы, в частности метод конечных элементов, применяются для моделирования ползучести и высокотемпературного разрушения, что позволяет проектировать конструкции с повышенной термической стойкостью [375].

В цифровых испытаниях продукции метод конечных элементов применяется совместно с многоуровневым моделированием и анализом усталостных повреждений для прогнозирования поведения конструкций при различных режимах эксплуатации. В частности, технологии виртуальных испытаний позволяют выявлять критические области и оптимизировать конструктивные решения для повышения надежности [375, 376], что может быть использовано для ключевых узлов БВС и БМС: посадочных устройств, точек крепления полезной нагрузки, соединений крыла с фюзеляжем.

4. Материаловедение

Моделирование материалов играет ключевую роль в прогнозировании механического поведения конструкций в экстремальных условиях. Подходы, основанные на фундаментальных характеристиках материала и формулировке трехмерных уравнения состояния, применяются для моделирования разрушения, в том числе композитных материалов, в различных условиях окружающей среды [376].

Многомасштабное моделирование играет ключевую роль в понимании поведения материалов на микро-, мезо- и макроуровнях, позволяя явно учитывать неоднородности структуры материала и дефекты. Современные бессеточные методы и метод сглаженных частиц существенно повышают точность многомасштабного моделирования, особенно применительно к материалам со сложной микроструктурой [377], таким как композиты для БВС или высокопрочные коррозионностойкие сплавы и полимеры для корпусов и систем БМС.

Интеграция технологий цифровых двойников и методов машинного обучения, включая физически информированные нейронные сети, обеспечивает мониторинг состояния конструкций в режиме реального времени, уточнение моделей конструкций и реализацию планового технического обслуживания [6, 7], что актуально для критически важных узлов БВС и БМС, таких как несущие конструкции и силовые элементы БВС или движительно-рулевые комплексы БМС, подверженные коррозии и

кавитационной эрозии.

В цифровых испытаниях продукции многомасштабное моделирование и расчет усталостной долговечности используются для прогнозирования поведения материалов в широком диапазоне условий эксплуатации. Например, методы моделирования материалов использовались для моделирования баллистического удара и других экстремальных видов нагружения, что позволяет проектировать легкие и долговечные конструкции [376]. Кроме того, цифровые двойники использовались для мониторинга деградации материалов и прогнозирования остаточного срока службы, снижая затраты на техническое обслуживание и повышая безопасность [6].

5. Гидродинамика и аэрогидродинамика

Гидродинамика играет ключевую роль при проектировании и анализе поведения беспилотных морских систем, включая подводные и надводные аппараты. Численные методы, такие как вычислительная гидродинамика, применяются для оценки сопротивления воды, анализа кавитации, оптимизации формы корпуса, расчета маневренности и оценки воздействия волн и течений. Особенно важны вопросы гидродинамического удара при посадке или интеграции аппарата с поверхностью воды, а также оценка износа движителей и устойчивости на курсе [367, 369].

Моделирование переходных процессов и экстремальных воздействий играет ключевую роль, в частности прогнозирование гидродинамического удара при посадке на воду, работе в штормовых условиях или на режиме глиссирования, где возникают значительные динамические нагрузки на конструкцию. Для движительно-рулевых комплексов моделирование позволяет оптимизировать форму лопастей под неравномерный натекающий поток, повысить КПД, снизить шумность и прогнозировать кавитационную эрозию – критичный фактор долговечности.

Аэрогидродинамика охватывает процессы взаимодействия воздушных и водных потоков и критична для гибридных платформ, способных функционировать как в атмосфере, так и в гидросфере. Использование аэрогидродинамических моделей позволяет анализировать переходные эффекты, в частности, выход БВС на глиссирование или приводнение аппарата, где сочетается воздействие воздушной и водной среды [368, 370].

Применение инструментов на базе искусственного интеллекта, а также внедрение концепции цифровых двойников в деятельность инжиниринговых центров и производственных предприятий расширяет и дополняет возможности традиционных методик численного моделирования физических процессов в части аэродинамики, аэроупругости, гидродинамики, аэрогидродинамики и прочности материалов в контексте проведения цифровых испытаний изделий. Цифровые двойники обеспечивают мониторинг нагрузок в реальном времени, прогнозирование износа и оценку остаточного ресурса конструкции, в частности, на основе данных о кавитации и эрозии. Методы искусственного интеллекта ускоряют оптимизацию форм, улучшают идентификацию моделей по телеметрии и способствуют разработке адаптивных систем управления, учитывающих изменение характеристик аппарата и внешних условий [371].

3.3. Технологии построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, проведения цифровых испытаний беспилотных систем

Признанным лидером среди стран БРИКС в части цифровой трансформации производства, также занимающим сильные позиции в рассматриваемой области в мире в целом, является Китайская Народная Республика. Как упомянуто выше, нормативно-правовые акты, регламентирующие признание результатов цифровых испытаний в области производства и эксплуатации беспилотных систем в Китае, начали оформляться в 2019-2020 годах. В частности, в 2019 году Администрация гражданской авиации Китая опубликовала «Руководство по сертификации летной годности беспилотных летательных аппаратов на основе эксплуатационных рисков» [379], заложившее основы для формирования системы стандартов на базе гибкого риск-ориентированного подхода, предполагающего зависимость формата необходимых доказательств соответствия установленным стандартам и нормативам (в частности, выбора между цифровыми и натурными испытаниями) от потенциальной опасности аппарата и сценариев его применения [79]. В 2020 году опубликованы «Административные процедуры сертификации летной годности гражданских беспилотных летательных аппаратов» и «Руководство по оценке рисков в рамках экспертизы летной годности систем гражданских беспилотных летательных аппаратов», ставшие первыми нормативно-правовыми актами, основанными на вышеуказанном подходе [380]. В рассматриваемом контексте необходимо отметить также «Стандарты летной годности для БПЛА самолетного типа, предназначенных для перевозки грузов повышенной опасности» [381], устанавливающего соответствие натурных испытаний и «расчетов, которые по точности эквивалентны натурным испытаниям [381]».

В российской нормативной практике официальное определение цифровых (виртуальных) испытательных стендов (ВИС) и цифровых (виртуальных) испытательных полигонов (ВИП) закреплено стандартом ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий» [345]. Необходимо подчеркнуть, что с 2023 года указанный стандарт официально переведен на китайский язык и включен в перечень взаимно признаваемых стандартов в сфере авиастроения между Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией [346]. Соответственно, под цифровым (виртуальным) испытательным стендом понимается «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 [345]». Цифровой (виртуальный) испытательный полигон, в свою очередь, определяется как «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 [345]».

Как отмечено выше, с ноября 2023 года в рамках Распоряжения Правительства РФ от 07.11.2023 № 3113-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности, относящейся к сфере деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и внесении изменений в Распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 июня 2020 г. № 1512-р» [20] в российское нормативно-правовое поле введено понятие «цифровая сертификация». При этом указанное Распоряжение выделяет разработку математических и компьютерных моделей с высокой степенью адекватности, прошедших процедуры верификации и валидации и проведение цифровых (виртуальных) испытаний на цифровых (виртуальных) испытательных стендах и цифровых (испытательных) полигонах в числе

ключевых направлений и инструментов, способствующих наращиванию объемов промышленного производства, снижению себестоимости разработки и увеличению скорости вывода продукции на рынок [20].

В Таблице 11 представлены примеры применения технологий построения ВИС и ВИП, проведения цифровых (виртуальных) испытаний в контексте беспилотных систем в странах БРИКС, доступные по данным открытых источников.

Таблица 11. Примеры применения технологий построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, проведения цифровых (виртуальных) испытаний в контексте беспилотных систем

Организации	Страна	Год	Кейс: ключевые характеристики
Уханьский технологический университет (Wuhan University of Technology), Zhuhai Yunzhou Intelligence Technology Ltd. (Yunzhou-Tech), Китайское классификационное общество (China Classification Society), Правительство города Чжухай	КНР	2018	Испытательный полигон для беспилотных судов у побережья Чжухай в провинции Гуандун, включающий также программно-аппаратную среду для проведения цифровых (виртуальных) испытаний [382, 383].
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ), Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» / Институт передовых производственных технологий (ИППТ) СПбПУ, ООО «ЛВМ-Инжиниринг»	Россия	2018-2019	Комплекс НИОКР «Виртуальный аэродинамический полигон для тестирования беспилотных летательных аппаратов». Цель – создание ВИП для аэродинамического тестирования цифровых прототипов БВС в широких диапазонах реалистичных условий окружающей среды и сценариев полета. Результат: ВИП, предназначенный для моделирования аэродинамических воздействий на проектируемые летательные аппараты, что позволяет сокращать на 90% количество натурных испытаний за счет использования валидированных расчетных случаев [384].
Embraer S.A., Федеральный	Бразилия	2019	Разработка и производство первого в Бразилии БВС самолетного типа.

Организации	Страна	Год	Кейс: ключевые характеристики
университет Эспириту-Санту (Universidade Federal do Espírito Santo)			При проектировании, до проведения натурных испытаний, автономные системы навигации проходили испытания в виртуальной среде [385].
Институт технологических инноваций (Technology Innovation Institute)	ОАЭ	2021	Открытие первого в регионе центра, оснащенного оборудованием для захвата движения (MOCAP). Программно-аппаратная инфраструктура центра обеспечивает высокоточное моделирование полетов над Абу-Даби для проведения экспериментов и тестирования БВС в виртуальной, дополненной и смешанной реальности [386].
Нанкинский университет аэронавтики и астронавтики (Nanjing University of Aeronautics and Astronautics)	КНР	2021-2025	Регулярный образовательный курс, выстроенный на базе проблемно-ориентированного подхода, предполагающий сборку и моделирование группового взаимодействия мультироторных БВС с использованием университетской виртуальной платформы [387].
Стелленбосский университет (Stellenbosch University)	ЮАР	2022	Разработка системы управления полетом БВС самолетного типа, обеспечивающей посадку БВС на компактную движущуюся платформу. Система управления реализована в программном обеспечении PX4 и прошла виртуальные испытания [388].
Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг», Россия	Россия	2023	Разработка и производство электрического БВС гибридной компоновки (сочетание мультироторной и самолетной схем), «Снегирь-1». Характеристики: размах крыльев – 3,4 метра, взлетная масса – 10 кг, дальность полета – 200 км, максимальная скорость – 180 км/ч, площадка для вертикального взлета-посадки – 10х10 метров.

Организации	Страна	Год	Кейс: ключевые характеристики
			Проектирование и моделирование проводилось на Цифровой платформе разработки и применения цифровых двойников CML-Bench® и легло в основу создания платформ проектирования БВС (CML-UAV™) и производства БВС (CML-DRONE™). Срок от идеи до первого полета БВС: 5 месяцев [389–391].
Инженерно-технологический колледж (J.J. College of Engineering and Technology, JJCET	Индия	2023	Создание на базе колледжа Центра исследований беспилотных воздушных судов с искусственным интеллектом, инфраструктура которого включает систему для проведения цифровых испытаний БВС в виртуальной среде [392].
Чжэцзянский университет (Zhejiang University)	КНР	2023-2024	Образовательный курс, выстроенный на базе проблемно-ориентированного подхода, предполагающий проектирование и проведение испытаний автономного подводного необитаемого аппарата с использованием университетской виртуальной платформы цифрового моделирования [393, 394].
Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг»	Россия	2024	Разработка и производство БВС с вертикальной посадкой и взлетом (VTOL) «Снегирь-1.5» – модификация БВС «Снегирь-1» в части внешнего облика, компоновки, используемых материалах и оснастки. Характеристики БВС: размах крыла – 4,32 м; максимальная взлетная масса – 15 кг; масса полезной нагрузки – 3 кг; расчетная скорость полета – 200 км/час; дальность полета на расчетной скорости – 200 км; время на выполнение расчетного полета – 70 мин. Специфика проекта – значительное число проведенных виртуальных испытаний, заложивших основу

Организации	Страна	Год	Кейс: ключевые характеристики
			формирования полноценной среды разработки и цифровой сертификации БВС. В частности, в ходе проекта разработано более 30 ВИС [389, 391].
Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг» (исполнитель), АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем» (заказчик)	Россия	2024	Контракт «Оказание услуг по развитию системы построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, проведение цифровых испытаний элементов беспилотных летательных аппаратов на базе единой цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников БАС». Цель – развитие системы построения ВИС и ВИП, проведение цифровых испытаний элементов БВС на базе единой цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников БАС, в т.ч. работы по созданию модульной архитектуры и адаптации функциональных модулей платформы, поставку программно-аппаратного комплекса в составе оборудования программной части и обучение технических специалистов заказчика администрированию, поддержке и работе с платформой [391].
Передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии Московского физико-технического института (МФТИ)	Россия	2024	Разработка ВИП для проведения и анализа результатов испытаний цифровых двойников БВС. Программно-аппаратный комплекс представляет собой суперкомпьютер, функционирующий полностью на отечественном ПО – операционной системе Astra Linux, – на котором можно моделировать любые пространства, локации и объекты с полным соблюдением законов физики [395, 396].

Организации	Страна	Год	Кейс: ключевые характеристики
Университет науки и технологий Циндао (Qingdao University of Science and Technology)	КНР	2024	Создание на базе университета научно-исследовательского центра моделирования и испытаний низковысотных беспилотных систем, деятельность которого предполагает разработку и активное применение ВИС и ВИП для проведения испытаний беспилотных систем типа «воздух-космос-земля» [397].
Eve Air Mobility, Embraer, Dassault Systèmes	Бразилия	2024	Совместная разработка бразильского авиастроительного конгломерата Embraer и его дочерней компании Eve Air Mobility электрического воздушного судна с вертикальной посадкой и взлетом (Electric Vertical Take-Off and Landing, eVTOL) с использованием виртуальной среды SIMULIA PowerFLOW для моделирования, проектирования и проведения цифровых (виртуальных) испытаний [398].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» по данным открытых источников

Необходимо отметить, что информация, непосредственно относящаяся к разработке беспилотных систем, в т.ч. – к используемому в процессе проектирования и проведения испытаний передовому инженерному программному и аппаратному обеспечению, преимущественно носит закрытый характер, что обусловлено, как соображениями, связанными с защитой коммерческой тайны, так и спецификой сектора военного и специального назначения. В то же время, виртуальные платформы активно используются в учебных проектах в ходе разработки и проведения испытаний беспилотных систем в рамках образовательного процесса, выстраиваемого на проблемно-ориентированном подходе к обучению, а также в научно-исследовательских проектах.

Важно отметить, что сертификация беспилотных систем в рамках традиционных процедур сопряжена со значительными трудностями, обусловленными новизной конструктивных решений, используемых материалов и программного обеспечения. С учетом сказанного выше и того факта, что беспилотные системы отличаются автономным или дистанционным характером функционирования и, как правило, отсутствием экипажа на борту, в рассматриваемом контексте особое значение приобретают цифровые методы испытаний, включающие компьютерное моделирование летных характеристик, работы систем и прочности конструкций, в т.ч. использование цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, способные существенно сократить затраты и сроки разработки. В то же время, для признания регуляторами результатов цифровых (виртуальных) испытаний в качестве эквивалентных

натурным, требуется разработка надежных процедур валидации и верификации используемых моделей. При этом рассмотренные кейсы иллюстрируют, что испытания с применением цифровых инструментов и численного моделирования могут стать полноценным элементом системы подтверждения соответствия разрабатываемых изделий установленным стандартам и требованиям. В рассматриваемом контексте развитие технологии цифровых двойников и переход к цифровой сертификации имеют критическое значение для достижения технологического суверенитета и обеспечения технологического лидерства Российской Федерации.

3.4. Выводы и предложения

В рамках подготовки настоящего отчета проведено исследование по срезу технологий технологического суверенитета кросс-рыночного кросс-отраслевого направления «Технет» НТИ в странах БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай (Китайская Народная Республика, КНР), Южно-Африканская Республика (ЮАР), Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ), Иран (Исламская Республика Иран), Египет (Арабская Республика Египет), Эфиопия и Индонезия), обеспечивающих проведение цифровых (виртуальных) испытаний изделий в процессе разработки высокотехнологичной продукции. Областями тематической фокусировки данного исследования стали цифровые технологии, применяемые в контексте проектирования, разработки, производства и эксплуатации беспилотных авиационных систем (в т.ч. беспилотных летательных аппаратов), а также беспилотных морских систем (в т.ч. беспилотных надводных и подводных аппаратов). К задачам настоящего исследования также относилось выявление ключевых направлений развития, которые могут быть использованы для повышения уровня готовности технологий [399].

Ниже представлен ряд положений и выводов, полученных в результате проведенного исследования, формирующих основу предложений, содействующих развитию указанных технологий.

По оценкам международных консалтинговых и маркетинговых агентств и иных исследовательских организаций, мировой рынок беспилотных систем в последние годы демонстрирует уверенный рост. При этом в 2025-2030 годах ожидается наращивание общего объема рынка от 25-27 млрд долл. до 44-47 млрд долл. (ожидаемый среднегодовой прирост рынка в рассматриваемом периоде оценивается экспертами в 8-13% в зависимости от используемой методики и доступных исходных данных).

Для Российской Федерации, равно как и для стран БРИКС в целом, беспилотные системы остаются одной из критически важных зон, особенно значимых в контексте обеспечения технологического лидерства государства. В частности, продукты и решения, разрабатываемые в рамках рассматриваемого направления, согласно Указу Президента РФ от 18 июня 2024 года № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий», относятся к числу национальных приоритетов научно-технологического развития. Кроме того, для решения задач, связанных с развитием указанного направления, в России в настоящее время реализуются Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 г. и на перспективу до 2035 года, а также национальный проект «Беспилотные авиационные системы». При этом, наряду с вышеуказанным проектом «Беспилотные авиационные системы», в рамках реализации стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года определены проекты «Автономное судовождение» и «Беспилотные

логистические коридоры».

В настоящее время Россия находится на втором месте среди стран БРИКС, как по объему рынка, так и по числу компаний-производителей беспилотных систем и их компонентов, благодаря сложившемуся сектору «старых» технологических компаний и активному развитию малого и среднего предпринимательства на фоне проведения специальной военной операции. В России, как и в других странах БРИКС и в мире в целом, доминирующим сегментом рынка беспилотных систем является беспилотная авиация. Полный объем рынка беспилотных авиационных систем (включая сегмент специального назначения) в финансовом выражении, согласно оценкам, приведенным в отчетах Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» в 2024 году, составил 335,9 млрд руб. (3,6 млрд долл.). При этом консервативный сценарий развития российского рынка БАС, рассматриваемый специалистами Ассоциации «АЭРОНЕКСТ», предполагает сокращение общего объема рынка в среднем на 7% ежегодно – прежде всего, за счет снижения сегментов специального и условно гражданского назначения при недостаточном росте (7%) гражданского сегмента. В то же время, оптимистичный сценарий «АЭРОНЕКСТ» предполагает взрывной рост (14%) гражданского сегмента беспилотных авиационных систем, способствующий наращиванию общего объема рынка в рассматриваемом периоде в среднем на 5% в год. В сфере разработки и производства беспилотных надводных и подводных аппаратов в Российской Федерации работает ряд организаций, включающий как промышленные предприятия, так и научно-исследовательские институты, а также высшие учебные заведения. В то же время число разработчиков и производителей, непосредственно специализирующихся в рассматриваемой области, относительно невелико. Прямые численные оценки российского рынка морских беспилотных систем в открытых источниках не приводятся. При этом отраслевые эксперты заявляют о росте рынка, а в рамках академических исследований отмечается положительная динамика государственных закупок, в частности, закупок в сфере морской робототехники.

Определяющее значение для обеспечение технологического суверенитета Российской Федерации в рассматриваемой области имеют передовые производственные технологии, в частности, цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия. При этом в указанном контексте необходимо учитывать ключевые компоненты, предлагаемой авторами настоящего отчета модели технологического суверенитета в сфере передовых производственных технологий (сформированной на базе методологического подхода, разработанного специалистами НТИ, а также общей модели технологического суверенитета государства), в т.ч. по уровням:

- концептуальный – определяющий принципиальные границы и направления реализации Дорожной карты «Технет» НТИ и развития передовых производственных технологий;
- нормативный – задающий административную и нормативно-правовую рамку, обеспечивающую управление областью передовых производственных технологий;
- организационный – определяющий организационные границы и принципы функционирования передового производственного процесса;
- универсальные (комплексные) технологии передового производства;
- передовые технологии работы с данными – «базовые» технологии, обеспечивающие работу с информацией;
- технологии связи и интерфейсы – «базовые» технологии, обеспечивающие обмен и передачу данных;
- «программный» базис (ПО) – прикладные ИТ-решения, обеспечивающие современное

производство, и соответствующие технологии;

- «физический» базис (Enabling) – основа современного производства на уровне продвинутых компонентов.

Важно отметить, что в контексте беспилотных систем в современных условиях (динамичное развитие рынка, ужесточение конкуренции при усилении санкционного давления и росте внутреннего спроса) особую значимость приобретает скорость вывода новых моделей на рынок при сохранении и систематическом повышении качества разрабатываемых и выпускаемых изделий. Одним из инструментов, способствующих ответу на обозначенный вызов, становится «цифровая сертификация», определяемая в рамках Распоряжения Правительства от 07.11.2023 г. № 3113-р как «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 натурных, сертификационных и прочих испытаний [20]». Дальнейшее формирование нормативно-правовой основы применения численного моделирования и цифровых (виртуальных) испытаний в сфере беспилотных систем для решения задач снижения себестоимости разработки и увеличения скорости вывода продукции на рынок при соответствии заданным параметрам качества целесообразно выстраивать с учетом опыта Китайской Народной Республики (одного из мировых лидеров в рассматриваемой сфере) в части внедрения риск-ориентированного подхода, предполагающего зависимость формата необходимых доказательств соответствия беспилотного аппарата установленным стандартам и нормативам (в частности, выбора между цифровыми и натурными испытаниями) от потенциальной опасности данного аппарата и сценариев его применения.

В настоящее время в плане мероприятий по реализации Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июня 2023 г. №1630-р, под пунктом 2.4: «Создание и развитие отечественной цифровой платформы в целях оптимизации методик проектирования беспилотных авиационных систем и их компонентов» заявлена разработка отечественной цифровой платформы для проектирования. Кроме того, в рамках Национального проекта «Беспилотные авиационные системы» предусмотрена разработка интегрированного цифрового пространства БАС. Технологической основой для решения указанных задач может стать опыт Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) Передовой инженерной школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, полученный в ходе проектирования и разработки семейства БПЛА «Снегирь» в части расширения модульной структуры Цифровой платформы CML-Bench® в соответствии с задачами отрасли БАС, в т.ч. создания и наполнения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов, которые необходимы для обеспечения цифровой сертификации. Доработка модулей цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников беспилотных авиационных систем (ЦП РПЦД БАС) на базе платформы CML-Bench® предполагает формирование следующих ключевых компонентов:

- модуль «База знаний», компоненты:
    - декомпозиция БПЛА;
    - библиотека требований;
    - валидационный базис;
    - библиотека БАС и комплектующих изделий;
    - свойства и модели материалов;

    - библиотека расчетных методик;

- модуль «Данные об изделии», компоненты:
    - данные испытаний;
    - данные производства;
    - данные эксплуатации;
- модуль «Проектирование»;
- модуль «Интеграция с ИТ-инфраструктурой», компоненты:
    - интеграция с PLM-решениями;
    - интеграция с CAx-решениями;
    - интеграция с вычислительными мощностями;
- модуль «Цифровая сертификация», компоненты:
    - библиотека нормативно-справочной информации;
    - сертификационный базис;
    - методы определения соответствия;
    - доказательная документация.

Доработка ЦП РПЦД БАС и ее внедрение в процесс разработки, проектирования и сертификации беспилотных систем будут способствовать снижению сроков вывода новой продукции на рынок при поэтапном повышении качества разрабатываемых изделий, в частности, за счет создания цифровых двойников БАС и их ключевых компонентов, таких как газотурбинные и электродвигатели, элементы корпуса беспилотного воздушного судна и т.д., в т.ч. обеспечивающих возможность проведения цифровой сертификации.

Необходимо отметить также, что на государственном уровне в настоящее время поднимаются вопросы о предстоящем активном экспорте российских беспилотных авиационных систем. В частности, согласно оценкам министра промышленности и торговли Российской Федерации Антона Андреевича Алиханова [400], экспортный потенциал российских БПЛА составляет от 5 до 12 млрд долларов год. Обозначенные в заявлении министра ключевые рынки экспорта преимущественно относятся к странам БРИКС: наибольшим потенциалом обладают азиатские страны (Индия, Индонезия, Вьетнам), на втором месте – страны арабской Африки (Египет, Алжир, Судан), на третьем – страны Латинской Америки (Куба, Венесуэла и Никарагуа). Предполагается, что российский экспорт возможен преимущественно в дружественные страны и будет происходить в условиях конкуренции с производителями из КНР, лидирующими на мировом рынке.

В условиях ограничений и активной конкуренции на рынке российским производителям БПЛА, поставщикам компонентов, а также разработчикам решений для производства и проектирования беспилотных систем предстоит определить наиболее перспективные рыночные ниши на ключевых внешних рынках, выстроить работу с российскими центрами поддержки экспорта и торговыми представительствами в дружественных странах, а также развивать долгосрочные партнерства и совместное производство с компаниями из вышеуказанных стран.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках подготовки настоящего отчета проведено исследование по срезу технологий технологического суверенитета кросс-рыночного кросс-отраслевого направления «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ в странах БРИКС, обеспечивающих проведение цифровых испытаний в сфере беспилотных систем.

В первой главе настоящего доклада представлена отраслевая модель технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ, систематизирующая ключевые компоненты создания высокотехнологичных изделий. Архитектура модели определяет основные направления и приоритеты внедрения технологий, что находит отражение в ключевых областях применения, охватывающих прежде всего отрасли машиностроения. Согласно государственному реестру научно-технической информации (ГРНТИ), к ним относятся автомобилестроение и электротранспорт, авиастроение и вертолетостроение, двигателестроение, энергомашиностроение, атомное, нефтегазовое и нефтехимическое машиностроение, железнодорожный транспорт, сельскохозяйственное, тяжелое и специальное машиностроение, станкостроение, судостроение и кораблестроение, морская техника и др.

Также рассматривается рынок беспилотных систем в странах БРИКС. По состоянию на 2024 г., объем мирового рынка беспилотных систем оценивался в 27,1 млрд долл. Полный объем рынка беспилотных систем (включая сегмент специального назначения) в России в 2024 г. составил 335,9 млрд руб. (3,6 млрд долл.). Рынок беспилотных авиационных систем в России в настоящее время демонстрирует уверенный рост, в т.ч. благодаря разворачиваемому комплексу мер поддержки и стимулирования. В зависимости от среды применения беспилотные системы можно разделить на космические, воздушные, наземные и водные (надводные и подводные). При этом в научном контексте особое внимание уделяется мультисредовым беспилотным системам. Согласно сводным оценкам национальных рынков авиационных систем, приводимым в открытых источниках, Китайская Народная Республика занимает более половины от общего объема рынка БАС в странах БРИКС. В качестве наиболее динамично развивающихся рынков среди стран БРИКС, по оценкам отраслевых экспертов на перспективу до 2030 г., могут быть отмечены рынки ОАЭ и Индии.

Рынок беспилотных авиационных систем в России в настоящее время демонстрирует уверенный рост, в т.ч. благодаря разворачиваемому комплексу мер поддержки и стимулирования. В частности, в 18 субъектах Российской Федерации созданы и функционируют научно-производственные центры, под которыми понимается «технологическая инфраструктура для разработки, испытаний, сертификации, производства и вывода на рынок беспилотных авиационных систем». Рынок морских беспилотных систем (в т.ч. надводных и подводных беспилотных аппаратов) также входит в число национальных технологических приоритетов Российской Федерации. В контексте беспилотных систем, по оценкам отраслевых экспертов, особую значимость приобретают передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов; технологии систем управления беспилотными аппаратами, в частности, направленные на повышение автономности, в том числе за счет решений на основе искусственного интеллекта; технологии связи для беспилотных аппаратов, используются унифицированные решения на базе стандартизированных протоколов связи, включая использование 5G, спутниковых систем и т.д.; технологии силовых установок и батарей, обеспечивающие надежность и увеличение продолжительности активной эксплуатации беспилотных аппаратов; и высокотехнологичные материалы и решения, основанные на применении

композиционных материалов.

Во второй главе настоящего доклада проводится анализ компаний на их текущее состояние, структура ключевых игроков стран БРИКС, выделяются компании – национальные лидеры и приведены ключевые российские компании, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по срезу технологий.

Абсолютным мировым лидером в области производства беспилотных систем и их компонентов, доминирующим как в сегменте беспилотной авиации, так и в сегментах беспилотных надводных и подводных аппаратов, является Китайская Народная Республика. Российская Федерация находится на втором месте среди стран БРИКС по числу компаний-производителей беспилотных систем и их компонентов, благодаря как сложившемуся сектору «старых» технологических компаний, так и активному развитию малого и среднего предпринимательства на фоне усиления роли беспилотной авиации в обороноспособности страны. На российском рынке специалисты Ассоциации «АЭРОНЕКСТ» по состоянию на конец 2024 г. выделяют не менее 220 организаций – участников рынка беспилотных авиационных систем, из них – 150 предприятий, «открыто осуществляющих предпринимательскую деятельность, участвующих в государственных закупках, имеющих заметный объем выручки». Первое место среди 20 наиболее заметных игроков российского рынка производства БПЛА занимает ГК «Геоскан».

В третьей главе настоящего доклада рассмотрены: роль цифровых (виртуальных) испытаний в жизненном цикле беспилотных систем; ключевые методики численного моделирования физических процессов в части аэродинамики, аэроупругости, прочности, материалов в контексте проведения цифровых испытаний изделий; технологии построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов (ВИС) и полигонов (ВИП), проведения цифровых испытаний беспилотных систем; переход к «цифровой сертификации», а также предложения и выводы, полученные в результате проведенного исследования, формирующих основу предложений, содействующих развитию указанных технологий.

Основная цель цифровых (виртуальных) испытаний – прогнозирование поведения изделия, выявление потенциальных отказов и оптимизация конструкции на основе цифровых данных. Концепция испытаний X-in-the-Loop (XiL) предполагает создание цифровой испытательной установки, в которой тестируемый компонент или система «X» (например, модель, программное обеспечение, аппаратное обеспечение и т.д.) интегрируется в замкнутый цикл с цифровой средой. Реакция «X» влияет на состояние среды, которая генерирует новые входные воздействия для «X». При этом в контексте цифровых испытаний беспилотных систем используются такие методы (группы методов), как тестирование «программного обеспечения в контуре» (Software-in-the-Loop, SiL), тестирование «аппаратного обеспечения в контуре» (Hardware-in-the-Loop, HiL) и тестирование «транспортного средства в контуре» (Vehicle-in-the-Loop, ViL). Внедрение технологий проведения цифровых (виртуальных) испытаний в процесс разработки высокотехнологичной продукции сопровождается рядом вызовов. Одной из ключевых проблем является недоверие к результатам цифровых испытаний, особенно у компаний, традиционно ориентировавшихся на натурные испытания. Недостаточная уверенность в точности и надежности цифровых моделей, а также отсутствие качественных полевых данных для создания достоверных моделей вызывают сомнения в их эффективности. С учетом вышеизложенного возникает потребность в проведении дополнительных натурных испытаний для валидации и корректировки результатов цифровых тестов, а также для количественной оценки неопределенности результатов.

Также проведен анализ методик численного моделирования физических процессов - аэродинамики, аэроупругости, гидродинамики, аэрогидродинамики и прочности материалов - с акцентом на выявление наиболее эффективных подходов и определение направлений их практического применения в цифровых испытаниях. Областями тематической фокусировки являются цифровые технологии, применяемые при проектировании, разработке, производстве и эксплуатации беспилотных авиационных систем (в т.ч. беспилотных летательных аппаратов), а также беспилотных морских систем (в т.ч. беспилотных надводных и подводных аппаратов).

В аэродинамическом проектировании получила распространение концепция многоуровневых моделей, которые сочетают низкоточные и высокоточные подходы для балансировки вычислительной стоимости и точности.

Для аэроупругости современные исследования сосредоточены на разработке моделей пониженного порядка (Reduced Order Models, ROM-моделей), направленных на повышение эффективности и точности расчетов аэроупругости. Данные методы применяются как при проектировании планеров, так и турбомашин.

Для прочности конструкций анализ усталости и разрушения является ключевым направлением для оценки долговечности авиационных конструкций. Метод конечных элементов широко применяется для моделирования развития трещин и прогнозирования усталостного разрушения при циклическом нагружении. Современные исследования сосредоточены на разработке расширенного метода конечных элементов для точного моделирования зон концентрации напряжений и особенностей напряженно-деформированного состояния.

Для материаловедения интеграция технологий цифровых двойников и методов машинного обучения, включая физически информированные нейронные сети, обеспечивает мониторинг состояния конструкций в режиме реального времени, уточнение моделей конструкций и реализацию планового технического обслуживания, что актуально для критически важных узлов БВС и БМС, таких как несущие конструкции и силовые элементы БВС или движительно-рулевые комплексы БМС, подверженные коррозии и кавитационной эрозии.

Для гидродинамики моделирование переходных процессов и экстремальных воздействий играет ключевую роль, в частности прогнозирование гидродинамического удара при посадке на воду, работе в штормовых условиях или на режиме глиссирования, где возникают значительные динамические нагрузки на конструкцию. Для движительно-рулевых комплексов моделирование позволяет оптимизировать форму лопастей под неравномерный натекающий поток, повысить КПД, снизить шумность и прогнозировать кавитационную эрозию – критичный фактор долговечности.

В аэрогидродинамике применение инструментов на базе искусственного интеллекта, а также внедрение концепции цифровых двойников в деятельность инжиниринговых центров и производственных предприятий расширяет и дополняет возможности традиционных методик численного моделирования физических процессов в части аэродинамики, аэроупругости, гидродинамики, аэрогидродинамики и прочности материалов в контексте проведения цифровых (виртуальных) испытаний изделий. Цифровые двойники обеспечивают мониторинг нагрузок в реальном времени, прогнозирование износа и оценку остаточного ресурса конструкции, в частности, на основе данных о кавитации и эрозии. Методы искусственного интеллекта ускоряют оптимизацию форм, улучшают идентификацию моделей по телеметрии и способствуют разработке адаптивных систем управления,

учитывающих изменение характеристик аппарата и внешних условий.

Признанным лидером среди стран БРИКС в части цифровой трансформации производства, также занимающим сильные позиции в рассматриваемой области в мире в целом, является Китай. Технологии построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов (ВИС) и цифровых (виртуальных) испытательных полигонов (ВИП), а также методы проведения цифровых (виртуальных) испытаний беспилотных систем активно развиваются и применяются как в международной практике, так и на национальном уровне. Так, нормативно-правовые акты КНР, регулирующие признание результатов цифровых испытаний в области производства и эксплуатации беспилотных систем, начали оформляться в 2019–2020 годах. В России официальное определение ВИС и ВИП закреплено в стандарте ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий». В отчете также приведены примеры успешного применения этих технологий в контексте разработки и производства беспилотных систем. Также важно отметить, что информация о конкретных инженерных программных и аппаратных решениях, применяемых при разработке и испытаниях беспилотных систем, преимущественно закрыта по причинам коммерческой тайны и специфики военного сектора. Вместе с тем, цифровые платформы активно используются в учебных и научно-исследовательских проектах, где реализуется проблемно-ориентированный подход к обучению и тестированию беспилотных систем.

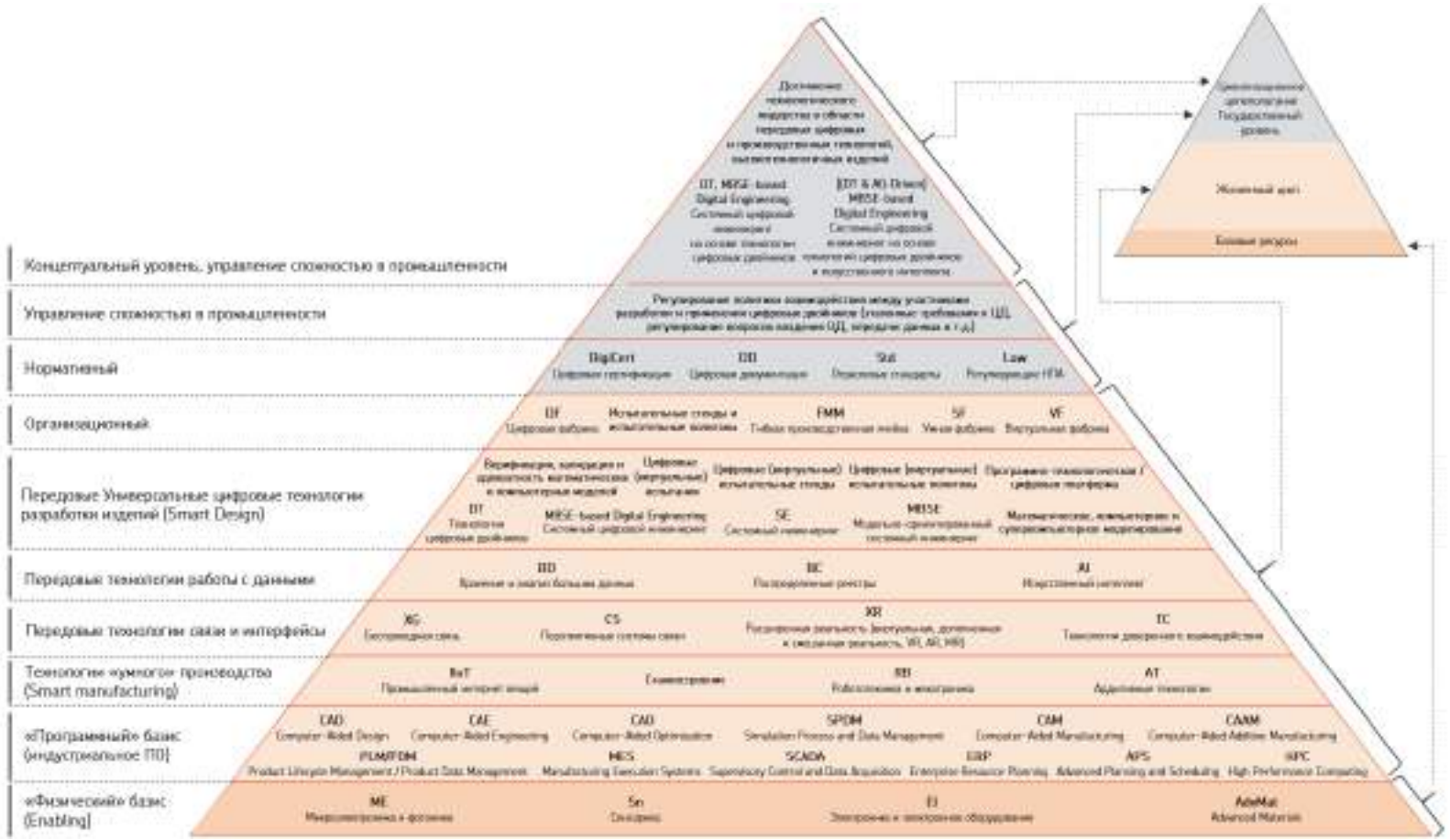
В рамках реализации Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации до 2030 года, а также Национального проекта «Беспилотные авиационные системы», осуществляется создание и развитие отечественной цифровой платформы в целях оптимизации методик проектирования беспилотных авиационных систем и компонентов. Основой для разработки выступает Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®, расширение возможностей которой будет способствовать снижению сроков вывода новой продукции на рынок при поэтапном повышении качества разрабатываемых изделий, в т.ч. за счет обеспечения возможности проведения цифровой сертификации.

Для снижения сроков вывода новой продукции на рынок при поэтапном повышении качества разрабатываемых изделий, в частности, за счет создания цифровых двойников БАС и их ключевых компонентов, таких как газотурбинные и электродвигатели, элементы корпуса беспилотного воздушного судна и т.д., в т.ч. обеспечивающих возможность проведения цифровой сертификации будет выполнена доработка модулей цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников беспилотных авиационных систем (ЦП РПЦД БАС) на базе платформы CML-Bench®. Разработка интегрированного цифрового пространства БАС предусмотрена в рамках Национального проекта «Беспилотные авиационные системы».

Таким образом, проведенное исследование отражает текущее состояние и ключевые направления развития технологий проведения цифровых (виртуальных) испытаний элементов беспилотных систем в России и странах-участницах БРИКС. Анализ также охватил рынки беспилотных систем, прогрессивные методики численного моделирования, технологии построения ВИС и ВИП, переход к «цифровой сертификации». Это создает важную основу для дальнейшего повышения качества и конкурентоспособности отечественных беспилотных систем, расширения применения технологий проведения цифровых (виртуальных) испытаний и ускорения технологического развития отрасли в России и странах БРИКС.

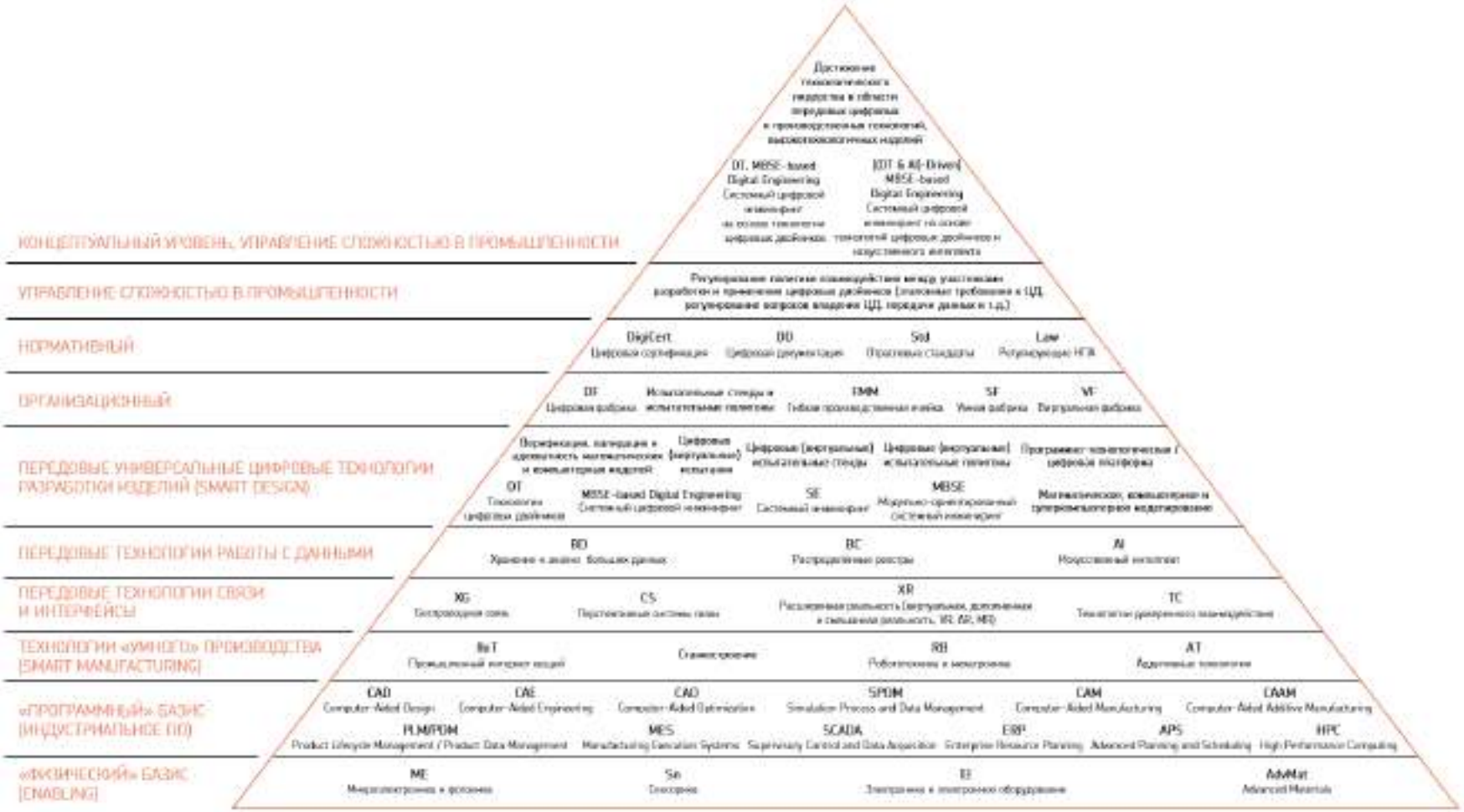
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА В СФЕРЕ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рисунок 23. Архитектура отраслевой модели технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ



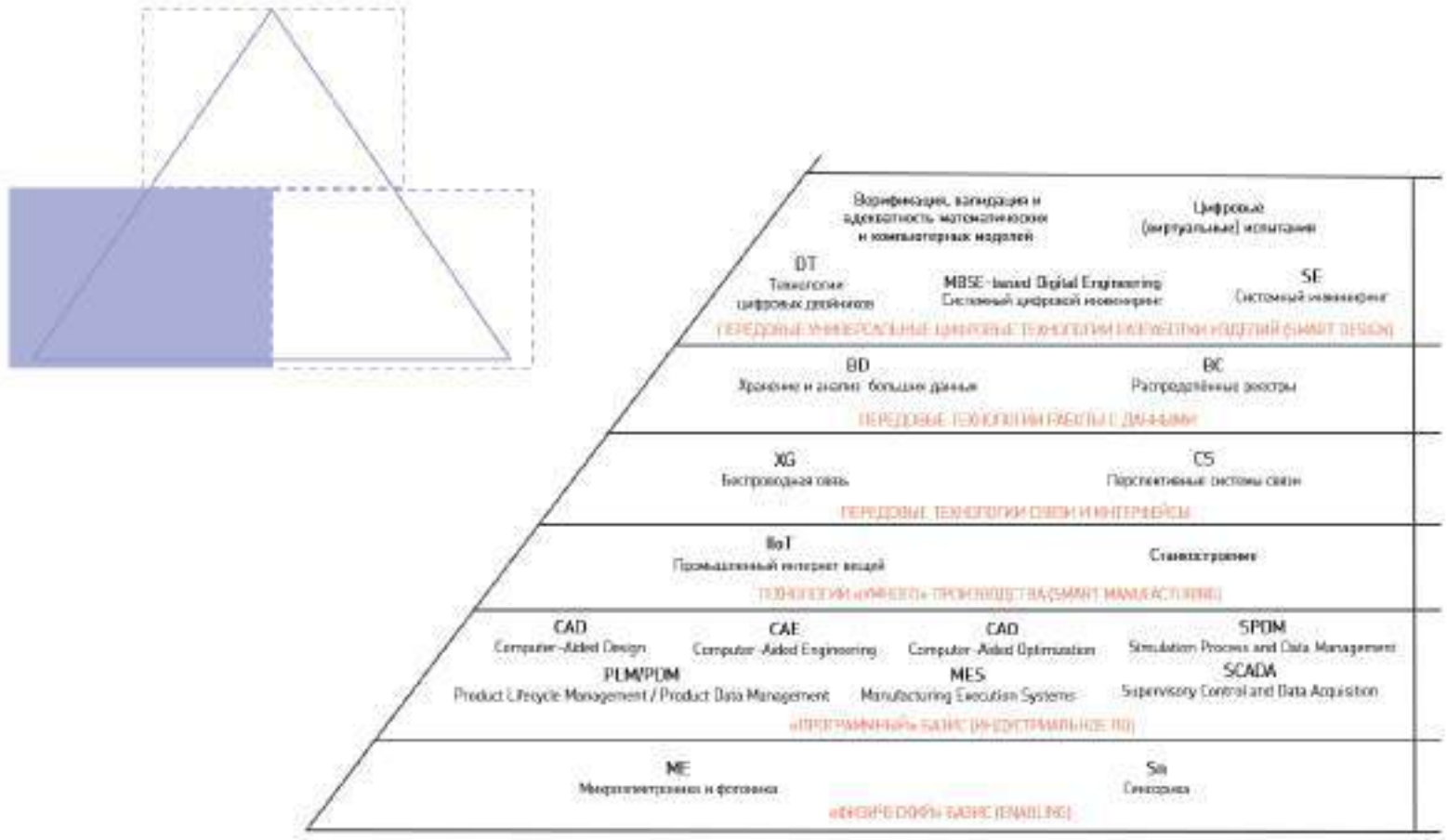
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ, 2025

Рисунок 24. Архитектура отраслевой модели технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ: логика определения уровней



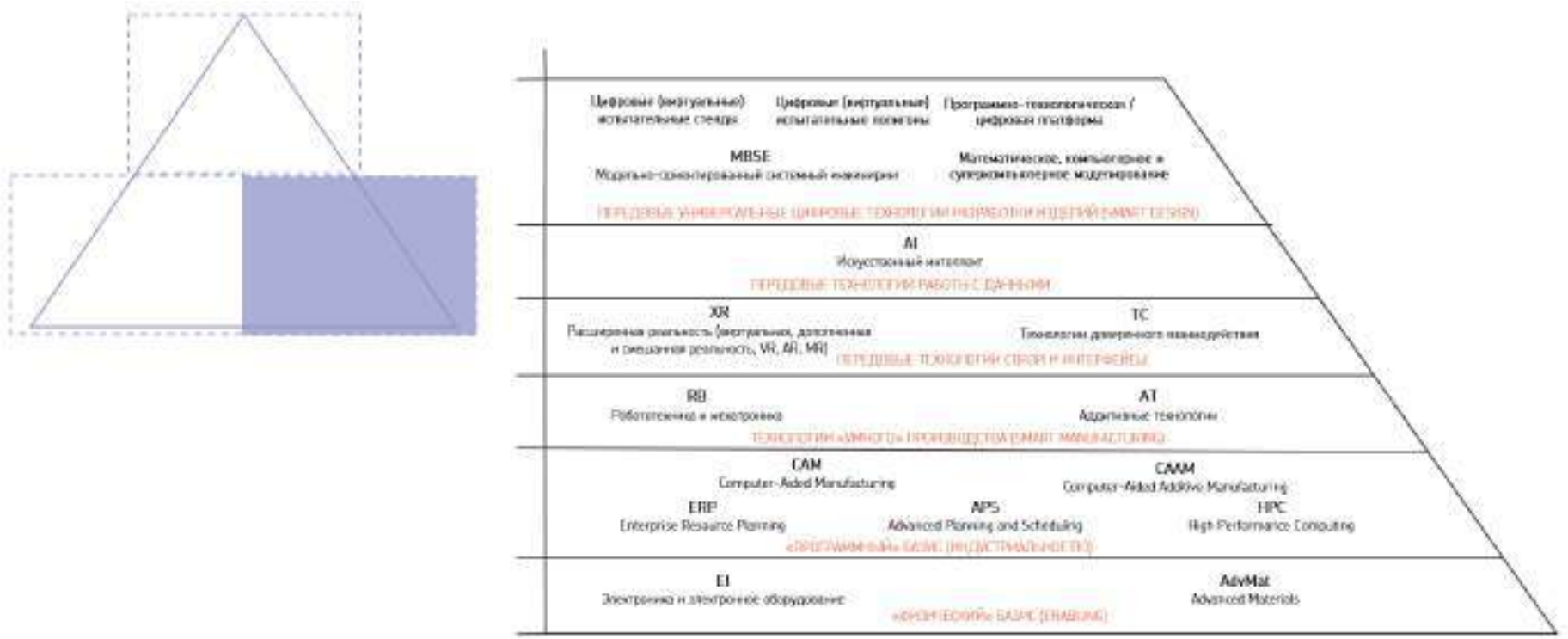
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ, 2025

Рисунок 25. Модель технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ (срез 1/3)



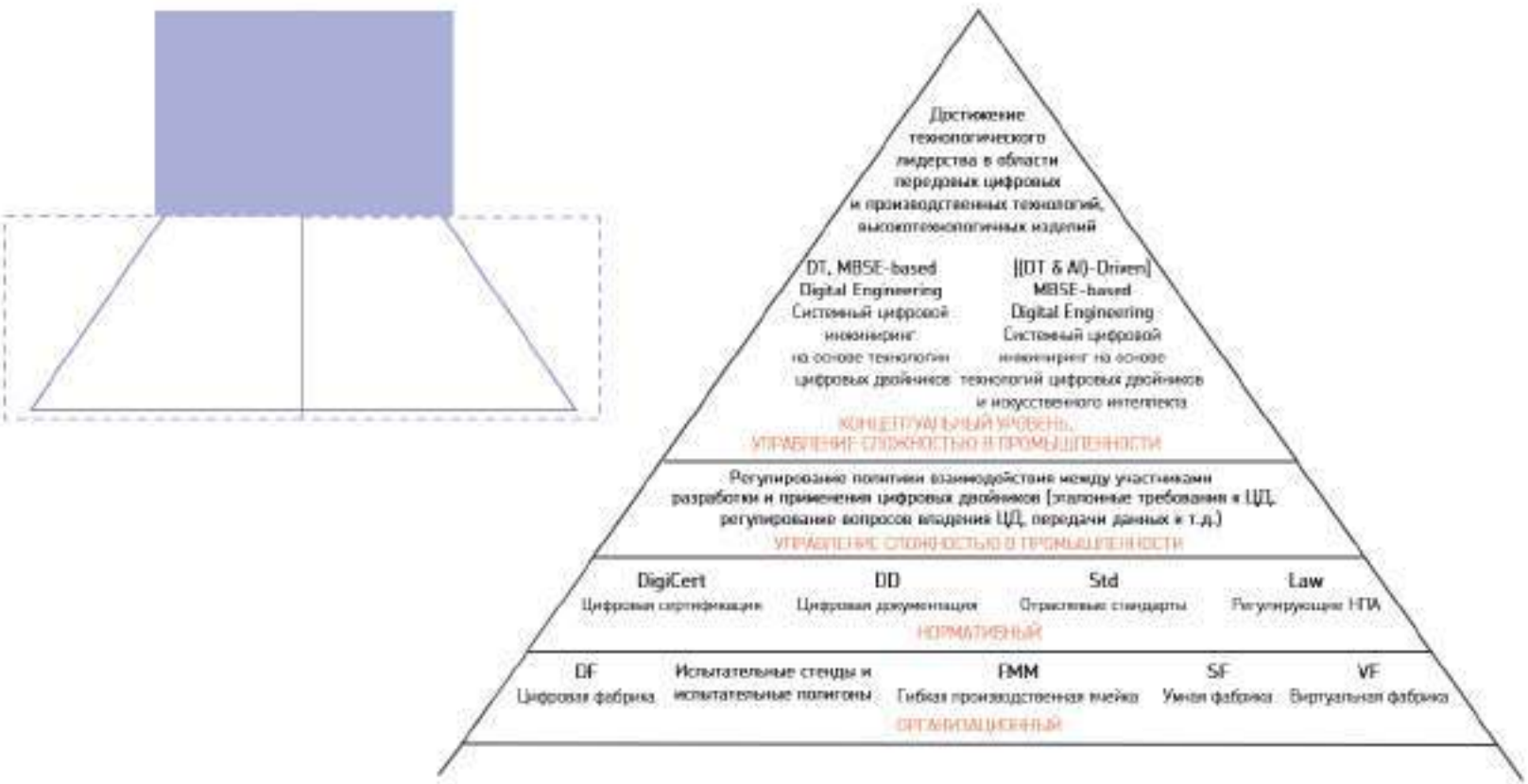
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ, 2025

Рисунок 26. Модель технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ (срез 2/3)



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ, 2025

Рисунок 27. Модель технологического суверенитета по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) НТИ (срез 3/3)



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ, 2025

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РЕЕСТР КОМПАНИЙ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОТОРЫХ НАПРАВЛЕНА НА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ПО СРЕЗУ ТЕХНОЛОГИЙ

Таблица 12. Информация о компаниях, деятельность которых направлена на решение задач обеспечения технологического суверенитета по срезу технологий, по России и другим странам БРИКС

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
1	CAXA 数码大方	CAXA Digital Technology	www.caxa.com	Китай	CAXA Digital Technology – один из лидирующих китайских разработчиков инженерного ПО, предоставляющий широкую линейку продуктов CAD-CAE-CAM, PLM и MES, а также в области облачных решений для промышленности [401].	Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
2	ZWSOFT	ZWSOFT	www.zwsoft.com	Китай	Основными продуктами компании являются ZWCAD (2D CAD), ZW3D (3D CAD/CAM) и ZWSIM (CAE). Компания заявляет о запатентованной технологии «smart QuickMill» для оптимизации процессов механической обработки и внедрении	Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					ИИ-инструментов для автоматизации проектирования [402].		
3	SIMRIGHT	Simright	www.simright.com	Китай	Основным продуктом компании Simright является облачная платформа для инженерного анализа. Продукция компании ориентирована на малый бизнес и реализуется по классической SaaS-модели с элементами freemium-подхода. В настоящее время Simright предлагает ряд продуктов, в том числе препроцессор Webmesher, инструменты моделирования Simulator, топологической оптимизации Toptimizer, преобразования CAE-моделей Converter, инструмент просмотра CAD/CAE-моделей Viewer и библиотеку моделей [403].	Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
4	Gstarsoft	Gstarsoft Co., Ltd.	www.gstarcad.net	Китай	Gstarsoft – ведущий китайский поставщик программного обеспечения и решений 2D/3D CAD для широкого перечня отраслей, в том числе машиностроения, энергетики и производства электронных устройств. Бизнес-стратегия компании – создание доступной альтернативы AutoCAD с высокой совместимостью с продукцией их конкурентов и развитии облачных CAD-решений [404].	Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
5	JYTRA	Jytra Technology Solutions	jytra.com	Индия	Индийская компания Jytra Technology Solutions специализируется на разработке CAD/CAM-систем, консультационных услугах, дистрибуции ПО от крупных вендоров, а также обучении и сертификации. С 2006 года компания	Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					в качестве члена международного консорциума IntelliCAD развивает собственную CAD-систему ActCAD на основе IntelliCAD [405].		
6		Yuansuan Technology	www.yuansuan.com/en	Китай	Основной продукт компании – облачная платформа моделирования, специально разработанная для инженеров-расчетчиков – Grewin Cloud CAE. Платформа основана на открытых решениях, имеет модульную архитектуру и задействует для своей работы вычислительные ресурсы национальных суперкомпьютерных центров. Переход от локальных к облачным CAE-системам рассматривается в КНР как один из способов импортозамещения в сфере инженерного ПО – 95% рынка	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников. Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					промышленного ПО в стране все еще занято западными продуктами. Помимо собственной CAE-платформы, компания Yuansuan Technology разрабатывает цифровые двойники изделий для таких отраслей как автомобилестроение, аэрокосмическая отрасль и электроэнергетика [406].		
7		Paninian	www.paninian.com	Индия	Основная специализация компании – разработка цифровых двойников и автономных систем для оборонной промышленности. Среди прочих продуктов, компания разработала цифровой двойник изделия с применением технологий ИИ для моделирования характеристик и прогнози-рования состояния устарев-ших авиадвигателей, в рам-ках мероприятий	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					по продлению срока службы самолетов ВВС Индии, таких как «Jaguar» и «Сухой» [407].		
8		Fusion VR	www.fusionvr.in/	Индия	Специализирующаяся на технологиях виртуальной и дополненной реальности, индийская компания Fusion VR, среди прочих продуктов предлагает «Иммерсивный цифровой двойник» – высококачественную цифровую модель с доступом через VR-интерфейсы [408].	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
9		4Sight BluESP	4sight.cloud/	ЮАР	Компания 4Sight BluESP, специализирующаяся на предоставлении программных решений для горнодобывающего сектора и машиностроения, предоставляет услуги по разработке цифровых двойников изделий / процессов под требуемые задачи на основе	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					разработок американской компании AspenTech [409].		
10		Shenzhen JWI Software	jwi.jwis.cn	Китай	Ключевой продукт компании, JWI Cloud Platform, реализуется как набор микросервисов с высокой степенью кастомизации под требования заказчика. В качестве отдельных функциональных возможностей разработчики системы заявляют поддержку технологий цифровых двойников [410].	Системы управления данными и жизненным циклом продукта и системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (PDM/PLM; SPDM) Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
11		ZWSOFT	www.zwsoft.com	Китай	Компания ZWSotft, помимо продуктов в сфере CAD/CAE также развивает собственную PDM-систему ZWTeammate.	Системы управления данными и жизненным циклом	Передовые технологии проектирования, производства и проведения

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					Функциональные возможности системы выстроены вокруг данных о продукте и совместной работы разработчиков над CAD/CAE документацией. Полноценные возможности PLM-систем в решении отсутствуют [411].	продукта и системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (PDM/PLM; SPDM).	испытаний беспилотных аппаратов
12	CAXA 数码大方	CAXA Digital Technology	www.caxa.com	Китай	На рынке PLM систем компания продвигает CAXA PLM – модульную PLM-систему, интегрированную с другими продуктами компании CAXA. Основой для архитектуры CAXA PLM послужила PLM компании Dassault Systems. С 2005 года CAXA развивает свою систему как самостоятельный продукт [412, 413].	Системы управления данными и жизненным циклом продукта и системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (PDM/PLM; SPDM)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
13	SIASUN	Siasun Robot & Automation Co., Ltd.	en.siasun.com	Китай	Компания Siasun Robot & Automation производит полный цикл изделий в сфере робототехники – начиная от редукторов и сервоприводов и заканчивая системной интеграцией роботов в более чем 60 отраслях. Главными продуктами компании являются многоосевые промышленные роботы для широкого спектра применения с диапазоном полезной нагрузки от 4 до 360 килограмм. Компания также производит мобильных сервисных роботов для складской логистики и разработала линейку шестиосевых коллаборативных роботов DUCO GCR Series Cobot [414, 415].	Промышленная автоматизация и робототехника	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
14	ESTUN AUTOMATION	Estun Automation	en.estun.com	Китай	За время своего существования компания Estun Automation из производителя сервоинверторов превратилась в одного из лидеров производства роботов в Китае и крупного экспортера. Лидирующий продукт компании – семейство шестиосевых роботов Estun, работающих в диапазоне 3 – 700 кг полезной нагрузки [416].	Промышленная автоматизация и робототехника	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
15	EFORT ROBOTICS A MEMBER OF EFORT GROUP	EFORT Intelligent Equipment	www.efortrobotics.com	Китай	Компания EFORT производит широкий спектр роботов для сварки, покраски, перемещения грузов, а также роботов-манипуляторов типа SCARA [417].	Промышленная автоматизация и робототехника	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
16	JAKA	JAKA Robotics	www.jakarobotics.com	Китай	Компания JAKA специализируется на коллаборативных роботах и занимает одно из лидирующих мест на китайском рынке	Промышленная автоматизация и робототехника	Передовые технологии проектирования, производства и проведения

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					коллаборативных роботов за счет успеха своих роботов Zu-серии. Роботы компании относятся в преимуществе к легким, диапазон полезной нагрузки составляет 1 – 18 килограмм [418].		испытаний беспилотных аппаратов
17	SYSTEMANTICS sensible robotics	Systemantics	www.systemantics.com	Индия	Компания Systemantics – первый производитель полностью индийских 6-осевых манипуляторов. С 2019 года компания серийно выпускает роботов ASYSTR с полезной нагрузкой 6 килограмм, ориентированные на применение малыми и средними предприятиями [419].	Промышленная автоматизация и робототехника	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
18	dji	DIJ	www.dji.com	Китай	Компания DIJ реализует стратегию по наращиванию автономных возможностей своих ведущих устройств. Важным элементом этой стратегии является увеличение вычислительных	Технологии бортового искусственного интеллекта	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					возможностей БВС, за счет развития встраиваемых компьютеров Manifold, ориентированных на использование искусственного интеллекта на борту БВС. Использование встраиваемых компьютеров и созданных специально для бортового использования ИИ-алгоритмов, позволяет решать широкий спектр задач – обнаружение объектов (например, во время поисково-спасательных миссий), построение сложной архитектуры маршрутов (например, при автономных съемках шахт) и инспекци-онных миссиях. Гибридные алгоритмы позволяют осуществлять часть расчетов на борту БВС, а часть на базе стандартных		

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					облачных моделей без задержек [420].		
19	AUTEL ROBOTICS	Autel	www.autelrobotics.com/	Китай	Компания Autel Robotics разрабатывает собственную платформу бортового ИИ – Autonomy Engine. Платформа создается при помощи встроенных ARM/GPU-компьютеров для БВС для промышленного использования. Autonomy Engine позволяет обеспечивать работу нейросетевых алгоритмов, обработку данных с сенсоров и улучшать планирование маршрутов полета без привлечения облачных вычислительных ресурсов. Автономные БВС Autel используются для проведения инспекций промышленных объектов и сетей электропередач, обеспечения поисковых задач (автоматизированный	Технологии бортового искусственного интеллекта	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					поиск объектов, трехмерное сканирование сцен происшествий) и экологического мониторинга [421].		
20		AVIC (Aviation Industry Corporation of China)	www.avic.com.cn	Китай	Компания AVIC разрабатывает специализированные бортовые ИИ-устройства, оптимизированные для задач разведки, наблюдения и распознавания объектов. Бортовой ИИ позволяет ведущим БВС от компании AVIC, таким как Wing Loong II осуществлять автономное патрулирование, распознавать цели и анализировать данные, получаемые с радаров. Данные, собранные БВС передаются в центр управления полетом в обработанном виде [422].	Технологии бортового искусственного интеллекта	A Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
21		SenseThink	www.sensethink.cn	Китай	Компания SenseThink специализируется на разработке и производстве передовых решений в области беспроводной связи. Компания работает на всех стадиях жизненного цикла разработки: от проектирования и производства микросхем до создания готовых изделий и ПО. LeapLink® – разработка компании Sensethink – архитектура широкополосной самоорганизующейся Mesh-сети, предназначенная для обеспечения стабильной и высокоскоростной передачи данных на большие расстояния. Решения, использующие архитектуру Leapthink отличаются от универсальных чипов для Wi-Fi Mesh-сетей	Технологии децентрализованных сетей и mesh-сетей	Технологии связи для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					использованием специализированных протоколов и аппаратных средств. В сфере БВС использование Leapthink позволяет создавать самоорганизующиеся сети для управления БВС за пределами прямой видимости (BVLOS), создания самоорганизующихся сетей для инспектирования удаленных объектов и обеспечения связи в условиях стихийных бедствий [423].		
22	LinkAV®	AEE Technology (LinkAV)	www.linkavtech.com	Китай	Ключевая специализация компании AEE Technology – проектирование и производство беспроводных систем передачи данных для ведомственного и промышленного применения. Mesh-технологии – ключевой рынок для компании.	Технологии децентрализованных сетей и mesh-сетей	Технологии связи для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					Компания производит устройства для организации MANET (Mobile Ad-hoc Network) – беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, каждый узел в которых способен работать в качестве ретранслятора сигнала. Такие решения могут устанавливаться как стационарно, так и на БВС – для такого применения компания разработала специализированный Mesh-модем MANET3618 [424, 425].		
23	TAOBOTICS 朝闻道机器人	Taobotics	www.taobotics.com	Китай	Главными продуктами компании Taobotics выступают наземные роботы (серий Thunder, Octopus) а также роботы для сектора услуг и образования. Помимо непосредственных робототехнических устройств компания	Технологии децентрализо-ванных сетей и mesh-сетей	Технологии связи для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					выпускает системы связи для роботов, в том числе с применением собственных Mesh-технологий. Taobotics вместе с Северо-Западным политехническим университетом КНР была разработана линейка широкополосных Mesh-модулей для создания беспроводных самоорганизующихся сетей, предназначенных для использования в армии и спасательных службах. Mesh-модемы компании доступны в трех видах: - Бортовой модуль для БВС; - Портативный модуль для индивидуальной переноски; - Автомобильный модуль. Mesh-модемы Taobotics предназначены для управления роями беспилотных систем, координации действий групп		

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					морских безэкипажных катеров, проведения аварийно-спасательных операций и действий по обеспечению общественной безопасности.		
24	汉华高科 HANHGK	Hangk	hanhgk.com	Китай	Компания Hangk производит широкую линейку Mesh-устройств, в том числе HanhGk-2110097HW для малоразмерных БВС в расчете на роевое применение. Основными сферами применения устройств компании служит организация экстренной связи при спасательных операциях, мониторинг лесных массивов, организация пожаротушения, обеспечение цифровой связи для нефтяных месторождений и автоколонн, а также	Технологии децентрализо-ванных сетей и mesh-сетей	Технологии связи для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					управление группами беспилотных систем [426].		
25		Indrajaal	indrajaal.in/	Индия	Компания разработала решение SpiderMesh® Communication Network – высокоскоростную mesh-сеть с покрытием до 4 тысяч кв. км. По заявлениям разработчиков SpriderMesh способна оперативно сформировать «купол связи» над охраняемой территорией, способный осуществлять передачу видеосигнала в высоком разрешении. Компания заявляет о модульности и легкости в масштабировании своего Mesh-решения [427].	Технологии децентрализованных сетей и mesh-сетей	Технологии связи для беспилотных аппаратов
26	CETC 中国电子科技集团公司第三十四研究所	CETC 34th Research Institute	www.gioc.com.cn	Китай	В июле 2023 года 34 институт CETC провел успешные испытания по созданию сетевой беспроводной лазерной связи между несколькими	Лазерные технологии связи	Технологии связи для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					БВС, на которых были установлены терминалы беспроводной лазерной связи, разработанной в институте. Использование лазерной связи позволило осуществлять дистанционно наведение, слежение и захват цели и передачу аудио- и видеосигналов в высоком качестве [428].		
27	SDFSO 六博光电	Wuhan Liubo Optoelectronic Technology	www.wh-fso.com	Китай	В 2023 году компания Wuhan Liubo Optoelectronic Technology произвела испытания коммерческого образца лазерного модуля LB50DBA-15JF, благодаря которому два мультикоптера поддерживали двусторонюю широкополосную связь на дистанции в 2 км. Ключевыми нишами для разработанной технологии должны стать задачи обеспечения промышленной и военной связи	Помехоустойчивые ГНСС - приемники и каналообразующее оборудование для помехоустойчивой связи	Технологии связи для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					в условиях перегрузки радиоканалов [429].		
28		Harxon	www.harxon.com	Китай	Среди продуктов компании Harxon – линейка GNSS-антенн, устойчивые к помехам и подавлению связи. Решения компании применяются в широком спектре отраслей – от картографии и точного земледелия до управления роботами в условиях работы средств РЭБ [430].	Помехоустойчивые ГНСС - приемники и каналообразующее оборудование для помехоустойчивой связи	Технологии связи для беспилотных аппаратов
29		EHang Holdings	www.ehang.com	Китай	Среди продуктов компании EHang Holdings – сервис EHang Aerial Light Show – воздушное шоу с использованием сотен или тысяч БВС со светодиодной подсветкой. Действия всех БВС управляются оператором с одного устройства [431].	Технологии роевой навигации	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
30		XAG	xa.com/en	Китай	Компания XAG разработала автономное решение на базе сельскохозяйственных БВС, в рамках которого БВС	Технологии роевой навигации	Технологии систем управления

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					осуществляют роевые операции по опрыскиванию, посеву и внесению удобрений на сельхозугодьях. Также возможна обработка посевов в ночное время [431].		беспилотными аппаратами
31	NewSpace	NewSpace Research & Technologies	newspace.co.in	Индия	Компания специализируется на создании беспилотных систем и роевых технологиях. Помимо роев БПЛА компания также разрабатывает системы ведомых БПЛА для совместных действий с пилотируемой авиацией [432].	Технологии роевой навигации	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
32	dji	DJI	www.dji.com	Китай	Система обхода препятствий APAS 5.0 от компании DJI, реализованная в модели Mavic 3 Classic, представляет собой передовую технологию, основанную на использовании комплекса	Технологии технического зрения	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					из 5-ти пар стереокамер и двух инфракрасных датчиков, которые в режиме реального времени создают детализированную трехмерную карту окружающего пространства. Данная система способна автоматически рассчитывать альтернативные маршруты при скорости полета до 19 метров в секунду, при этом время реакции не превышает 150 миллисекунд. Модель Mavic 3 Classic активно используется в кинопроизводстве и для инспекции инфраструктурных объектов, где критически важно обеспечить плавное движение камеры при выполнении полетных маневров [433].		

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
33	AUTEL ROBOTICS	Autel Robotics	www.autelrobotics.com/	Китай	Флагманская модель EVO Max 4T XE от компании Autel оснащена мультисенсорной системой, включающей четыре пары бинокулярных камер «рыбий глаз» и мм-волновой радар. Совокупный угол обзора сенсоров достигает 720°, обеспечивая полное круговое покрытие (360°) и всепогодное обнаружение препятствий. Технология меш-сети A-Mesh обеспечивает защищенную передачу HD-видеосигнала на дистанцию до 15 километров с применением шифрования AES-256. Данная технология связи в сочетании с системой Autonomy Engine позволяет группе из 5–7 БВС, действующих как единый «рой», проводить автономную инспекцию	Технологии технического зрения	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					линий электропередач без постоянного контроля оператора [434].		
34		Baidu Apollo	apollo.auto	Китай	Компанией Baidu Apollo разработан продукт Apollo Lite NewSpace Research & Technologies – камероцентричная система L4 без лидаров, использующая 10 камер с 360° охватом. Apollo Lite обрабатывает видео с высокой скоростью, распознает объекты на расстоянии до 215 м и подтвердил высокий уровень автономии L4 на улицах Пекина. Отказ от дорогих лидаров снижает стоимость сенсорных систем, что критично для массового внедрения роботакси и автономных логистических платформ [435].	Технологии технического зрения	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
35		SenseTime	www.sensetime.com	Китай	Флагманская платформа SenseFoundry от компании SenseTime обеспечивает передовую обработку	Технологии технического зрения	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					видеопотоков с городских камер наблюдения. Система автоматически анализирует видео в режиме реального времени, выявляя и структурируя данные о различных инцидентах. Платформа успешно развернута в крупнейших китайских мегаполисах, включая Пекин, Шанхай и Шэньчжэнь. Благодаря оперативным оповещениям от SenseFoundry городские службы получают возможность существенно сократить время реагирования и устранения последствий инцидентов [436].		
36		DJI	dji.com	Китай	В 2024 году DJI Automotive вывела на рынок систему LiDAR-vision, которая сочетает в себе LiDAR, стереосенсор, монокамеру с длинным фокусом и технологии инерциальной	Продвинутые технологии автономной навигации	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					навигации. По сравнению с более распространенным на рынке сочетаний технологий «LiDAR + камера, расположенная спереди», данная система позволяет снизить затраты на 30–40%, обеспечивая при этом 100% производительность и заменяя все функции. Благодаря интегрированной конструкции решение «LiDAR-vision» также может быть встроено в салон транспортного средства, что снижает общие затраты на установку [437].		
37		JOUAV	jouav.com	Китай	Компанией JOUAV был разработан JOUAV JOS-C700 – «умный ИИ-ангар» для БВС, использующий визуально-инерциальную систему навигации (SLAM, метод одновременной навигации и построения карты) и технологии	Продвинутые технологии автономной навигации	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					позиционирования по совпадению сцен (Scene Matching Positioning Technologies) для повышения точности автономной навигации. Система JOUAV JOS-C700 обладает радиусом действия до 50 километров. Высокая устойчивость этой системы к помехам и подделке сигналов GNSS обеспечивает надежную работу даже в условиях сложной электромагнитной среды. Решение используется в таких областях как мониторинг, инспекции сетей электропередач и ликвидации стихийных бедствий [438, 439].		
38	AUTEL ROBOTICS	Autel Robotics	autelrobotics.com	Китай	Система Autel Autonomy Engine от компании Autel Robotics позволяет собирать данные об окружающей среде и планировать	Продвинутые технологии автономной навигации	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					маршрут в трех измерениях через сложную среду. Autel Autonomy Engine объединяет традиционные бинокулярные системы визуального наблюдения с использованием радаров миллиметрового диапазона, за счет чего устраняются слепые зоны. Решение используется для построения 3D-моделей крупных объектов, обеспечения общественной безопасности и мониторинга состояния промышленных объектов [440].		
39	NANORADAR	Nanoradar	en.nanoradar.cn/	Китай	Разработанный компанией Nanoradar двухлучевой 77GHz миллиметровый радар MR72-UAV, предназначен для автоматического обхода препятствий БВС. Nanoradar MR72-UAV поддерживает одновременный вывод информации о расстоянии,	Технологии предотвращения столкновений (DAA)	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					скорости и угле до 64 целей. Благодаря низкой стоимости, высокой точности, небольшому размеру и весу, а также низкому энергопотреблению, MR72-UAV может применяться в сельском хозяйстве, энергетике, промышленности, на небольших дирижаблях и в других областях [441].		
40	LIVOX	Livox	livoxtech.com	Китай	Ключевое отличие технологии Livox от традиционных механических лидаров – переход от линейного сканирования к неповторяющимся паттернам сканирования (в форме «цветка»), за счет чего сокращается количество слепых зон и увеличивается надежность системы [442].	Технологии предотвращения столкновений (DAA)	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
41		China Unicom	www.chinaunicom.com/	Китай	В 2023 году компания China Unicom разработала модуль LTE связи для БВС. В качестве резервного канала связи с БВС реализована возможность связи спутниками. Основное предназначение проекта – мониторинг удаленных объектов и картография [443].	Технологии связи с использованием низкоорбитальной спутниковой группировки	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
42		China Satcom	chinasatcom.com	Китай	Компания China Satcom разработала стандартизированные спутниковые терминалы Ка-диапазона для установки на БВС, для применения в условиях чрезвычайных ситуаций. Стандартизированные терминалы компании могут быть установлены как на БВС среднего класса, так и на вертолеты и дирижабли, для развертывания	Технологии связи с использованием низкоорбитальной спутниковой группировки	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					интегрированных систем связи. Предполагается, что основными сферами применения такой связи должно стать ликвидация чрезвычайных ситуаций, мониторинг лесных зон и охрана государственной границы [444].		
43		JOUAV	jouav.com	Китай	Компания Jouav разработала многоканальную коммуникационную систему связи для своего БВС CW-80E, включающую в себя высокопропускную спутниковую связь через геостационарные спутники Ka-диапазона, систему коротких сообщений Beidou через национальную глобальную спутниковую навигационную систему, беспроводную mesh-сеть, базовую станцию связи LTE и систему микроволновой радиосвязи, действующей	Технологии связи с использованием низкоорбитальной спутниковой группировки	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					на 100-200 км. Основное предназначение БВС CW-80E – использование в чрезвычайных ситуациях, когда нарушены дорожная и энергетическая инфраструктура и система связи [445, 446].		
44	SATPRO	DBS/Satpro	satpro.com	Китай	Компания DBS (бренд Satro) разработала специализированный БВС вертикального взлета и посадки FS100, оснащенный системой связи, использующей как широкополосную спутниковую связь, так и связь 4G/5G. Такое решение позволяет размещать на борту БВС базовые станции 4G/5G и быстро восстанавливать локальные святи связи. Основные направления применения FS100 – лесопожарный мониторинг, патрулирование	Технологии связи с использова-нием низкоорби-тальной спутниковой группировки	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					электросетей и пограничных территорий, патрулирование прибрежных вод и работа в зонах стихийных бедствий [447, 448].		
45		Zongshen Aero Engine Company	mobile.zsaeroengine.com	Китай	Модельный ряд компании Zongshen Aero Engine Company включает серию поршневых авиадвигателей мощностью от 2 до 400 л. с. Компания разработала собственные пропеллеры из углепластика (ZP1780, ZP1870), оптимизированные для двигателей мощностью 115–160 л. с. Технологические компетенции компании охватывают разработку систем зажигания для тяжелого топлива и интеллектуальных систем мониторинга состояния авиационных поршневых двигателей (EHS). По оценкам специалистов,	Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					данные разработки достигли передового международного уровня [445, 449].		
46	DLE Engine	Mile Haoxiang Technology Co., Ltd. (DLE)	www.dlengine.com/en/	Китай	В производственной линейке компании Mile Haoxiang Technology находятся десятки двигателей для авиационной техники и БВС легкого и среднего типа. Компания производит широкий ассортимент двухтактных бензиновых двигателей от 20 до 400 $см^3$ [450].	Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей
47	LIMBACH Flugmotoren	Xiamen Limbach Aviation Engine Co., Ltd.	www.limbach.cn/ae/in-dex.html	Китай	Производственный комплекс предприятия Xiamen Limbach Aviation Engine оснащен современным оборудованием и включает собственную сборочную линию и испытательный центр. Компания осуществляет серийное производство	Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					двигателей серий L275 и L550, параллельно проводя модернизацию флагманской модели L2400. Продуктовая линейка предприятия включает не только авиационные двигатели и силовые установки для БВС, но и авиационные винты. Наличие сертификата системы менеджмента качества ISO 9001 подтверждает соответствие производства международным стандартам [451].		
48		BG Motor	www.china-bgmotor.com	Китай	В ассортименте компании BG Motor представлены бесщеточные двигатели постоянного тока (BLDC), щеточные двигатели постоянного тока, планетарные и червячные редукторы, универсальные двигатели и двигатели переменного тока. Важной	Электродвига-тели для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					вехой стало открытие в 2017 году филиала в провинции Цзянсу, где был создан специализированный отдел исследований и разработок (R&D), сфокусированный на бесщеточных двигателях. Данный шаг позволил компании разработать серию из более чем 20 моделей двигателей и вывести их на международный рынок. Особое внимание компания уделяет созданию высоко-качественных двигателей для БВС. Разработка специализированных двигателей напрямую опирается на экспертизу компании в области технологий разработки бесщеточных двигателей и редукторов [452].		

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
49		Dongyang JC Motor		Китай	Компания Dongyang JC Motor — разработчик и производитель различных типов электродвигателей, включая двигатели для БВС, бесщеточные двигатели постоянного тока и щеточные двигатели постоянного тока. Производственные мощности предприятия достигают 1,1 миллиона двигателей в год. Предприятие осуществляет полный цикл работ – от проектирования до серийного производства двигателей и контроллеров. Продукция компании применяется в таких отраслях как аэрофото-съемка, промышленная автоматизация, сельскохо-зяйственная техника, коммерческое оборудование и робототехнические системы [453].	Электродвига-тели для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
50		T-MOTOR	uav-en.tmotor.com	Китай	Основная деятельность компании T-MOTOR сосредоточена на создании интегрированных пропульсивных систем для БВС. Технология MEPT (Modular Electric Propulsion Technology) реализована в серии A-Series. Платформа объединяет в единый модуль бесколлекторный двигатель, электронный регулятор скорости и воздушный винт, что упрощает установку и обеспечивает совместимость компонентов. Технические параметры модулей предусматривают работу с LiPo-аккумуляторами 14S–24S. Диапазон создаваемой тяги составляет от 2 до 60 кг. Для конкретных моделей зафиксированы следующие показатели: F15 – 0,244 кг тяги, AT1030 – 28 кг, U15 – 63 кг.	Электродвига-тели для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					Базовая защита модулей соответствует стандарту IPX6 [454, 455].		
51	MECHTEX Driving Innovation	Mechtex	mechtex.com/products/drone-motors	Индия	Компания Mechtex специализируется на производстве бесщеточных двигателей постоянного тока для беспилотных воздушных судов. В линейке продукции представлены двигатели для разных типов БВС. Максимальная мощность двигателя достигает 7000 Вт, а показатель KV может составлять до 800 единиц. Конструктивные особенности двигателей обеспечивают их надежность и долговечность. Корпус изготавливается из высокопрочного авиационного алюминия марки 7075, который сочетает легкость	Электродвигатели для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					и прочность. Медные обмотки оснащены изоляцией класса C, способной выдерживать температуру до 200 °C. Кроме того, двигатели имеют защиту от пыли и влаги согласно стандарту IP [456].		
52		Richenpower Technology	www.richenpower.com	Китай	Richenpower Technology — китайский производитель тяжелых сельскохозяйственных БВС и гибридных силовых установок. Гибридные системы компании способны обеспечивать полет более двух часов. В 2018 году БВС Owling с созданным компанией двигателем H2 совершил полет длительностью 7 часов 17 минут [457, 458].	Гибридные силовые установки для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей
53		Zhuhai SVFFI Aviation	www.svffi.com	Китай	Компания Zhuhai SVFFI Aviation специализируется на НИОКР и производстве силовых установок	Гибридные силовые установки для БВС и морских	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					для пилотируемой авиации и БВС, и производит, в том числе, гибридные силовые установки для мультикоптеров. Компания производит линейку гибридных силовых установок малой и средней мощности для мультикоптеров, применяемых в таких отраслях как сельское хозяйство, аэрофотосъемка и промышленный мониторинг [459].	беспилотных систем	
54	DLE Engine	Mile Hao Xiang Technology (коммерческий бренд – DLE)	www.dlengine.com/	Китай	Mile Hao Xiang Technology — китайский производитель авиамодельных двигателей и двигателей для БВС. В настоящее время двигатели компании активно применяются в БВС, парапланах и легких пилотируемых летательных аппаратах. Ключевыми преимуществами двигателей компании	Гибридные силовые установки для БВС и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					является модульность компонентов (стартера, генератора и системы охлаждения), относительно низкий вес и высокая топливная экономичность [460].		
55		Shandong Lianxin Power Technology Co., Ltd.	lianxindongli. en.made-in-china.com /?pv_id=1j1vequtg13b &faw_id=null&bv_id= 1j1ver43de82	Китай	Shandong Lianxin Power Technology выпускает турбореактивные двигатели различной мощности, работающие на авиационном керосине, весом от 9 до 160 кг. Двигатели компании используются для БВС и авиамоделей, а также устанавливаются на снегоуборочных машинах [461].	Реактивные двигатели для БВС	Технологии силовых установок и батарей
56		Fengcheng Hongbo Turbo Co., Ltd.	www.hongboturbo.net	Китай	Компания Fengcheng Hongbo Turbo производит автозапчасти, детали турбокомпрессоров и турбореактивных двигателей. В настоящее время в производственной	Реактивные двигатели для БВС	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					линейке компании – несколько небольших легких турбореактивных двигателей (JT-400N, JT-800N, JT-1000N и JT-1350N) – способных к использованию в качестве силовой установки легких и средних БВС [462].		
57	TURBOKOO	TURBOKOO	turbokoo.com	Китай	Разработанный компанией турбореактивный двигатель TK400 обладает высокой тягой (400 Н) и относительно малым весом (3,2 кг). Также компания предлагает разработку и производство турбореактивных двигателей до 1000 Н, кастомизированных под требования заказчика [463].	Реактивные двигатели для БВС	Технологии силовых установок и батарей
58	协氢 HiTS	HiTS (Shanghai) Hydrogen Power Technology Co., Ltd.	www.shhits.com.cn	Китай	Компания развивает три основные бизнес-сегмента: водородные топливные элементы с воздушным охлаждением, БВС, использующие	Водородные источники питания	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					водород и технологии производства и хранения водорода. БВС Atlas H100, разработанные компанией, способны нести до 40 кг полезной нагрузки в течение 2х часов при температуре до минус 40 градусов Цельсия [464].		
59	HYDROGEN CRAFT 氢航科技	Hydrogen Craft Corporation	www.hydrogencraft.com	Китай	Hydrogen Craft Corporation — китайский производитель легких водородных топливных элементов, электрогенераторов на водородном топливе и БВС, использующих на водородные топливные элементы. На основе DJI M350 компанией был создан водородный БВС, мощностью 1700 Вт и временем полета до 90 минут. Другая разработка компании – БВС FC30 способный транспортировать груз	Водородные источники питания	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					до 15 кг в течении 75 минут [465, 466].		
60	HYPACE WORLD'S FIRST BUILT-ON-FRAME ULTRALIGHT MOUSE	HyPACE	hypace.in	Китай	HyPACE — технологическое подразделение компании Urjahub Private Limited, специализирующееся на работке водородных топливных элементов для воздушного и наземного транспорта. Разработанные компанией водородные БВС и двигательные системы (HPD) оснащены топливными ячейками собственной разработки. В качестве ключевых преимуществ продукта называются дальний радиус действия и большая грузоподъемностью по сравнению с БВС на литий-ионных батареях [467].	Водородные источники питания	Технологии силовых установок и батарей
61	HOLO BATTERY	Holo Battery	holobattery.com	Китай	Компания Holo Battery специализируется на батареях с высокой плотностью энергии	Продвинутые литий-ионные батареи	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					(до 450 Вт.ч/кг), применяемых в том числе для БВС и пилотируемых средств городской воздушной мобильности. Ключевые преимущества продукции компании — высокая плотность энергии, длительный жизненный цикл батарей (около 3000 циклов вместо обычных 500-600) и гибкие возможности кастомизации производства под задачи заказчика [468, 469].		
62		CATL	www.catl.com	Китай	Компания Contemporary Amperex Technology Company Limited (CATL) — крупнейший мировой производитель литий-ионных аккумуляторов. По итогам первого квартала 2025 года CATL занимает 38,3% мирового рынка аккумуляторов	Продвинутые литий-ионные батареи	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					для электромобилей. Корпорация производит широкий спектр батарей, включая сверхэффективные батареи с высокой энергетической плотностью (500 Вт-ч/кг), применимые в электросамолетах [470, 471].		
63	Artek Group	Artek Energy	artekgroup.in/	Индия	Artek Energy — крупная индийская компания в сфере БВС, специализирующаяся на проектировании и производстве литий-ионных батарей. Компания предлагает широкий ассортимент батарей для бытовых и промышленных БВС. Ключевые заявляемые преимущества продукции компании – кастомизация создаваемых батарей по требования БВС [472].	Продвинутые литий-ионные батареи	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
64		SunLipo Energy (Shenzhen) Co., Ltd.		Китай	SunLipo Energy Shenzhen – один из ведущих производителей батарей для БВС различных видов. Производственные мощности компании позволяют производить 50 тысяч батарей ежедневно [473].	Продвинутые литий-ионные батареи	Технологии силовых установок и батарей
65		Weihai Carbon Fiber UAV Co., Ltd.	www.carbonfiberuav.com	Китай	Ключевая специализация компании Weihai Carbon Fiber UAV – изготовление монолитных и сэндвич-панелей, и рам различного форм-фактора. Ключевые преимущества продукции компании – высокая прочность при сохранении малого веса, устойчивость ко внешнему воздействию и адаптация под различные виды полезных нагрузок [474].	Композицион-ные материалы	Высокотехнологич-ные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
66		Jinbo Carbon	www.kbcarbon.com	Китай	Jinbo Carbon — один из ведущих производителей высококлассных	Композицион-ные материалы	Высокотехнологич-ные материалы и композиционные

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					композиционных материалов на основе углерода в Китае. Компания включена в особый список инновационных компаний, выделяемых Министерством промышленности и информационных технологий КНР. Jinbo Carbon производит композиционные материалы на основе углерода для таких отраслей как солнечная энергетика, производство электроники, и машиностроение [475].		решения для беспилотных аппаратов
67	HY GUANGDONG HANGYU	Guangdong Hangyu Composite Material Technology Co., Ltd.	www.carbonfiberproduct.com	Китай	Компания Guangdong Hangyu Composite Material Technology специализируется на армированных термореактивных и термопластичных композиционных материалах из углеродного волокна. Для сферы БВС компания производит рамы,	Композицион-ные материалы	Высокотехнологич-ные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					пропеллеры из углеволокна, корпусные детали для БВС различных типов. К числу преимуществ продукции компании относится глубокая кастомизация деталей под индивидуальные требования заказчиков [476].		
68	BLT	BLT	www.xa-blt.com/en/	Китай	Компания BLT специализируется на технологиях металлической аддитивной печати, в частности на лазерном сплавлении порошковых слоев. Компания предлагает ряд продуктов и услуг, включая производство оборудования, контрактную печать металлических деталей, поставку металлических порошков, техническое обслуживание и разработку программного обеспечения. Разработав несколько серий металлических	Технологии аддитивного производства (3D-печать)	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					3D-принтеров, BLT утвердилась как игрок на внутреннем рынке Китая по объему поставок подобных систем. Решения компании нашли применение в разнообразных секторах, таких как аэрокосмическая промышленность, энергетика, медицина, стоматология, изготовление промышленной оснастки и автомобилестроение [477, 478].		
69		Farsoon Technologies	www.farsoon.com	Китай	Компания Farsoon Technologies специализируется на разработке и поставке систем лазерного сплавления порошкового слоя как для полимерных, так и для металлических материалов. В своей стратегии компания Farsoon делает ставку на открытость	Технологии аддитивного производства (3D-печать)	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					платформ, предлагая клиентам гибкие системы, что позволяет адаптировать процессы и материалы под конкретные производственные нужды. Для решения задач серийного выпуска продукции компания развивает высокоскорост-ную 3D-печать, представив в 2022 году новое поколение многолазерных установок с увеличенными камерами для работы с металлами и полимерами. Устойчивость бизнес-мо-дели компании подтвер-ждается финансовыми ре-зультатами: в 2023 году выручка выросла на 33%, достигнув 605,7 млн юаней. Подавляющую часть доходов (87,45%) обеспечивают продажи 3D-принтеров и сопутствующего оборудования [479].		

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
70		Shenzhen JR Technology	www.china-3dprinting.com	Китай	Shenzhen JR Technology предоставляет высококачественные решения для аддитивного производства в таких областях как медицинская промышленность, аэрокосмическая отрасль, робототехника, производство потребитель-ской электроники и БВС. Компания предлагает решения в среднем на 50% дешевле европейских и американских производителей вместе со сверхбыстрым производством – разворачивание производства занимает 24 часа. Shenzhen JR Technology предоставляет полный спектр технологий аддитивного производства: 3D-печать металлическими порошками, MJF 3D-печать, SLS 3D-печать,	Технологии аддитивного производства (3D-печать)	Высокотехнологич-ные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					SLA 3D-печать и FDM 3D-печать [480].		
71		Wipro 3D	wipro-3d.com	Индия	Индийская компания Wipro 3D, выделенное подразделение аддитивного производства в составе Wipro Infrastructure Engineering, является признанным лидером в сфере металлической 3D-печати на индийском рынке. Опираясь на более чем 40-летний опыт Wipro Infrastructure Engineering, подразделение динамично развивается и занимает ведущие позиции на рынке. Wipro 3D предлагает решения для высокотехнологичных отраслей промышленности, как аэрокосмическая отрасль, оборонная промышленность, энергетическое и тяжелое	Технологии аддитивного производства (3D-печать)	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					машиностроение, а также автомобилестроение. Важное конкурентное преимущество компании – полный цикл коммерческих решений, от проектирования до запуска полноценного аддитивного производства под нужды заказчика [481].		
72	GEOSCAN	ГК «Геоскан»	geoscan.ru	Россия	Рой БВС «Геоскан Пионер», включающий 10 образовательных БВС (модели «Пионер Базовый» или «Пионер Мини») и соответствующее ПО. Готовое коммерческое решение, может применяться как для шоу дронов, так и для отработки алгоритмов роевого интеллекта [482].	Технологии роевой навигации	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
73	GEOSCAN	ГК «Геоскан»	geoscan.ru	Россия	Система навигации «Локус» обеспечивает управление БВС внутри контролируемой полетной зоны 10x10x4 метра независимо от других навигационных систем за счет сети ультразвуковых передатчиков, размещаемых в помещении, и приемника, которым оснащается беспилотное воздушное судно [483].	Продвинутые технологии автономной навигации	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
74	GEOSCAN	ГК «Геоскан»	geoscan.ru	Россия	Корпус ряда моделей БВС (Геоскан 201, Геоскан 701) из композиционных материалов, крылья из вспененного полипропилена [484].	Композиционные материалы	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
75	GEOSCAN	ГК «Геоскан»	geoscan.ru	Россия	БВС «Геоскан 401» – рама из углепластика [485].	Композиционные материалы	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
76	GEOSCAN	ГК «Геоскан»	geoscan.ru	Россия	БВС «Геоскан Gemini» – в конструкции рамы и корпуса использованы композиционные материалы [486, 487].	Композиционные материалы	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
77	SUPERCAM	ГК «Беспилотные системы»	supercam.aero	Россия	Флагманский продукт – БВС «Supercam S350 / S350F» – оснащен АКБ повышенной емкости 21000mAh (совместная разработка со специалистами компании «Li-Pol Systems»), обеспечивающими максимально долгую работу от одного заряда (4,5 часа – рекорд продолжительности полета среди малых БПЛА) в сочетании с легкостью, компактностью и надежностью. БВС состоит из модульных элементов [488].	Продвинутые литий-ионные батареи	Технологии силовых установок и батарей
78	SUPERCAM	ГК «Беспилотные системы»	supercam.aero	Россия	Конструкция ряда БВС группы компаний выполнена из карбона и композиционных материалов (Supercam	Композиционные материалы	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					S350 / S350F, Supercam X4, Supercam X4E и др.) [488–490]		для беспилотных аппаратов
79		ГК «Аэромакс»	aeromax-group.ru	Россия	БАС вертолетного типа под брендом «SmartHELI» (выпускаемые ООО «АВС», вошедшей в состав группы компаний), в основе бортового комплекса которых лежат технологии искусственного интеллекта, что позволяет им самостоятельно выполнять автономный полет, ориентируясь в пространстве среди препятствий и различных объектов при выполнении транспортные задач и задач мониторинга [491, 492].	Технологии бортового искусственного интеллекта	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
80		ГК «Аэромакс»	aeromax-group.ru	Россия	БВС вертолетного типа «SH-750» (совместно с ГК «Икар») и мультиротор-ное БВС на водородных топливных элементах	Водородные источники питания	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					(продолжается разработка). Разработкой непосредственно водородной силовой установки занимается ООО «Центр Водородных Технологий» по заказу группы компаний. Планируется, что такая установка сможет поднять в воздух грузовой беспилотный вертолет взлетной массой в 750 кг [493–496].		
81		ГК «Аэромакс»	aeromax-group.ru	Россия	В производстве ГК «Аэромакс» активно используются композиционные материалы, в частности, производственные мощности группы компаний включают цеха по разработке композиционных материалов и развитию технологий их производства [497, 498].	Композиционные материалы	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
82	ИКАР	ГК «Икар»	ikarcenter.ru	Россия	Группа компаний – инженерно-производственный холдинг, в число услуг которого входит проектирование на всех стадиях жизненного цикла изделия с использованием передовых цифровых инструментов [499].	Системы управления данными и жизненным циклом продукта и системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (PDM/PLM; SPDM)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
83	ИКАР	ГК «Икар»	ikarcenter.ru	Россия	БВС вертолетного типа «SH-750» (совместно с ГК «Аэромакс») на водородных топливных элементах (продолжается разработка) [493–496].	Водородные источники питания	Технологии силовых установок и батарей
84	ИКАР	ГК «Икар»	ikarcenter.ru	Россия	Электродвигатель для мультироторных БВС – «ЭДМ-8724-100» – функциональный аналог иностранных изделий подобного класса [500].	Электродвигатели для БПЛА и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
85		ГК «Икар»	ikarcenter.ru	Россия	Комплекс для изготовления композиционных материалов методом вакуумной инфузии [501].	Композиционные материалы	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
86		ГК «Икар»	ikarcenter.ru	Россия	Раскройно-разметочный комплекс по неметаллическим материалам (1300 х 1200 мм, толщина до 50 мм) [501].	Композиционные материалы	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
87		ГК «Икар»	ikarcenter.ru	Россия	Камера полимеризации для горячего формования (7000 х 2500 х 2500 мм) [501].	Композиционные материалы	Высокотехнологичные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
88		ГК «ZALA»	zala-aero.com	Россия	БВС «ZALA 421-16E5G» оснащено системой полной расшифровки подстилающей поверхности с помощью нейронной сети, расположенной непосредственно на борту. Система с элементами ИИ	Технологии технического зрения	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					обеспечивает дешифровку изображения, распознавание объектов и видеонавигацию [502].		
89		ГК «ZALA»	zala-aero.com	Россия	ZALA 421-16E5G является первым в мире БВС самолетного типа и без-аэродромного базирования, оснащенным гибридной силовой установкой в составе электромотора и двигателя внутреннего сгорания [502].	Гибридные силовые установки для БПЛА и морских беспилотных систем	Технологии силовых установок и батарей
90		ГК «ZALA»	zala-aero.com	Россия	Композиционные материалы используются в конструкции ряда моделей БВС (ZALA Z-16 и др.), в т.ч. в конструкции носителей управляемого боеприпаса (Изделие 51-Э, Изделие 52-Э и т.д.) [502–505].	Композицион-ные материалы	Высокотехнологич-ные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
91		АО «ЦКБМТ «Рубин»	ckb-rubin.ru	Россия	Автономный подводный аппарат «Аргус», способный также работать в составе группы до 5 однотипных	Технологии роевой навигации	Технологии систем управления беспилотными аппаратами

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					аппаратов, координирующих свои действия [506].		
92	РУБИН	АО «ЦКБМТ «Рубин»	ckb-rubin.ru	Россия	Концепт-проект группы автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) для морских геофизических исследований – от 200 до 1000 АНПА-приемников, от 1 АНПА-передатчика (проект на стадии НИР) [507].	Технологии децентрализованных сетей и mesh-сетей	Технологии связи для беспилотных аппаратов
93	РУБИН	АО «ЦКБМТ «Рубин»	ckb-rubin.ru	Россия	Глубоководный комплекс «Витязь-Д», в состав которого входит автономный необитаемый подводный аппарат для сверхглубоководных погружений (АНПА СГП) с системой управления с элементами ИИ [508–511].	Технологии бортового искусственного интеллекта	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
94	РУБИН	АО «ЦКБМТ «Рубин»	ckb-rubin.ru	Россия	Система гидроакустической связи повышенной мощности, входящая в состав глубоководного комплекса «Витязь-Д» [508–511].	Помехоустойчивые ГНСС-приемники и каналообразующее оборудование для	Технологии связи для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
						помехоустой-чивой связи	
95	РУБИН	АО «ЦКБМТ «Рубин»	ckb-rubin.ru	Россия	В конструкции АНПА СГП «Витязь-Д» использованы титановые сплавы и сферопластик повышенной прочности [508–511].	Композицион-ные материалы	Высокотехнологич-ные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
96	НПО аврора	АО «Концерн «НПО «Аврора»	aokmp.ru/aurora	Россия	Компания использует собственный программный комплекс для исследовательского проектирования и моделирования, в т.ч. позволяющий проведение цифровых испытаний АНПА. Указанная система комплексного моделирования АНПА, его технического состояния, внешних условий и тактической обстановки, математической и алгоритмической отладки систем управления АНПА позволяет решать задачи	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					эффективного одиночного применения и группового взаимодействия разрабатываемых аппаратов [512, 513].		
97		АО «Концерн «НПО «Аврора»	aokmp.ru/aurora	Россия	В продуктовый портфель компании входит линейка модульных морских робототехнических комплексов легкого класса на базе АНПА [512, 513].	Промышленная автоматизация и робототехника	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
98		АО «Концерн «НПО «Аврора»	aokmp.ru/aurora	Россия	Ведутся разработки, направленные на оптимизацию используемых для обеспечения работы АНПА энергетических модулей. В частности, подтверждена возможность применения энергетического отсека воздухонезависимой энергетической установки на базе принципа электрохимической	Водородные источники питания	Технологии силовых установок и батарей

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					генерации – водородно-кислородного аккумулятора и газобаллонной системы хранения реагентов [512–514].		
99		ООО «КМЗ»	kmz1.ru	Россия	Тяжелый надводный беспилотный аппарат «Визир». Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC), в т.ч. разработка модели безэкипажного катера «Визир-700» при участии специалистов СПбПУ [515–518].	Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов
100		ООО «КМЗ»	kmz1.ru	Россия	Тяжелый надводный беспилотный аппарат «Визир». Аппарат может работать без сопровождения оператором за счет модуля на базе ИИ, обученного на собственном наборе данных [515–518].	Технологии бортового искусственного интеллекта	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
101		ООО «КМЗ»	kmz1.ru	Россия	Тяжелый надводный беспилотный аппарат «Визир».	Продвинутые технологии	Технологии систем управления

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					Гиростабилизированная платформа, обеспечивающая устойчивость аппарата и стабильное положение бортового оборудования, в т.ч. при сильном ветре и волнении воды [515–518].	автономной навигации	беспилотными аппаратами
102		ООО «КМЗ»	kmz1.ru	Россия	Тяжелый надводный беспилотный аппарат «Визир». Композиционные материалы и алюминиевые сплавы – основные материалы, используемые в производстве [515–518].	Композицион-ные материалы	Высокотехнологич-ные материалы и композиционные решения для беспилотных аппаратов
103		АО «Тетис Про»	www.tetis-pro.ru	Россия	В 2023 году (на перспективу до 2028 года) заявлен проект разработки телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА), способных работать на безэкипажных судах. В 2027 году планируется внедрить технологии, обеспечивающие удаленное	Технологии связи с исполь-зованием низ-коорбитальной спутниковой группировки	Технологии связи для беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					управление аппаратами по спутниковой связи [519].		
104		АО «НПП ПТ «Океанос»	oceanos.ru	Россия	В основе методологии АО «НПП ПТ «Океанос» положен «метод математического моделирования работы изделия в реальных условиях с целью формирования базы данных физического взаимодействия изделия с реальной средой. Такой научно-эмпирический метод исследования позволяет разработчикам строить более точные конечные модели как конструкции изделия, так и систем автоматического управления (САУ) аппаратом для оптимизационного математического моделирования» [520].	Цифровое проектирование и инженерный анализ (CAD/CAE; HPC)	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
105		АО «НПП ПТ «Океанос»	oceanos.ru	Россия	Система управления интервенционного автономного подводного аппарата (ЛИ АНПА) на базе ИИ обеспечивает автономную работу самого аппарата и бортового манипуляторного комплекса, в т.ч. за счет использования систем технического зрения [520–522].	Технологии бортового искусственного интеллекта	Технологии систем управления беспилотными аппаратами
106		АО «НПП ПТ «Океанос»	oceanos.ru	Россия	Система высокоскоростной подводной оптической связи О2-СПОС-44020 предна-значена для беспроводной передачи данных и управления подводным аппаратом [522].	Лазерные технологии связи	Технологии связи для беспилотных аппаратов
107		Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) Передовой инженерной школы	fea.ru/	Россия	Семейство электрических БВС гибридной компоновки (сочетание мультироторной и самолетной схем) «Снегирь». Проектирование и моделирование БВС «Снегирь-1» проводилось на Цифровой платформе	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
		«Цифровой инжиниринг» СПбПУ			разработки и применения цифровых двойников CML-Bench® и легло в основу создания платформ проектирования БВС (CML-UAV™) и производства БВС (CML-DRONE™). Срок от идеи до первого полета БВС: 5 месяцев. Специфика проекта БВС «Снегирь-1.5» – значительное число проведенных виртуальных испытаний, заложивших основу формирования полноценной среды разработки и цифровой сертификации БВС. В частности, в ходе проекта разработано более 30 ВИС [523–525].		
108	CML	Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) Передовой	fea.ru/	Россия	Комплекс НИОКР «Виртуальный аэро-динамический полигон для тестирования беспилотных летательных аппаратов». Цель – создание ВИП	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
		инженерной школы «Цифровой инжиниринг» СПбПУ			для аэродинамического тестирования цифровых прототипов БВС в широких диапазонах реалистичных условий окружающей среды и сценариев полета. Результат: ВИП, предназначенный для моделирования аэродинамических воздействий на проектируемые летательные аппараты, что позволяет сокращать на 90% количество натурных испытаний за счет использования валидированных расчетных случаев [526].		беспилотных аппаратов
109		Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг» СПбПУ	pish.spbstu.ru/	Россия	Контракт «Оказание услуг по развитию системы построения виртуальных испытательных стендов и виртуальных испытательных полигонов, проведение цифровых испытаний элементов беспилотных	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
					летательных аппаратов на базе единой цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников БАС». Цель – развитие системы построения ВИС и ВИП, проведение цифровых испытаний элементов БВС на базе единой цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников БАС, в т.ч. работы по созданию модульной архитектуры и адаптации функциональ-ных модулей платформы, поставку программно-аппаратного комплекса в составе оборудования программной части и обучение технических специалистов заказчика администрированию, поддержке и работе с платформой [527].		

№	Логотип (при наличии)	Наименование компании	Сайт (ссылка, при наличии)	Страна	Краткое описание кейса / продукта	Наименование технологии	Наименование технологического домена
110		ПИШ «Передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии» МФТИ	mipt-rse.ru/	Россия	Разработка ВИП для проведения и анализа результатов испытаний цифровых двойников БВС. Программно-аппаратный комплекс представляет собой суперкомпьютер, функционирующий полностью на отечественном ПО – операционной системе Astra Linux, – на котором можно моделировать любые пространства, локации и объекты с полным соблюдением законов физики [528, 529].	Передовой цифровой инжиниринг. Технологии цифровых двойников	Передовые технологии проектирования, производства и проведения испытаний беспилотных аппаратов

ГЛОССАРИЙ

Автоматизированная система – Система, состоящая из комплекса средств автоматизации, реализующего информационную технологию выполнения установленных функций, и персонала, обеспечивающего его функционирование [ГОСТ Р 59853—2021].

Примечания:

1 В зависимости от вида деятельности выделяют, например, следующие виды АС: автоматизированные системы управления (АСУ), системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы научных исследований (АСНИ) и др.

2 В зависимости от вида управляемого объекта (процесса) АСУ подразделяют, например, на АСУ технологическими процессами (АСУТП), АСУ предприятиями (АСУП) и т. д.

Адекватность модели – Соответствие модели моделируемому изделию (процессу, явлению) по обоснованному перечню характеристик [ГОСТ Р 57700.37–2021].

Примечание. Факторы, влияющие на разработку цифровых моделей высокого уровня адекватности изделию:

- квалифицированные кадры (инженеры);
- технологии:
- высокопроизводительные вычислительные системы;
- сроки;
- финансирование.

Беспилотная авиационная система (БАС) – Комплекс, включающий одно или несколько беспилотных воздушных суден (ВС). оборудованных системами навигации и связи, средствами обмена данными и полезной нагрузкой, а также наземные технические средства передачи-получения данных, используемые для управления полетом и обмена данными о параметрах полета, служебной информацией и информацией о полезной нагрузке такого или таких ВС, и канал связи со службой управления воздушным движением [ГОСТ Р 57258—2016].

Примечание: наряду с термином «беспилотная авиационная система» используется также термин «авиационная система с беспилотным воздушным судном (беспилотными воздушными судами)».

Беспилотное воздушное судно (БВС) – Воздушное судно, управляемое в полете пилотом, находящимся вне борта такого ВС, или выполняющее автономный полет по заданному предварительно маршруту [ГОСТ Р 57258—2016].

Примечание: наряду с термином «беспилотное воздушное судно» также используется термин «беспилотный летательный аппарат».

Валидация (validation) – Подтверждение (на основе представления объективных свидетельств) того, что заданные требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены [ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207:2010].

Примечание. Валидация в контексте жизненного цикла представляет собой совокупность действий, гарантирующих и обеспечивающих уверенность в том, что система способна реализовать свое предназначение, текущие и перспективные цели [ГОСТ Р 57269–2016].

Валидация математической модели (mathematical model validation) - Подтверждение адекватности математической модели моделируемому объекту [ГОСТ Р 57188-2016].

Валидация модели изделия - Подтверждение адекватности модели моделируемому изделию [ГОСТ Р 57700.37–2021].

Примечания:

1 Валидация модели изделия выполняется для выбранного множества характеристик и заданной степени точности.

2 Определение распространяется на математические, компьютерные, цифровые модели.

Валидация численной расчетной модели - Процедура подтверждения адекватности численной расчетной модели поведению моделируемого объекта при ударном нагружении [ГОСТ Р 57700.7–2018].

Верификация математической модели (mathematical model verification) - Подтверждение корректности решения уравнений математической модели [ГОСТ Р 57188-2016].

Виртуальная фабрика (Virtual Factory) - Распределенная сеть Цифровых и «Умных» Фабрик, а также поставщиков услуг / компонентов. Виртуальная фабрика призвана сократить издержки и расширить конкурентные предложения на рынке за счет использования технологий управления глобальными цепочками поставок и распределенными производственными активами [ДК «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) НТИ].

Данные - Информация, обработанная и представленная в формализованном виде для дальнейшей обработки [ГОСТ 7.0–99].

Двусторонние информационные связи – Двусторонний обмен данными и информацией между изделием и его цифровым двойником [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Декомпозиция – Разделение, расчленение какой-либо сложной структуры на составляющие части. В теории управления – метод, по которому исследуемая система делится на подсистемы, задача – на подзадачи и т. д., каждая из которых решается самостоятельно [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Дискретизация исходной задачи – Переход от задачи с функциями от непрерывного аргумента к задаче с функциями от дискретного аргумента [ГОСТ Р 57700.10–2018].

Достоверность – Качество, характеризующее доверие или убежденность в результатах расчета и моделирования [СТО СИТИС–201–16А].

Жизненный цикл (life cycle)

Жизненный цикл (life cycle): Процесс развития объекта (системы) от зарождения идеи до вывода из эксплуатации. Жизненный цикл некоторых систем может иметь периодический характер [ГОСТ Р 57269–2016].

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

Жизненный цикл изделия, жизненный цикл: 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 [ГОСТР 56136-2014].

Стадия жизненного цикла (life cycle stage): Часть жизненного цикла, выделяемая по признакам характерных для нее явлений, процессов (работ) и конечных результатов [ГОСТР 56136-2014].

Жизненный цикл: Развитие системы, продукта, услуги, проекта или других изготовленных человеком объектов, начиная со стадии разработки концепции и заканчивая прекращением применения [ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010].

Изделие – Предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению в организации (на предприятии) по конструкторской документации [ГОСТ 2.101–2016].

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.

Испытания – Экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий [ГОСТ 16504–81].

Примечание. Определение включает оценивание и (или) контроль.

Испытательное оборудование (стенд) – Средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний [ГОСТ 16504–81].

Испытательный полигон – Территория и испытательные сооружения на ней, оснащенные средствами испытаний и обеспечивающие испытания объекта в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта [ГОСТ 16504–81].

Качество (quality) – Степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта-системы требованиям. Примечание – Совокупность всех тех и только тех свойств, которые характеризуют получаемые при потреблении объекта результаты (как желательные, положительные, так и нежелательные, отрицательные), но которые не включают в себя затраты денежных средств на его создание и потребление, т. е. в эту совокупность входят только те свойства, которые связаны с достигаемым при потреблении объекта результатом, но не входят свойства, связанные с обеспечивающими этот результат затратами [ГОСТ Р ИСО 9000:2015].

Компьютерная модель (электронная модель) – Модель, выполненная в компьютерной (вычислительной) среде и представляющая собой совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными [ГОСТ Р 57700.22–2020].

Примечание. В основе компьютерной модели лежит математическая модель, реализованная в виде программного кода, и данные, определяющие конкретный объект моделирования. Для применения компьютерной модели в процессе моделирования необходимо использовать программное обеспечение компьютерного моделирования и вычислительной техники.

Компьютерная модель изделия – компьютерная модель, в которой объектом моделирования является изделие(ия) [ГОСТ Р 57412–2017].

Примечание. Компьютерную модель разрабатывают при помощи соответствующих программных средств.

Компьютерное моделирование изделия – Моделирование, выполненное с использованием компьютерной модели изделия [57412–2017].

Примечание. Компьютерное моделирование изделия выполняют с целью получения данных, необходимых для принятия решений в процессах разработки, проектирования, производства, сопровождения эксплуатации и других задач в ходе жизненного цикла изделия.

Математическая модель (mathematical model) – Модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений [ГОСТ Р 57188-2016].

Модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений, отражающих те или иные физические закономерности системы [ГОСТ Р 57700.3–2017].

Математическое моделирование – Исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей [ГОСТ Р 57188-2016].

Примечание. Процесс математического моделирования можно разделить на пять этапов: первый – формулирование законов, связывающих основные объекты модели; второй – исследование математических задач, к которым приводит математическая модель; третий – верификация модели; четвертый – валидация модели; пятый – последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация модели.

Междисциплинарность – Вид знания, включающий методологию и терминологию более чем одной научной дисциплины для рассмотрения определенной темы, проблемы или явления [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Метод конечных элементов (МКЭ, Finite Element Method, FEM) – Сеточный метод численного решения задач математической физики, в котором дискретизация исходных краевых задач производится на основе вариационных или проекционных методов при использовании специальных конечномерных подпространств функций, определяемых выбранной сеткой [ГОСТ Р 57188-2016].

Многомасштабное моделирование – Реализация математической модели, являющейся иерархией различных математических моделей, описывающих процессы разного масштаба по переменным фазового пространства (временного, пространственного и т. п.) [ГОСТ Р 57188-2016].

Многоуровневая система требований – Иерархическая система взаимосвязанных структур данных, содержащих формализованные требования к изделию и его составным частям [ГОСТ Р 57700.37–2021].

Примечания:

1 В процессе создания цифрового двойника требования верхних уровней декомпозируются, в том числе на целевые показатели и ресурсные ограничения для нижних уровней. Достижение целевых показателей и (или) удовлетворение ресурсным ограничениям всех нижних уровней должно обеспечивать удовлетворение требований более высокого уровня.

2 Частным случаем многоуровневой системы требований является многоуровневая матрица требований, включая требования, целевые показатели и ресурсные ограничения.

3 Данные, поступающие от эксплуатируемого изделия, используются для уточнения многоуровневой системы требований, доработки цифровых моделей с целью прогнозирования поведения изделия в различных условиях эксплуатации, оптимизации затрат на техническое обслуживание, ремонт, а также для модернизации изделия.

Модель для испытаний – Изделие, процесс, явление, математическая модель, находящиеся в определенном соответствии с объектом испытаний и (или) воздействиями на него и способные замещать их в процессе испытаний [ГОСТ 16504–81].

Модельно-ориентированный системный инжиниринг (Model Based Systems Engineering, MBSE) – Подход, являющийся формализованным применением моделирования для удовлетворения требований и обеспечения проектирования, инженерных расчетов, верификации и валидации системы, начиная со стадии ее концептуального проектирования, далее на протяжении стадии разработки и на последующих стадиях жизненного цикла [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Нагрузки – Заданные силовые, кинематические и смешанные функции, действующие на модель, и обусловленные условиями работы [ГОСТ Р 57700.10–2018].

Натурные испытания – Испытания объекта в условиях, соответствующих условиям его использования по прямому назначению с непосредственным оцениванием или контролем определяемых характеристик свойств объекта [ГОСТ 16504–81].

Новые производственные технологии (НПТ) – Совокупность новых, с высоким потенциалом, но уже зарекомендовавших себя, демонстрирующих де-факто стремительное развитие, но имеющих пока по сравнению с традиционными технологиями относительно небольшое распространение, новых

подходов, материалов, методов и процессов, которые используются для проектирования и производства глобально конкурентоспособных и востребованных на мировом рынке продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.) [ДК «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) НТИ].

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.) [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Комплекс процессов проектирования и изготовления на современном технологическом уровне кастомизированных (индивидуализированных) материальных объектов (товаров) различной сложности – основанных на комплексе мультидисциплинарных знаний, наукоемких технологий и системы интеллектуальных ноу-хау – в первую очередь цифрового моделирования и проектирования, новых материалов и аддитивных технологий с последующим добавлением к этой цепочке новых технологических элементов – робототехники, сенсорики, Big Data, индустриального Интернета, прочих ППТ, обеспечивающих переход от цифрового (Digital Factory) к «умному» (Smart Factory) и/или виртуальному (Virtual Factory) уровню «фабрики будущего». Ключевыми технологическими направлениями, способствующими обновлению производства, являются: передовые материалы; цифровое моделирование и проектирование, включая бионический дизайн, суперкомпьютерный инжиниринг и оптимизацию; аддитивные и гибридные технологии [ДК «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) НТИ].

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. [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Проверка адекватности компьютерной модели – Совокупность действий с моделью, результатом которых является подтверждение ее соответствия моделируемому объекту реального мира [ГОСТ Р 57412–2017].

Промышленный (индустриальный) интернет вещей (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» [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

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 [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Средства (системы) автоматизированного проектирования (CAD, САПР) – **САПР:** организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП) [ГОСТ 23501.101-87].

Системы автоматизированного проектирования: Прикладные автоматизированные системы, используемые для проектирования, геометрического моделирования и параметрического проектирования. Используются для создания конструкторской и технологической документации, 3D моделей, чертежей*.

Средства автоматизированного проектирования: Программное обеспечение, которое должно предоставлять возможность автоматизированного проектирования, которое должно позволять создавать конструкторскую и технологическую документацию**.

Средства (системы) инженерного анализа (CAE) – **Средства инженерного анализа:** Программное обеспечение, которое должно предоставлять возможность оценки жизнеспособности компьютерных моделей**.

Системы инженерного анализа: Программные системы, 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 на разных эксплуатационных режимах и в разных условиях эксплуатации с учетом внешних воздействий*.

Средства (системы) управления жизненным циклом изделия (PLM)

– **Средства управления жизненным циклом изделия:** Программное обеспечение, которое должно предоставлять возможность информационной поддержки изделий на протяжении всех этапов их жизненного цикла**.

Системы управления жизненным циклом изделия позволяют реализовать стратегический подход к ведению бизнеса, который использует набор совместимых технических решений для поддержки общего (коллаборативного) представления информации о продукте в процессе его создания, реализации и эксплуатации, в среде расширенного предприятия – начиная от концепции создания продукта и заканчивая его утилизацией - при интеграции людских ресурсов, процессов и информации*.

Жизненный цикл изделия, жизненный цикл: 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 [ГОСТР 56136-2014].

Жизненный цикл: Развитие системы, продукта, услуги, проекта или других изготовленных человеком объектов, начиная со стадии разработки концепции и заканчивая прекращением применения [ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010].

Средства (системы) управления инженерными данными об изделии (PDM)

– **Средства управления инженерными данными об изделии:** Программное обеспечение, которое должно обеспечивать управление всей информацией об изделии либо сложных технических объектах**.

Система управления данными об изделии: Информационная система, обеспечивающая накопление, хранение и сопровождение данных и документов об изделии, а также их предоставление заинтересованным лицами в соответствии с заданными правами доступа [ГОСТР 56136-2014].

Системы управления данными об изделии включают программное обеспечение, позволяющее управлять данными об изделии, включая сохранение данных об изделии в базах данных (прежде всего инженерных данных, таких как CAD-модели и чертежи, цифровые макеты (DMU), спецификации материалов (BOM) и др.). Метаданные содержат информацию о создателе файла и текущем статусе соответствующего компонента. Система PDM позволяет организовать совместный доступ к этим данным, обеспечивая их постоянную целостность, вносить необходимые изменения во все версии изделия, модифицировать спецификацию материалов, помогать конфигурировать варианты изделия. Система PDM в качестве интегрирующей подсистемы используется на протяжении

всего жизненного цикла изделия в рамках концепции управления этим циклом (PLM). PDM-системы позволяют одновременно работать с инженерными данными, полученными от систем CAD, CAE, CAM и иных*.

Автоматизированная система управления данными об изделии: Автоматизированная система, обеспечивающая создание (разработку), получение, хранение, преобразование, сопровождение конструкторских, технологических, производственных, эксплуатационных и других данных об изделии и их предоставление потребителям в соответствии с установленными правилами [ГОСТ Р 2.005-2023].

Средства (системы) управления оборудованием с числовым программным управлением (CAM)

– **Средства управления оборудованием с числовым программным управлением:** Программное обеспечение (модули), которое должно быть предназначено для подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением**.

Системы автоматизации изготовления/производства: Класс автоматизированных систем для автоматизации расчета обработки изделий на станках с числовым программным управлением*.

Автоматизированное производство: Компьютерные системы, которые используются для программирования станков с ЧПУ (числовым программным управлением) [ГОСТ Р ИСО 16100-1-2012].

Программное обеспечение системы числового программного управления станком: Совокупность программ и документации на них для реализации целей и задач системы числового программного управления станком [ГОСТ 20523-80].

Система числового программного управления станком: Совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих числовое программное управление станком [ГОСТ 20523-80].

Числовое программное управление станком (ЧПУ): Управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме [ГОСТ 20523-80].

Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)

– Среда (платформа), которая позволяет эффективно управлять конфигурацией данных моделирования, оптимизировать процессы, осуществлять совместную работу глобально распределенных команд, обеспечивать прозрачность и 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

цифровых испытаний и улучшая процесс математического и компьютерного моделирования**.

SPDM-системы позволяют обеспечить прозрачность и контролируемость процесса разработки, принятие обоснованных решений; упрощают работу с результатами цифровых испытаний, включая цифровые испытания на цифровых испытательных стендах и полигонах, а также формирование отчетов.

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 [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Технологическое лидерство

– Превосходство технологий и (или) продукции по основным параметрам (функциональным, техническим, стоимостным) над зарубежными аналогами [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года»].

Технологический суверенитет

– Наличие в стране (под национальным контролем) критических и сквозных технологий собственных линий разработки и условий производства продукции на их основе, обеспечивающих устойчивую возможность государства и общества достигать собственные национальные цели развития и реализовывать национальные интересы. Технологический суверенитет обеспечивается в 2 основных формах - исследования, разработка и внедрение критических и сквозных технологий (по установленному перечню) и производство высокотехнологичной продукции, основанного на указанных технологиях. Технологический суверенитет обеспечивается в том числе с опорой на устойчивое международное научно-техническое сотрудничество с дружественными странами [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года»].

Требование (requirement)

Требуемая (ожидаемая) количественная или качественная характеристика или свойство объекта, а также связанные ограничения и условия [ГОСТ Р 59194-2020].

Примечание – К требованиям также относятся целевые показатели – величины контролируемых параметров. необходимые для удовлетворения требований к изделию с заданной точностью.

Потребность или ожидание, которое установлено потребителем, обычно предполагается или является обязательным. Обычно оформляется в виде документа, передающего критерии, которые необходимо выполнить в случае заявления о соответствии данному документу и отклонение от которых недопустимо [ГОСТ Р 57269–2016].

«Умная» фабрика (Smart Factory) – Производство, оснащенное высокотехнологичным оборудованием: 3Dпринтерами, ЧПУ-станками, робототехническими комплексами, датчиками, сенсорами, а также автоматизированными системами управления технологическими процессами и системами оперативного управления производственными процессами на уровне цеха, которые позволяют осуществлять быструю и гибкую («автоматизированную») переналадку оборудования (в т.ч. межмашинное взаимодействие). Такой подход предоставляет возможность радикально повысить производительность, экологичность и энергоэффективность производства как массовой, так и кастомизированной продукции, удовлетворяющей требованиям рынка и потребителей. «Умная» Фабрика формируется, как правило, на основе Цифровой Фабрики [ДК «Технет 4.0» (передовые производственные **технологии**) НТИ].

Фабрика будущего – Современное производство нового поколения для изготовления глобально конкурентоспособной и кастомизированной продукции, а также для решения актуальных задач по импортозамещению и развитию высокотехнологического экспорта российской продукции на основе применения передовых производственных технологий с эффективным применением концепции открытых инноваций и трансфера передовых наукоемких технологий [ДК «Технет 4.0» (**передовые** производственные технологии) НТИ].

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 [ГОСТ Р 57700.37–2021].

Примечания:

1 Цифровая модель создается с использованием ПО КМ 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, которые установлены в соответствующих технических заданиях.

3 Наполнение и функциональность цифровой модели зависит от стадии жизненного цикла 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 ПО КМ 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.

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 натурных, квалификационных, сертификационных и прочих испытаний [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 7 ноября 2023 г. № 3113-р ; Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Цифровая фабрика (Digital Factory) – Производство, основанное на использовании технологий цифрового моделирования и проектирования глобально конкурентоспособной и 6 Понятие Определение кастомизированной продукции нового поколения и производственных процессов на всем протяжении жизненного цикла, что позволяет радикально сократить сроки вывода на рынок и повысить интеллектуалоемкость продуктов (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т.д.) [ДК «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) НТИ].

Цифровой двойник (DT) – **Цифровой двойник изделия:** Система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями [ГОСТ Р 57700.37–2021].

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.

Для разработки цифрового двойника изделия создается многоуровневая система требований, которая позволяет проверять соответствие значений показателей, необходимых для удовлетворения требований к изделию, установленным диапазонам значений, а также анализировать их взаимное влияние. Достижение

целевых показателей и (или) удовлетворение ресурсным ограничениям многоуровневой системы требований обеспечивается за счет проведения цифровых (виртуальных) испытаний изделия, его составных частей и материалов [ГОСТ Р 57700.37–2021].

Для создания цифровых моделей и (или) цифровых двойников, проведения цифровых (виртуальных) испытаний, применения результатов математического и компьютерного моделирования и организации совместной работы по созданию цифрового двойника изделия рекомендуется применять программно-технологическую платформу цифровых двойников [ГОСТ Р 57700.37–2021].

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 [Глоссарий ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»].

Программно-технологические платформы цифровых двойников изделий (DT for Product): Системы, используемые при создании и применении цифрового двойника изделия участниками процессов жизненного цикла по ГОСТ Р 56135*.

Программно-технологические платформы цифровых двойников производства и инфраструктурных объектов (DT for Infrastructure) – системы, обеспечивающие создание цифрового двойника производства и/или инфраструктурных объектов, реализующие сервисы управления в режиме реального времени, аналитики в автономном режиме, предиктивного обслуживания, проверки работоспособности*.

Программы для создания цифровых двойников производственного оборудования и систем, инфраструктурных объектов и готовых изделий: Программное обеспечение, предназначенное для создания компьютерных моделей, позволяющих воспроизводить форму и действия физических объектов**.

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 [ДК развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии»].

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 [ГОСТ Р 57700.37–2021].

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

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 [ГОСТ Р 57700.37–2021].

Цифровые (виртуальные) испытания – Определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) этого объекта [ГОСТ Р 57700.37–2021].

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.

Численное моделирование – Моделирование поведения объекта, процесса, явления путем получения численного решения уравнений математической модели [ГОСТ Р 57188-2016].

Моделирование поведения динамических рабочих процессов в заданных условиях путем получения численного решения уравнений математической модели с целью решения задачи оптимизации по заданным критериям существующего или планируемого процессного управления социотехнической системы [ГОСТ Р 57700.3–2017].

Электронная модель изделия – Отображение в компьютерное среде модели изделия, в котором содержатся сведения о свойствах, необходимых для изготовления, контроля приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия [ГОСТ 2.052–2021].

Примечание. Электронную модель изделия разрабатывают, используя соответствующие программные и технические средства.

* *Приказ Росстата от 21.10.2024 N 483 — Редакция от 21.10.2024 «Об утверждении формы федерального статистического наблюдения для организации федерального статистического наблюдения за разработкой и (или) использованием передовых производственных технологий»*

** *Классификатор ПО (в ред. Приказов Минцифры России от 22.09.2020 № 486, 26.04.2022 № 393, от 22.12.2022 № 974)*

БИБЛИОГРАФИЯ

1. ГОСТ Р 57258-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения. — URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/gost-r_gosudarstvennyj-standart/14/gost_r_57258-2016_natsionalnyy_standart_rossiyskoy.html (дата обращения: 29.05.2025).

2. ПРИКАЗ от 21 октября 2024 г. N 483 «Об утверждении формы федерального статистического наблюдения для организации федерального статистического наблюдения за разработкой и (или) использованием передовых производственных технологий». — URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=480912 (дата обращения: 02.06.2025).

3. Беспилотные летательные аппараты. Современные тенденции развития робототехнических комплексов. А.В. Лопота, А.Б. Николаев. — URL: https://rtc.ru/media/images/docs/book/vozdushnie.pdf (дата обращения: 04.06.2025).

4. Maathuis H., Castro S., De Breuker R. Exploring Multi-Fidelity Aeroelastic Tailoring: Prospect and Model Assessment. — arXiv preprint arXiv:2411.03247, 2024.

5. Sarker A. Efficient Aircraft Design Optimization Using Multi-Fidelity Models and Multi-fidelity Physics Informed Neural Networks. — 2024.

6. Tavares S., Ribeiro J., Castro P. Aircraft Structural Design and Life-Cycle Assessment through Digital Twins // Designs. — 2024. — Т. 8. — № 2. — С. 29.

7. Etim B. Machine learning-based modeling for structural engineering: A comprehensive survey and applications over-view // Buildings. — 2024. — Т. 14. — № 11. — С. 3515.

8. Квинт В.Л., Новикова (Гучинская) И.В., Алимурадов М.К., Сасаев Н.И. Стратегирование технологического суверенитета национальной экономики // Управленческое консультирование. — 2022. — № 9 (165). — С. 57-67.

9. Фальцман В.К. Технологические суверенитеты России. Статистические измерения // Современная Европа. — 2018. — № 3 (82). — С. 83-91.

10. Технологический суверенитет как ключ к устойчивому развитию России в XXI веке. — URL: https://roscongress.org/materials/tekhnologicheskiy-suverenitet-kak-klyuch-k-ustoychivomu-razvitiyu-rossii-v-xxi-veke/ (дата обращения: 16.07.2025).

11. Петров М.Н., Филиппов Я.С. Технологический суверенитет: эволюция российских и зарубежных экономических моделей // Экономика: Вчера, Сегодня, Завтра. — 2023. — Т. 13. — Технологический суверенитет. — № 5-1. — С. 305-314.

12. Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 №145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». — URL: http://kremlin.ru/acts/bank/50358 (дата обращения: 16.07.2025).

13. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 №1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года». — URL: http://government.ru/docs/48570/ (дата обращения: 16.07.2025).

14. Платформа суверенного технологического развития. — URL: https://ts.nti2035.ru (дата обращения: 05.06.2025).

15. Песков Д.Н., Силинг А.Л., Потапов К.Е., Грибов Е.Н. Методические подходы к разработке модели суверенного технологического развития // Проблемы прогнозирования. 2025. No 1 (208). С. 62-77. — URL: https://ecfor.ru/publication/opredelenie-prioritetov-tehnologicheskogo-razvitiya/ (дата обращения: 16.07.2025).

16. Дорожная карта «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) НТИ. — URL: https://technet.spbstu.ru/article/roadmap_new (дата обращения: 17.07.2025).

17. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 №309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». — URL: http://kremlin.ru/events/president/news/73986 (дата обращения: 18.07.2025).

18. Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 №529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий». — URL: http://kremlin.ru/acts/news/74328 (дата обращения: 05.06.2025).

19. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». — URL: http://kremlin.ru/acts/bank/44731 (дата обращения: 18.07.2025).

20. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.11.2023 №3113-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности». — URL: http://government.ru/docs/all/150406/ (дата обращения: 11.06.2025).

21. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 №1913-р «Об утверждении Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года». — URL: http://government.ru/docs/all/135700/ (дата обращения: 18.07.2025).

22. Федеральный закон от 22.06.2024 №144-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». — URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202406220002 (дата обращения: 18.07.2025).

23. Дорожная карта по развитию «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии». — URL: https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019npt.pdf (дата обращения: 18.07.2025).

24. Дорожная карта по развитию «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности». — URL: https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019vrar.pdf (дата обращения: 18.07.2025).

25. Дорожная карта развития высокотехнологичной области «Новые производственные технологии» (утверждена решением президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 23.07.2021).

26. Дорожная карта развития высокотехнологичной области «Новое индустриальное программное обеспечение» (НИПО) (утверждена протоколом заочного голосования членов президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для

улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 14.12.2022 №56).

27. Национальный проект Новые материалы и химия. — URL: https://национальныепроекты.рф/new-projects/novye-materialy-i-khimiya/ (дата обращения: 18.07.2025).

28. Дорожная карта развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ» (утверждена решением коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации от 19.12.2022 №ВПК-35р).

29. Развитие промышленной робототехники и автоматизации производства | Национальный проект Средства производства и автоматизации. — URL: https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/sredstva-proizvodstva-i-avtomatizatsii/razvitie-promyshlennoy-robototekhniki-i-avtomatizatsii-proizvodstva/ (дата обращения: 18.07.2025).

30. Роботизация производства - Федеральный центр компетенций в сфере производительности труда. — URL: https://производительность.рф/national-project/robotization/ (дата обращения: 18.07.2025).

31. Национальная стратегия | Федеральный проект. — URL: https://ai.gov.ru/national-strategy/ (дата обращения: 18.07.2025).

32. ГРНТИ. Государственный рубрикатор научно-технической информации. — URL: https://xn--c1akoll.xn--p1ai/ (дата обращения: 08.09.2025).

33. Unmanned Systems Market Size, Share, Industry Report. — URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-systems-market-18210274.html (дата обращения: 06.06.2025).

34. Unmanned Systems Market Size. — URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/unmanned-systems-market (дата обращения: 09.06.2025).

35. Schoenwald D.A. AUVs: In space, air, water, and on the ground // IEEE Control Systems Magazine. — 2000. — Т. 20. — AUVs. — № 6. — P. 15-18.

36. Chen B. M. On the Trends of Autonomous Unmanned Systems Research // Engineering. — 2021. — Vol. 12. — P. 20-23.

37. Canelon D., Westlake S., Wang Y., Papanikolopoulos N. Design and Characterization of a Multi-Domain Unmanned Vehicle Operating in Aerial, Terrestrial, and Underwater Environments // 2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) 2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). — 2021. — С. 1466-1471.

38. Munasinghe I., Perera A., Deo R.C. A Comprehensive Review of UAV-UGV Collaboration: Advancements and Challenges // Journal of Sensor and Actuator Networks. — 2024. — Vol. 13. — A Comprehensive Review of UAV-UGV Collaboration. — No. 6. — P. 81.

39. Zhang H., He Y., Li D., Gu F., Li Q., Zhang M., Di C., Chu L., Chen B., Hu Y. Marine UAV–USV Marsupial Platform: System and Recovery Technic Verification // Applied Sciences. — 2020. — Vol. 10. — Marine UAV–USV Marsupial Platform. — No. 5. — P. 1583.

40. UAV (Drone) Market Size, Share, Industry Report, Revenue Trends and Growth Drivers. — URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-662.html (дата обращения: 05.06.2025).

41. Unmanned Aerial Vehicles Market Size. — URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/uav-market (дата обращения: 09.06.2025).

42. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России: экспертно-аналитический доклад / Д. В. Санатов [и др.]; под ред. А. И. Боровкова, В. Н. Княгинина. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 44 с. — URL: https://fea.ru/article/analiticheskie-obzory (дата обращения: 10.06.2025).

43. Перспективы перехода на беспилотные автомобили в России. — URL: https://yakovpartners.ru/publications/self-driving-cars/ (дата обращения: 10.06.2025).

44. Учет динамики движения наземного беспилотного транспортного средства при разработке интеллектуальной системы управления - FEA.RU | CompMechLab - разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/HPC. — URL: https://fea.ru/project/222 (дата обращения: 10.06.2025).

45. The Digital Transformation of Mobility: Self-Driven Cars. — URL: https://www.databridgemarketresearch.com/whitepaper/the-digital-transformation-of-mobility-self-driven-cars (дата обращения: 10.06.2025).

46. Commercial Drones in 2023: Trends and Growth Prospects. — URL: https://www.commercialuavnews.com/international/commercial-drones-in-2023-trends-and-growth-prospects (дата обращения: 05.06.2025).

47. Drone Industry Insights | Global Drone Market Research. — URL: https://droneii.com/ (дата обращения: 02.07.2025).

48. Shinde Y. Drone Market to Surge at a CAGR of 12.7% through 2032. — 2024. — URL: https://scoop.market.us/drone-market-to-surge-at-a-cagr-of-12-7-through-2032/ (дата обращения: 02.07.2025).

49. Drone Market Size & Outlook, 2030. — URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/drone-market-report (дата обращения: 10.06.2025).

50. Above and below water drones market. — URL: https://www.strategyand.pwc.com/it/en/industries/aerospace-defense/above-and-below-water-drones-market.html (дата обращения: 20.06.2025).

51. Unmanned Sea System Market Overview, Size, share, Growth. — URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/unmanned-sea-system-market-1232 (дата обращения: 20.06.2025).

52. Sea Drones Market. — URL: https://market.us/report/sea-drones-market/ (дата обращения: 20.06.2025).

53. Unmanned Marine Vehicles Market Report. — URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/unmanned-marine-vehicles-market (дата обращения: 20.06.2025).

54. Unmanned Sea Systems - Global Strategic Business Report. — URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/5998092/unmanned-sea-systems-global-strategic-business (дата обращения: 20.06.2025).

55. Unmanned Sea Systems. — URL: https://www.marketresearch.com/Global-Industry-Analysts-v1039/Unmanned-Sea-Systems-41352061/ (дата обращения: 20.06.2025).

56. China Drone Market Size & Outlook, 2030. — URL: https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/drone-market/china (дата обращения: 06.06.2025).

57. India Drone Market Size & Outlook, 2030. — URL: https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/drone-market/india (дата обращения: 27.06.2025).

58. Brazil Drone Market Size & Outlook, 2030. — URL: https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/drone-market/brazil (дата обращения: 27.06.2025).

59. South Africa Drone Market Size & Outlook, 2030. — URL: https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/drone-market/south-africa (дата обращения: 27.06.2025).

60. The UAE Drone Analytics Market Size & Outlook, 2030. — URL: https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/drone-analytics-market/uae (дата обращения: 27.06.2025).

61. Рынок коммерческих дронов снова на подъеме. — URL: https://www.ncsti.gov.cn/kjdt/ztbd/2025zgclt/202504/t20250401_200209.html (дата обращения: 30.06.2025).

62. Аналитический отчет о состоянии экономики Китая на малых высотах за 2025 год (коммерческое применение БПЛА)]. — URL: https://www.sohu.com/a/www.sohu.com/a/898540373_122120704 (дата обращения: 30.06.2025).

63. Ethiopia's Sky Wing begins large-scale drone manufacturing. — URL: https://www.military.africa/2025/03/ethiopias-sky-wing-begins-large-scale-drone-manufacturing/ (дата обращения: 20.06.2025).

64. Ethiopian PM inaugurates drone manufacturing facility. — URL: https://apanews.net/ethiopian-pm-inaugurates-drone-manufacturing-facility/ (дата обращения: 03.07.2025).

65. Ethiopia begins manufacturing its own drones for defense and trade. — URL: https://africa.businessinsider.com/local/markets/ethiopia-begins-manufacturing-its-own-drones-for-defense-and-trade/r6b9jql (дата обращения: 03.07.2025).

66. Top 23 Drone Manufacturing Companies in Egypt (2025). — URL: https://ensun.io/search/drone-manufacturing/egypt (дата обращения: 03.07.2025).

67. Middle East and North Africa Drones and UAV Market 2024-2031. — URL: https://www.market-research.com/DataM-Intelligence-4Market-Research-LLP-v4207/Middle-East-North-Africa-Drones-36422482/ (дата обращения: 04.07.2025).

68. Middle East and Africa military drone market size was USD 265.02 million in 2023. — URL: https://www.cognitivemarketresearch.com/regional-analysis/middle-east-and-africa-military-drone-market-report (дата обращения: 04.07.2025).

69. Итоги 2024 года для рынка беспилотной авиации. — URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/302672 (дата обращения: 11.06.2025).

70. Комплексное исследование технологий и технологических трендов 2024. — URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/292682 (дата обращения: 11.06.2025).

71. Аналитический отчет. Архитектура рынка беспилотной авиации 2024. — URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/232681 (дата обращения: 11.06.2025).

72. Iran Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market Size, Forecast 2033. — URL: https://www.sphericalinsights.com/reports/iran-unmanned-aerial-vehicle-uav-market (дата обращения: 03.07.2025).

73. Iran Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market Size, Share, Analysis, Trends. — URL: https://www.bonafideresearch.com/product/6401899828/iran-unmanned-aerial-vehicle-uav-market (дата обращения: 03.07.2025).

74. Экспорт иранских беспилотников к 2028 году составит 6,5 млрд долларов - Tasnim. — URL: //www.tasnimnews.com/fa/news/1401/05/13/2753070/فرصت-صادرات-6-5-میلیارد-دلاری-پهپاد-های-ایرانی-تا-2028 (дата обращения: 04.07.2025).

75. Indonesia Drone Market - Forecasts from 2025 to 2030. — URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/5969194/indonesia-drone-market-forecasts (дата обращения: 03.07.2025).

76. Drones - Worldwide | Statista Market Forecast. — URL: http://frontend.xmo.prod.aws.statista.com/outlook/cmo/consumer-electronics/drones/worldwide (дата обращения: 27.06.2025).

77. Notice of the State Council on the Publication of “Made in China 2025”. — URL: https://cset.georgetown.edu/publication/notice-of-the-state-council-on-the-publication-of-made-in-china-2025/ (дата обращения: 27.06.2025).

78. 14-й пятилетний план развития гражданской авиации. — URL: https://www.xuefeiji.org/cmswk/content/show/id/974.html (дата обращения: 30.06.2025).

79. Цифровые испытания: как Китай смог организовать ускоренную сертификацию авиационных беспилотников. — URL: https://www.aviationunion.ru/media/news/30889/ (дата обращения: 10.06.2025).

80. How China is revolutionizing drone manufacturing. — URL: https://flyingcarsmarket.com/how-china-is-revolutionizing-drone-manufacturing/ (дата обращения: 30.06.2025).

81. Прогноз 2025 года: обзор китайской индустрии подводных роботов в 2025 году (с указанием размера рынка, конкурентной среды и тенденций развития) – Отчет об исследовании отрасли – Qianzhan.com. — URL: https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/250526-6bbdc0c4.html (дата обращения: 30.06.2025).

82. Исследование. Регулирование применения БАС: Опыт Китая. — URL: https://aeronext.aero/press_room/analytics/142176 (дата обращения: 30.06.2025).

83. Национальная технолøгическая инициатива (НТИ). — URL: http://www.nti2035.ru/ (дата обращения: 05.06.2025).

84. Андрей Белоусов провел совещание о проектах-маяках на проектно-образовательном интенсиве «Архипелаг 2121». — URL: https://asi.ru/news/183618/ (дата обращения: 05.06.2025).

85. Матрица НТИ // Полезные материалы | Платформа НТИ. — URL: https://nti2035.ru/matrix/img/matrix_nti_2023.pdf (дата обращения: 05.06.2025).

86. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21.06.2023 г. № 1630-р «Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и плана мероприятий по ее реализации». — URL: http://government.ru/news/48875/ (дата обращения: 05.06.2025).

87. Национальный проект Беспилотные авиационные системы. — URL: https://национальныепроекты.рф/new-projects/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy/ (дата обращения: 05.06.2025).

88. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.11.2023№3097-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года». — URL: https://mintrans.gov.ru/documents/2/12953 (дата обращения: 05.06.2025).

89. Рынок гражданских беспилотных аппаратов. Объем, динамика и сценарии применения беспилотников в отраслях экономики, Ростелеком. 2024.

90. Научно-производственный центр испытаний и компетенций в области развития технологий БАС. — URL: аэронет2035.рф/crdm (дата обращения: 10.06.2025).

91. Центр БАС МАИ: создаем высокотехнологичные решения на основе беспилотных авиационных систем. — URL: https://uav.mai.ru (дата обращения: 10.06.2025).

92. Владимир Путин отнес развитие морской робототехники к приоритетам оборонных технологий. — URL: https://portnews.ru/news/376342/ (дата обращения: 19.06.2025).

93. В ВМФ появятся полки беспилотных систем. — URL: https://iz.ru/1885202/2025-05-13/v-vmf-poiaviatsia-polki-bespilotnykh-sistem (дата обращения: 19.06.2025).

94. Морская робототехника. — URL: https://www.kommersant.ru/doc/4391861 (дата обращения: 19.06.2025).

95. Безэкипажное судовождение и морская робототехника: перспективные проекты в России и за рубежом (видеозапись конференции). — URL: https://www.msk.nevacongress.com/video/bezekipazhnoe-sudovozhdenie-i-morskaya-robototekhnika-perspektivnye-proekty-v-rossii-i-za-rubezhom-/ (дата обращения: 19.06.2025).

96. Митус К. Н., Гармашова Е. П. Анализ рынка подводной робототехники России // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Т. 13. – №. 1. – С. 233-254.

97. Дулепов В.И., Лелюх Н.Н. Исследование и контроль состояния морских донных экосистем с использованием подводной робототехники // Гео-Сибирь. — 2007. — Т. 3. — С. 117-120.

98. Занин В.Ю., Маевский А.М. Резидентная робототехника – современные технологии освоения шельфовых месторождений // Нефть. Газ. Новации. — 2021. — № 10 (251). — С. 46-47.

99. Мазулин Г.А. Отечественные необитаемые подводные аппараты // Морское Оборудование И Технологии. — 2020. — № 3-4 (24-25). — С. 52-54.

100. В России началась коммерческая эксплуатация первого морского судна в режиме дистанционного управления. — URL: https://mintrans.gov.ru/press-center/news/11049 (дата обращения: 19.06.2025).

101. Автономные паромы «Маршал Рокоссовский» и «Генерал Черняховский» преодолели более 150 тысяч морских миль. — URL: https://paluba.media/news/178893 (дата обращения: 19.06.2025).

102. Первые в РФ автономные паромы перевезли 1,3 млн тонн грузов с момента запуска. — URL: https://tass.ru/ekonomika/22066791 (дата обращения: 19.06.2025).

103. Проект «Автономное судовождение» включен в дорожную карту цифровой трансформации транспортной отрасли. — URL: https://portnews.ru/news/355909/ (дата обращения: 19.06.2025).

104. What is digital-twin technology? | McKinsey. — URL: https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-digital-twin-technology (дата обращения: 05.06.2025).

105. McKinsey technology trends outlook 2024 | McKinsey. — URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech (дата обращения: 05.06.2025).

106. Tech Trends For The Second Half Of 2024: What Stays And What Goes. — URL: https://www.forbes.com/councils/forbesbusinesscouncil/2024/07/15/tech-trends-for-the-second-half-of-2024-what-stays-and-what-goes/ (дата обращения: 05.06.2025).

107. Tech Trends 2025. — URL: https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends.html (дата обращения: 05.06.2025).

108. XVI Саммит БРИКС. Казанская декларация. «Укрепление многосторонности для справедливого глобального развития и безопасности». — URL: http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/MUCfWDg0QRs3xfMUiCAmF3LEh02OL3Hk.pdf (дата обращения: 05.06.2025).

109. The Future of Shipping: Autonomous and Unmanned Marine Vehicles. — URL: https://www.marinelink.com/articles/maritime/the-future-of-shipping-autonomous-and-unmanned-marine-vehicles-101608 (дата обращения: 05.06.2025).

110. Next-Gen UAVs: Cutting-Edge Drone Innovations to Watch in 2025. — URL: https://www.dslr-pros.com/blogs/rescue-drones/next-gen-uavs-cutting-edge-drone-innovations-to-watch-in-2025 (дата обращения: 05.06.2025).

111. Shaping the Future of UAVs: Key Trends Transforming the UAV(Drone) Landscape in 2024. — URL: https://www.marketsandmarkets.com/blog/AD/uav-drone-landscape (дата обращения: 05.06.2025).

112. Перспективные технологии для беспилотных авиационных систем. — URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Перспективные_технологии_для_беспилотных_авиационных_систем (дата обращения: 05.06.2025).

113. Перспективные технологии для беспилотников (федеральный проект). — URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Перспективные_технологии_для_беспилотников_(федеральный_проект) (дата обращения: 05.06.2025).

114. Модель технологического суверенитета как основа развития нацпроекта «БАС». — URL: https://s3.objstor.cloud4u.com/pnti/aeronet2035/crdm/3.%20Модель%20техологического.pdf (дата обращения: 05.06.2025).

115. ZWSOFT: Empowering Sustainable Innovation with All-in-One Cax Solutions-ZWSOFT. — URL: https://www.zwsoft.com/about (дата обращения: 11.06.2025).

116. CAD Software - 2D/3D CAD design and drafting software - GstarCAD. — URL: https://www.gstarcad.net/ (дата обращения: 11.06.2025).

117. China Electronics Technology — URL: https://www.shecc.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

118. CAXA Digital - CAD Software - PLM System - Digital Transformation - 3D CAD - PDF to CAD. — URL: https://www.caxa.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

119. JWI: Native PLM from China (Commentary) - CIMdata. — URL: https://www.cimdata.com/de/news/item/24396-jwi-native-plm-from-china-commentary (дата обращения: 11.06.2025).

120. SIASUN. — URL: https://en.siasun.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

121. DiFACTO. — URL: https://difacto.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

122. DJI - Official Website. — URL: https://www.dji.com/ca (дата обращения: 11.06.2025).

123. HAL – Hindustan Aeronautics Limited. — URL: https://hal-india.co.in/home (дата обращения: 11.06.2025).

124. AVIC | English. — URL: https://en.avic.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

125. CETC. — URL: http://en.cetc.com.cn/ (дата обращения: 11.06.2025).

126. Artificial Intelligence (AI) Software Provider | SenseTime. — URL: https://www.sensetime.com/en (дата обращения: 11.06.2025).

127. ideaForge: Drone Manufacturing, Software, and Services Company. — URL: https://ideaforgetech.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

128. CUAV - Software and Hardware supplier of UAV. — URL: https://www.cuav.net/ (дата обращения: 11.06.2025).

129. Aeron Systems | Inertial Navigation | Weather Monitoring. — URL: https://aeronsystems.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

130. Neuvition | solid-state lidar, lidar sensor suppliers, lidar technology, lidar sensor. — URL: https://www.neuvition.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

131. Drone Hardware & Software Manufacturers – Throttle Aerospace. — URL: https://throttle.aero/ (дата обращения: 11.06.2025).

132. Ip Mesh Module, Drone Video Transmitter, Nlos Wireless Video Transmitter - Iwave. — URL: https://www.iwavecomms.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

133. NextLeap Aeronautics. — URL: https://nextleap-aeronautics.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

134. Changguang-China Jilin-1(JL1) Commercial Satellite Factory Manufacturer Supplier. — URL: https://www.jl1global.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

135. Astrogate Labs. — URL: https://astrogatelabs.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

136. Galaxy Space. — URL: https://www.yinhehangtian.cn/ (дата обращения: 11.06.2025).

137. CETC. — URL: http://en.cetc.com.cn/ (дата обращения: 11.06.2025).

138. Innovation Makes A Difference | ComNavTech. — URL: https://www.comnavtech.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

139. Software Product Engineering Services | Accord Software Systems Pvt Ltd. — URL: https://www.accord-soft.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

140. T-MOTOR The Safer Propulsion System. — URL: https://uav-en.tmotor.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

141. Feel the Freedom. — URL: https://www.autoflight.com/en/ (дата обращения: 11.06.2025).

142. Drones & Hybrid Engine | Manufacturer China | Richenpower. — URL: https://www.richenpower.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

143. Aero Engine Corporation Group. — URL: https://www.aecc.cn/aecc/index/index.html (дата обращения: 11.06.2025).

144. Raghu Vamsi. — URL: https://raghuvamsi.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

145. JOUAV - Reliable UAVs Make the Task Easier, Safer, Faster. — URL: https://www.jouav.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

146. REFIRE | A new generation of Hydrogen-Electric Energy & Power. — URL: https://en.refire.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

147. CATL. — URL: https://www.catl.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

148. RC Helicopter Battery & RC Airplane Batteries. — URL: https://www.genstattu.com/aircraft-battery.html (дата обращения: 11.06.2025).

149. Farsoon Technologies. — URL: https://www.farsoon.com/ (дата обращения: 11.06.2025).

150. Bright Laser Technologies. — URL: https://www.xa-blt.com/en/ (дата обращения: 11.06.2025).

151. Best Drone Manufacturing Companies 2022. — URL: https://droneii.com/best-drone-manufacturing-companies (дата обращения: 02.07.2025).

152. Global Drone Industry Review 2024. — URL: https://droneii.com/global-drone-industry-review-2024 (дата обращения: 02.07.2025).

153. The Top 29 Drone Companies in 2025. — URL: https://www.thedroneu.com/blog/top-drone-companies/ (дата обращения: 02.07.2025).

154. Top 10 Companies Leading the Drone Technology Market. — URL: https://blog.bccresearch.com/top-10-companies-leading-the-drone-technology-market (дата обращения: 02.07.2025).

155. Более 70% производителей беспилотников в России относятся к малому и среднему бизнесу. — URL: https://corpmsp.ru/about/press/news/novosti-korporatsii/bolee-70-proizvoditeley-bespilotnikov-v-rossii-otnosyatsya-k-malomu-i-srednemu-biznesu/ (дата обращения: 02.07.2025).

156. Количество российских производителей беспилотников выросло за три года. — URL: https://rg.ru/2025/03/26/kolichestvo-rossijskih-proizvoditelej-bespilotnikov-vyroslo-za-tri-goda.html (дата обращения: 20.06.2025).

157. India Must Develop Its Drone Ecosystem To Become A Global Hub. — URL: https://www.iadb.in/2024/05/22/india-must-develop-its-drone-ecosystem-to-become-a-global-hub/ (дата обращения: 20.06.2025).

158. Directorate General of Civil Aviation (DGCA) issued 16,000 Remote Pilot Certificates (RPC) till date. — URL: https://www.pib.gov.in/PressReleseDetailm.aspx?PRID=2037357 (дата обращения: 20.06.2025).

159. The Civil Aviation Authority support program for the remotely piloted aircraft industry/new economic drone industry in aviation. — URL: https://www.caa.gov.ir/news-archive/show/G7Bmlr (дата обращения: 02.07.2025).

160. Outlook Industri Drone Indonesia 2023. — URL: https://astta.id/2022/11/24/outlook-industri-drone-indonesia-2023/ (дата обращения: 20.06.2025).

161. Company To Build Drone Assembly Plant. — URL: https://www.thereporterethiopia.com/9415/ (дата обращения: 14.07.2025).

162. Ethiopia: Training of trainers on the Application of Drone Technologies for Agriculture and Water Resource Management. — URL: https://www.fao.org/in-action/global-network-digital-agriculture-innovation-hubs/highlights/highlights-detail/ethiopia--training-of-trainers-on-the-application-of-drone-technologies-for-agriculture-and-water-resource-management/en (дата обращения: 14.07.2025).

163. Top 100 Drone Manufacturing Companies in Brazil (2025). — URL: https://en-sun.io/search/drone-manufacturing/brazil (дата обращения: 20.06.2025).

164. Top 100 Drone Manufacturing Companies in United Arab Emirates (2025). — URL: https://en-sun.io/search/drone-manufacturing/united-arab-emirates (дата обращения: 20.06.2025).

165. Top Drones Companies In South Africa In 2025. — URL: https://aeroleads.com/list/top-drones-companies-in-south-africa (дата обращения: 20.06.2025).

166. Shao Z., Zhao Y., Wang C., Feng X., Wang J., Xiong H. Development Path of China's Industrial Software Industry in the New Era // Strategic Study of Chinese Academy of Engineering. — 2022. — Vol. 24. — No. 2. — P. 86-95.

167. CAXA CAD/PLM 2024 officially release. — URL: http://ex.chinadaily.com.cn/exchange/partners/82/rss/channel/cn/columns/sz8srm/stories/WS6530f1d0a310d5acd876ad3c.html (дата обращения: 18.07.2025).

168. Supplier - Caxa Technology | Asia Growth Partners. — URL: https://asiagrowthpartners.com/supplier/caxa-technology/v2193 (дата обращения: 18.07.2025).

169. Dassault Systemes and Caxa release new V5 PLM products - Tech Monitor. — URL: https://www.techmonitor.ai/technology/dassault_systemes_and_caxa_release_new_v5_plm_products (дата обращения: 18.07.2025).

170. ZWSOFT: Empowering Sustainable Innovation with All-in-One Cax Solutions-ZWSOFT. — URL: https://www.zwsoft.com/about (дата обращения: 18.07.2025).

171. ZWSOFT releases ZW3D 2026 - Engineering.com. — URL: https://www.engineering.com/zwsoft-releases-zw3d-2026/ (дата обращения: 18.07.2025).

172. Wasserman S. Free CAE Tool for Topology Optimizations and Structural Simulations. — URL: https://www.engineering.com/free-cae-tool-for-topology-optimizations-and-structural-simulations/ (дата обращения: 18.07.2025).

173. Simright: Welcome to Simright.com. — URL: https://simright.com/en/blogs/simright-welcome-to-simright-com/ (дата обращения: 18.07.2025).

174. Gstarsoft - Software Downloads & Reviews for GstarCAD Architecture, DWG FastView for Web and DWG FastView Mobile. — URL: https://www.cesdb.com/developers/gstarsoft.html (дата обращения: 18.07.2025).

175. Localization, Scenario-based Application, and Cloud-based Technology: New Era of Industrial Simulation Innovation_CAE. — URL: https://www.jishulink.comhttps://www.jishulink.com/post/1896287 (дата обращения: 18.07.2025).

176. Yuansuan Technology has completed a C1 round of financing worth hundreds of millions of yuan. — URL: https://finance.sina.cn/2024-03-01/detail-inakuyaq4405414.d.html (дата обращения: 18.07.2025).

177. Indian start-up achieves break-through in Aero Engine design with Digital Twin - The Economic Times. — URL: https://economictimes.indiatimes.com/tech/startups/indian-start-up-achieves-break-through-in-aero-engine-design-with-digital-twin/articleshow/93517416.cms (дата обращения: 18.07.2025).

178. Digital Twin Technology Company - 4 Sight Holdings. — URL: https://4sight.cloud/digital-twin-technology-company (дата обращения: 18.07.2025).

179. Ogewell V. Developing a New Cloud PLM Platform in China: Per Johnsson has the World in His Sights. Developing a New Cloud PLM Platform in China. — 2020.

180. SIASUN Industrial Robots. — URL: https://en.siasun.com/industrial-robot.html (дата обращения: 21.07.2025).

181. GCR Series Cobot. — URL: https://en.siasun.com/gcr-series-cobot.html (дата обращения: 21.07.2025).

182. ESTUN. — URL: https://en.estun.com/?about_57/ (дата обращения: 21.07.2025).

183. Efort Robotics | A Member of Efort Group. — URL: https://www.efortrobotics.com/ (дата обращения: 21.07.2025).

184. JAKA. — URL: https://www.jaka.com/en/about (дата обращения: 21.07.2025).

185. TimesTech ASYSTR 600 Industrial Robot Launched at IMTEX 2019 : Made in India. ASYSTR 600 Industrial Robot Launched at IMTEX 2019. — 2019.

186. Design, Development and Manufacturing of Industrial Robots | Technology Development Board. — URL: https://tdb.gov.in/design-development-and-manufacturing-industrial-robots (дата обращения: 21.07.2025).

187. Dong J., Ota K., Dong M. UAV-Based Real-Time Survivor Detection System in Post-Disaster Search and Rescue Operations // IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems. — 2021. — Т. 2. — № 4. — P. 209-219.

188. Autel EVO Max Drone Series - Autelpilot. — URL: https://www.autelpilot.eu/pages/autel-evo-max-drone-series (дата обращения: 22.07.2025).

189. Sharma R. At Par With US Gray Eagles! China's Combat Fleet Of Wing Loong UAVs To Become "Smarter, Deadlier" With AI. — 2023.

190. SENSETHINK. — URL: https://www.sensethink.cn/index.html (дата обращения: 25.07.2025).

191. Technology S.E. Sushui Tech to show "Critical Power for Critical Communication" Solution at CCW 2024. — URL: https://www.prnewswire.com/ae/news-releases/sushui-tech-to-show-critical-power-for-critical-communication-solution-at-ccw-2024-302124028.html (дата обращения: 25.07.2025).

192. LinkAV Technology - COFDM Video Transmitter | IP MESH Radio | UAV Data Link. — URL: https://www.linkavtech.com/ (дата обращения: 25.07.2025).

193. UAV Drone Data Link IP MESH 10km Relay 82Mbps AES Encryption Small Size. — URL: https://www.videowirelesstransmitters.com/sale-4121245-uav-drone-data-link-ip-mesh-10km-relay-82mbps-aes-encryption-small-size.html (дата обращения: 25.07.2025).

194. Беспроводной широкополосный модуль специальной сети. — URL: https://www.taobotics.com/product-mesh/ (дата обращения: 25.07.2025).

195. Hanhgk. — URL: https://www.hanhgk.com (дата обращения: 25.07.2025).

196. HangGk-MESH. — URL: https://wap.tezhongzhuangbei.com/shopcp_550296_hanhgk.html (дата обращения: 25.07.2025).

197. Indrajaal. — URL: https://indrajaal.in/about-us/ (дата обращения: 25.07.2025).

198. Grene Robotics demonstrates military-grade autonomous counter-unmanned aircraft system. — URL: https://www.financialexpress.com/business/defence-grene-robotics-demonstrates-military-grade-autonomous-counter-unmanned-aircraft-system-3235756/ (дата обращения: 25.07.2025).

199. China Electronics Technology Group Corporation - www.gioc.com.cn. — URL: http://www.gioc.com.cn/ (дата обращения: 25.07.2025).

200. CETC Completes Wireless Laser Network Communication Test. The Paper. — URL: https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_24020286 (дата обращения: 25.07.2025).

201. SDFSO. — URL: http://www.wh-fso.com/ (дата обращения: 25.07.2025).

202. Liubo Optoelectronics completed the commercial-grade air-to-air UAV laser communication Equipment_wuhan Liubo Optoelectronics Technology Co., Ltd. — URL: http://www.wh-fso.com/doc_27245406.html (дата обращения: 25.07.2025).

203. Company Profile. — URL: https://en.harxon.com/about (дата обращения: 25.07.2025).

204. Anti-Jamming. — URL: https://en.harxon.com/industry/14 (дата обращения: 25.07.2025).

205. EHang | About EHang. — URL: https://www.ehang.com/about/ (дата обращения: 25.07.2025).

206. EHang | Aerial Media - UAV Formation Light Show. — URL: https://www.ehang.com/formation/ (дата обращения: 25.07.2025).

207. XAG. — URL: https://xa.com/en/about (дата обращения: 25.07.2025).

208. XAG combats alien pests with crop spraying drones | PreventionWeb. — URL: https://www.preventionweb.net/news/debug-fall-armyworm-xag-combats-alien-pests-crop-spraying-drones (дата обращения: 25.07.2025).

209. XAG combats alien pests with crop spraying drones | PreventionWeb. — URL: https://www.preventionweb.net/news/debug-fall-armyworm-xag-combats-alien-pests-crop-spraying-drones (дата обращения: 25.07.2025).

210. NewSpace Research and Technologies - Engineering tomorrow's missions, today. — URL: https://newspace.co.in/ (дата обращения: 25.07.2025).

211. NewSpace Research to Unveil SHESHNAAG Swarming Systems at Aero India 2025. — URL: https://idrw.org/newspace-research-to-unveil-sheshnaag-swarming-systems-at-aero-india-2025/(дата обращения: 31.07.2025).

212. Introduction to APAS. — URL: https://support.dji.com/help/content?customId=en-us03400006561&spaceId=34&re=GB&lang=en&documentType=artical&paperDocType=paper (дата обращения: 31.07.2025).

213. DJI Automotive Autonomous Driving Business Analysis Report: Leading the NOA Market by Virtue of Unique Technology Route - ResearchAndMarkets.com. — URL: https://www.businesswire.com/news/home/20240815963940/en/DJI-Automotive-Autonomous-Driving-Business-Analysis-Report-Leading-the-NOA-Market-by-Virtue-of-Unique-Technology-Route---ResearchAndMarkets.com (дата обращения: 04.08.2025).

214. EVO Max 4T XE. Autel Robotics, 2024. — URL: https://www.autelrobotics.cn/wp-content/uploads/2024/12/EVO-Max-4T-XE-Brochure.pdf (дата обращения: 04.08.2025).

215. Autel Evo MAX - 720° Obstacle Avoidance – Infinit Drones Corp. — URL: https://www.infinitdrones.com/products/autel-evo-max (дата обращения: 04.08.2025).

216. Baidu Apollo Launches Camera Based Solution for Level 4 Autonomous Driving. — URL: https://pandaily.com/baidu-apollo-launches-camera-based-solution-for-level-4-autonomous-driving (дата обращения: 01.08.2025).

217. DBS Group Research China / Hong Kong Company. Guide SenseTime Group. — URL: https://www.dbs.com.sg/content/article/pdf/20_HK_Equity/2023/01/20_HK_Equity_74_14012023.pdf (дата обращения: 07.08.2025).

218. Products and Services. — URL: https://www.sensetime.com/en/product-business?categoryId=1077 (дата обращения: 07.08.2025).

219. New Intelligent Drone Hangar to Advance Autonomous Operations. — URL: https://www.unmannedsystemstechnology.com/2025/06/new-intelligent-drone-hangar-to-advance-autonomous-operations/ (дата обращения: 07.08.2025).

220. JOUAV Introduces Fixed + Mobile UAS Inspection System for Power Grids. — URL: https://dronelife.com/2025/03/06/jouav-introduces-fixed-mobile-uas-inspection-system-for-power-grids/ (дата обращения: 07.08.2025).

221. CW-80E Large Commercial Drone | 25kg Payload, 10hr Endurance. — URL: https://www.jouav.com/products/cw-80e.html (дата обращения: 07.08.2025).

222. JOUAV Launches CW-80E Satellite Communication UAV at the 14th China Zhuhai Airshow. — URL: https://www.jouav.com/news/cw-100-gen-2-uav-launching.html (дата обращения: 07.08.2025).

223. UAV Obstacle Avoidance Radar MR72-Hunan Nanoradar Science &Technology_Accurate Detection. — URL: https://en.nanoradar.cn/Products_1/6.html (дата обращения: 04.08.2025).

224. DJI's Livox introduces 500 meter lidar with unique scanning pattern. — URL: https://www.geoweeknews.com/news/djis-livox-introduces-500-meter-lidar-with-unique-scanning-pattern (дата обращения: 05.08.2025).

225. China Unicom Changhang Time UAV emergency communication verification was successful, base station download rate 10Mbps-China Unicom China Unicom. — URL: http://www.cnbeta.com.tw/articles/tech/1339981.htm (дата обращения: 05.08.2025).

226. China Satellite Communications Group adheres to reform and innovation, continuously improves the quality of listed companies, and accelerates its transformation and development. — URL: http://www.sasac.gov.cn/n4470048/n29955503/n30329277/n30329323/c32872513/content.html (дата обращения: 05.08.2025).

227. Satpro. — URL: https://satpro.com/ (дата обращения: 07.08.2025).

228. Беспилотный летательный аппарат спутниковой связи FS100-Xingzhan Measurement and Control Technology Co., Ltd. — URL: https://www.satpro.com/products_view.asp?id=150 (дата обращения: 07.08.2025).

229. Zongshen Aero Engine. — URL: https://zsaeroengine.com/ (дата обращения: 07.08.2025).

230. Обзор компании Zongshen Aero Engine. — URL: https://flo.host/vfy9B86/ (дата обращения: 07.08.2025).

231. Site Info - Dlengine.com. — URL: https://w3techs.com/sites/info/dlengine.com (дата обращения: 07.08.2025).

232. Take-off: together to the top! — URL: http://www.limbach.cn/ae/index.html (дата обращения: 07.08.2025).

233. Xiamen Limbach Aircraft Engine Co., Ltd. — URL: https://www.made-in-china.com/showroom/limbachaircraft (дата обращения: 07.08.2025).

234. Professional DC motor&AC motor manufacturer. — URL: https://www.china-bgmotor.com/ (дата обращения: 07.08.2025).

235. DONGYANG JC MOTOR CO., LTD. — URL: https://jcmotor.en.made-in-china.com/ (дата обращения: 07.08.2025).

236. T-Motor. — URL: https://uav-en.tmotor.com/Company/AboutUs/ (дата обращения: 07.08.2025).

237. T-MOTOR Inside T-MOTOR's UAV Propulsion Systems. — URL: https://www.unmannedsystemstechnology.com/feature/inside-t-motors-uav-propulsion-systems/ (дата обращения: 07.08.2025).

238. Mechtex - Drone Motor Manufacturer in India. — URL: https://mechtex.com/products/drone-motors (дата обращения: 07.08.2025).

239. Drones & Hybrid Engine | Manufacturer China. — URL: https://www.richenpower.com (дата обращения: 05.08.2025).

240. Richen Power fly hybrid hexacopter for over seven hours. — URL: https://www.suasnews.com/2018/01/richen-power-fly-hybrid-hexacopter-seven-hours/ (дата обращения: 05.08.2025).

241. Zhuhai SVFFI Aviation Technology Co., Ltd. Official website Oil-electric hybrid power drone long life multi-rotor power motor ESC propeller. — URL: http://www.svffi.com/en (дата обращения: 06.08.2025).

242. DLE. — URL: https://www.dlengine.com/en/about-us/ (дата обращения: 06.08.2025).

243. Engine Manufacturer, 23kg Engine, 40kg Engine Supplier - Shandong Lianxin Power Technology Co., Ltd. — URL: https://lianxindongli.en.made-in-china.com/?pv_id=1j1vequtg13b&faw_id=null&bv_id=1j1ver43de82 (дата обращения: 06.08.2025).

244. Blower Accessories Factory, Company, Manufacturers - FENGCHENG HONGBO TURBO CO,.LTD. — URL: https://www.hongboturbo.net/aboutus (дата обращения: 06.08.2025).

245. 80kg Thrust Turbojet Engines. — URL: https://www.hongboturbo.net80kg-thrust-turbojet-engines (дата обращения: 06.08.2025).

246. TURBOKOO - Turbo Actuator and Turbocharger Manufacturers. — URL: https://turbokoo.com/ (дата обращения: 06.08.2025).

247. Small Turbojet Engine For UAVs, Drones, 400N Thrust, OEM. — URL: https://turbokoo.com/product/small-turbojet-engine-uavs-drones-400n-thrust/ (дата обращения: 06.08.2025).

248. HiTS (Shanghai) Hydrogen Power Technology Co., Ltd. — URL: https://www.shhits.com.cn/en/ (дата обращения: 06.08.2025).

249. Atlas H100. — URL: https://www.shhits.com.cn/en/product/擎天h100.html (дата обращения: 06.08.2025).

250. Hydrogen Craft Corporation. — URL: https://www.hydrogencraft.com/en/ (дата обращения: 06.08.2025).

251. Aviation Power. — URL: https://www.hydrogencraft.com/en/index.php/hangkong.html (дата обращения: 06.08.2025).

252. HyPACE. — URL: https://hypace.in/ (дата обращения: 07.08.2025).

253. Leading Lithium Battery Manufacturing & Energy Storage Solutions. — URL: https://holobattery.com/ (дата обращения: 07.08.2025).

254. Lithium-Ion Battery Pack Design & Manufacturing Q&A. — URL: https://holobattery.com/lithium-ion-battery-pack-design-manufacturing-qa/ (дата обращения: 07.08.2025).

255. CATL. — URL: https://www.catl.com/ (дата обращения: 07.08.2025).

256. Kang L. Global EV battery market share in Jan-Mar 2025: CATL 38.3%, BYD 16.7%. Global EV battery market share in Jan-Mar 2025. — URL: https://cnevpost.com/2025/05/07/global-ev-battery-market-share-jan-mar-2025/ дата обращения: 07.08.2025).

257. China's CATL Unveils Battery to Power Electric Aircraft. — URL: https://www.commercialuavnews.com/international/china-s-catl-unveils-battery-to-power-electric-aircraft (дата обращения: 07.08.2025).

258. Artek Energy: Lithium-ion batteries manufacturers in India. — URL: https://artekgroup.in/ (дата обращения: 07.08.2025).

259. Lithium Ion Battery - 22.2V For Drone. — URL: https://artekgroup.in/drone-lithium-ion-batteries-india/ (дата обращения: 07.08.2025).

260. Fpv Drone Batteries Manufacturer, Solid State Uav Batteries, Lipo Batteries for Drones Supplier - SunLipo Energy (Shenzhen) Co., Ltd. — URL: https://sunlipo.en.made-in-china.com/ (дата обращения: 07.08.2025).

261. Carbon-Fiber UAV. — URL: https://www.carbonfiberuav.com/aboutus.html (дата обращения: 07.08.2025).

262. Hunan Jinbo Carbon. — URL: https://www.kbcarbon.com/ (дата обращения: 08.08.2025).

263. Годовой отчет Hunan Jinbo Carbon Co., Ltd. за 2024 год. — URL: https://static.cninfo.com.cn/finalpage/2025-04-29/1223392087.PDF (дата обращения: 08.08.2025).

264. Guangdong Hangyu Composite Material Technology.— URL: http://www.carbonfiberproduct.com/ (дата обращения: 08.08.2025).

265. China UAV And Drone 3K Carbon Fiber Sheet Manufacturers and Factory - High Strength Carbon Fiber Plate Wholesale - XINBO COMPOSITE. — URL: https://www.composite-china.com/uav-and-drone-3k-carbon-fiber-sheet (дата обращения: 08.08.2025).

266. BLT: A Pioneering Force in Chinese Metal 3D Printing. — URL: https://3dprint.com/302153/blt-a-pioneering-force-in-chinese-metal-3d-printing/ (дата обращения: 08.08.2025).

267. BLT: A Pioneering Force in Chinese Metal 3D Printing Shines at Formnext. — URL: https://www.xa-blt.com/en/news/blt-a-pioneering-force-in-chinese-metal-3d-printing-shines-at-formnext-2/ (дата обращения: 08.08.2025).

268. An inside perspective on China's thriving metal Additive Manufacturing industry. — URL: https://www.metal-am.com/articles/an-inside-perspective-on-chinas-thriving-metal-additive-manufacturing-industry/ (дата обращения: 08.08.2025).

269. 3D Printing Financials: Unpacking Farsoon and BLT's 2023 Performance. — URL: https://3dprint.com/308414/3d-printing-financials-unpacking-farsoon-and-blts-2023-performance/ (дата обращения: 08.08.2025).

270. Shenzhen JR Technology Co., Ltd. — URL: https://www.china-3dprinting.com/ (дата обращения: 08.08.2025).

271. METAL 3D PRINTING COMPANY IN INDIA - THE FUTURE IS HERE. — URL: https://wipro-3d.com/ (дата обращения: 08.08.2025).

272. Дайджест «Проекты БАС на радаре НТИ». — URL: https://аэронет2035.рф/digest (дата обращения: 07.07.2025).

273. Гид TAdviser по российским производителям гражданских БПЛА: 20 наиболее заметных игроков рынка. — URL: https://tadviser.ru/index.php/Статья:20_наиболее_заметных_игроков_рынка_производителей_гражданских_БАС (дата обращения: 07.07.2025).

274. Анализ рынка гражданских коммерческих БПЛА: итоги, прогнозы, тренды. — URL: https://gidmark.ru/news/analiz-ryinka-grazhdanskih-bpla-itogi-prognozyi-trendyi (дата обращения: 08.07.2025).

275. Российскому рынку БПЛА предсказали рост в 2,5 раза. — URL: https://ruposters.ru/news/11-04-2025/rossiiskomu-rinku-predskazali (дата обращения: 08.07.2025).

276. Производство гражданских дронов за год выросло на 45% и достигло 35,9 млрд рублей. Крупнейшие производители. — URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Производство_БПЛА_в_России (дата обращения: 08.07.2025).

277. В Карелии разработали надводный беспилотник для мониторинга водоемов. — URL: https://nauka.tass.ru/nauka/22029965 (дата обращения: 07.07.2025).

278. Выйти в море: запущен в серию первый отечественный тяжелый плавучий дрон. — URL: https://iz.ru/1760598/iuliia-leonova/vyiti-v-more-zapushchen-v-seriiu-pervyi-otechestvennyi-tiazhelyi-plavuchii-dron (дата обращения: 07.07.2025).

279. Рой дронов «Геоскан Пионер». — URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/pioneer/drone-swarm (дата обращения: 10.07.2025).

280. Как «Геоскан» помогает дронам ориентироваться в помещении. — URL: https://strategyjournal.ru/innovatsii/geoskan-pomozhet-dronam-orientirovatsya-v-pomeshhenii/ (дата обращения: 10.07.2025).

281. В России впервые реализовали технологию управления беспилотником через спутник. — URL: https://t.me/roscosmos_gk/14208 (дата обращения: 10.07.2025).

282. Передача команд управления дрону через спутниковую систему. — URL: https://s3.objstor.cloud4u.com/pnti/aeronet2035/crdm/13.%20Гонец.pdf (дата обращения: 10.07.2025).

283. Беспилотные самолеты Геоскан. — URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/bespilotnie-samoleti (дата обращения: 10.07.2025).

284. Геоскан: как выбрать БВС. — URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/bpla (дата обращения: 10.07.2025).

285. Геоскан Gemini. — URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/gemini (дата обращения: 10.07.2025).

286. Беспилотный летательный аппарат Геоскан Gemini. — URL: https://www.gsi.ru/catalog/bpla/geoscan_gemini (дата обращения: 10.07.2025).

287. Новые АКБ повышенной емкости для БПЛА «Supercam». — URL: https://supercam.aero/news/novyie-akb-povyishennoj-emkosti-dlya-bpla-«supercam» (дата обращения: 11.07.2025).

288. Supercam S350. — URL: https://supercam.aero/catalog/supercam-s350 (дата обращения: 11.07.2025).

289. Supercam X4. — URL: https://supercam.aero/catalog/supercam-x4 (дата обращения: 11.07.2025).

290. Supercam X4E. — URL: https://supercam.aero/catalog/supercam-x6m2 (дата обращения: 11.07.2025).

291. Группа компаний «Аэромакс» - ООО «АВС». — URL: https://www.aeromax-group.ru/group-avs/ (дата обращения: 11.07.2025).

292. «Аэромакс» и «АВС» начнут совместно разрабатывать новые беспилотные вертолеты. — URL: https://www.aeromax-group.ru/ajeromaks-i-avs-nachnut-sovmestno-razrabatyvat-novye-bespilotnye-vertolety/ (дата обращения: 11.07.2025).

293. «Аэромакс» будет внедрять водородные технологии для гражданских беспилотников. — URL: https://www.aeromax-group.ru/ajeromaks-budet-vnedrjat-vodorodnye-tehnologii-dlja-grazhdanskih-bespilotnikov/ (дата обращения: 11.07.2025).

294. Столичный производитель представил отечественные гражданские БПЛА на водороде. — URL: https://www.aeromax-group.ru/stolichnyj-proizvoditel-predstavil-otechestvennye-grazhdanskie-bpla-na-vodorode/ (дата обращения: 11.07.2025).

295. Российские компании «Аэромакс», «ИКАР» и «Центр водородных технологий» представили свои разработки на выставке UMEX и SimTEX 2024 в Абу-Даби. — URL: https://www.aeromax-group.ru/rossijskie-kompanii-ajeromaks-ikar-i-centr-vodorodnyh-tehnologij-predstavili-svoi-razrabotki-na-vystavke-umex-i-simtex-2024-v-abu-dabi/ (дата обращения: 11.07.2025).

296. Московская «Аэромакс» представила беспилотный вертолет с водородным двигателем. — URL: https://tender.russiandrone.ru/news/moskovskaya_aeromaks_predstavila_bespilotnyy_vertolyet_s_vodorodnym_dvigatelem/ (дата обращения: 11.07.2025).

297. «Аэромакс» приобрел долю в компании «АС-КАМ». — URL: https://www.aeromax-group.ru/ajeromaks-priobrel-dolju-v-kompanii-as-kam/ (дата обращения: 11.07.2025).

298. «Аэромакс» запустил производство гражданских беспилотных вертолетов в индустриальном парке «Руднево». — URL: https://www.aeromax-group.ru/ajeromaks-zapustil-proizvodstvo-grazhdanskih-bespilotnyh-vertoletov-v-industrialnom-parke-rudnjovo/ (дата обращения: 11.07.2025).

299. Ведущий инженерно-производственный холдинг. — URL: https://ikarcenter.ru/ (дата обращения: 11.07.2025).

300. Новые разработки в сфере БАС показали на выставке «HeliRussia» 2024. — URL: https://ikarcenter.ru/news_feed/novie-razrabotki-v-sfere-grajdanskih-bespilotnih-sistem-pokazali-na-vistavke-helirussia (дата обращения: 11.07.2025).

301. Икар-тех: производство. — URL: https://ikarcenter.ru/proizvodstvo (дата обращения: 11.07.2025).

302. Новейший российский беспилотник с гибридным двигателем получил искусственный интеллект. — URL: https://tass.ru/armiya-i-opk/11153275 (дата обращения: 10.07.2025).

303. ZALA Z-16: корректировка и объективный контроль удара ОТРК «Искандер» по силам противника. — URL: https://zala-aero.com/news/zala-z-16-korrektirovka-i-obektivnyj-kontrol-udara-otrk-iskander-po-silam-protivnika/ (дата обращения: 10.07.2025).

304. Изделие 51-Э — барражирующий боеприпас. — URL: https://zala-aero.com/product/izd-51-e/ (дата обращения: 10.07.2025).

305. Изделие 52-Э — барражирующий боеприпас. — URL: https://zala-aero.com/product/izdelie-52-e/ (дата обращения: 10.07.2025).

306. ЦКБ МТ «Рубин» представил на «Армии-2023» автономный подводный аппарат «Аргус». — URL: https://portnews.ru/news/351908/ (дата обращения: 11.07.2025).

307. ЦКБ МТ «Рубин» показало на «Армии-2023» робототехнический комплекс для круглогодичной сейсморазведки в Арктике. — URL: https://portnews.ru/news/351867/ (дата обращения: 11.07.2025).

308. Витязь (подводный). — URL: https://robotrends.ru/robopedia/vityaz-1 (дата обращения: 11.07.2025).

309. Комплекс «Витязь-Д». — URL: https://ckb-rubin.ru/proekty/robototekhnika/kompleks_vitjaz_d/ (дата обращения: 11.07.2025).

310. Комплекс «Витязь-Д» вошел в ТОП главных достижений современной России. — URL: https://fpi.gov.ru/press/news/kompleks-vityaz-d-voshel-v-top-glavnykh-dostizheniy-sovremennoy-rossii/ (дата обращения: 11.07.2025).

311. Специалисты ЦКБ МТ «Рубин» подробно рассказали о глубоководном комплексе «Витязь-Д». — URL: https://spbvedomosti.ru/news/country_and_world/spetsialisty-tskb-mt-rubin-podrobno-rasskazali-o-glubokovodnom-komplekse-vityaz-d-/ (дата обращения: 11.07.2025).

312. Сурин С.Н., Балакин А.В., Мусатов Е.А., Челпанов А.С., Рожков Ю.Е., Попко А.О. Опыт создания морской робототехнической платформы для АНПА малого класса // Подводные исследования и робототехника. — 2022. — № 1 (39). — С. 4-16.

313. Сурин С.Н., Мусатов Е.А., Попко А.О. Перспективная модульная платформа морских робототехнических средств. // II научно-практическая конференция по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности «ROBOEMERCOM». — Москва: ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), 2022. — С. 212-230.

314. НПО «Аврора» создаст подводный беспилотник с воздухонезависимой энергоустановкой. — URL: https://mashnews.ru/minpromtorg-profinansiroval-sozdanie-podvodnogo-bespilotnika-na-vodorode.html (дата обращения: 11.07.2025).

315. Визир-700. — URL: https://robotrends.ru/robopedia/vizir-700 (дата обращения: 09.07.2025).

316. Компетенции Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. — URL: https://dtp.spbstu.ru/userfiles/files/dtp-products.pdf (дата обращения: 09.07.2025).

317. Политех в «Приоритет-2030». — URL: https://strategy.spbstu.ru/userfiles/files/buklet_prioritet_ot-10_11_2023_compressed.pdf (дата обращения: 09.07.2025).

318. «Тетис Про» планирует создать ТНПА для автономных судов к 2028 году. — URL: https://portnews.ru/news/353611/ (дата обращения: 11.07.2025).

319. Искусственный интеллект в бортовых системах управления морской робототехники резидентного типа. — URL: https://oceanos.ru/news/614 (дата обращения: 11.07.2025).

320. Океанос внедряет искусственный интеллект в морскую робототехнику. — URL: https://www.korabel.ru/news/comments/okeanos_vnedryaet_iskusstvennyy_intellekt_v_morskuyu_robototehniku.html (дата обращения: 11.07.2025).

321. Высокоскоростная беспроводная оптическая связь. — URL: https://oceanos.ru/resident_optic (дата обращения: 11.07.2025).

322. Каталог отечественных производителей БАС за 2022 год. — URL: https://dronus.ru/official/katalog-otechestvennyh-proizvoditelej-bas-za-2022-god (дата обращения: 08.07.2025).

323. ГК «Геоскан». — URL: https://www.geoscan.ru/ru/about (дата обращения: 08.07.2025).

324. Supercam. — URL: https://supercam.aero/about/ (дата обращения: 09.07.2025).

325. Аэромакс. — URL: https://www.aeromax-group.ru/about/ (дата обращения: 09.07.2025).

326. ГК «ИКАР». — URL: https://ikarcenter.ru/o-kompanii (дата обращения: 09.07.2025).

327. АФК «Система» создала на базе инженерного центра Airbus новую группу компаний с уставным капиталом 1 млрд рублей. Она занялась БПЛА. — URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:ИКАР_(ранее_инженерный_центр_Airbus_в_России) (дата обращения: 09.07.2025).

328. ZALA. — URL: https://zala-aero.com/about/ (дата обращения: 09.07.2025).

329. ЦКБ МТ «Рубин». — URL: https://ckb-rubin.ru/ckb_mt_rubin/ (дата обращения: 09.07.2025).

330. Робототехника. — URL: https://ckb-rubin.ru/proekty/robototekhnika/ (дата обращения: 09.07.2025).

331. АО «Концерн «НПО «Аврора». — URL: https://aokmp.ru/aurora/ (дата обращения: 09.07.2025).

332. АО «Корпорация морского приборостроения» — URL: https://aokmp.ru/ (дата обращения: 09.07.2025).

333. История компании ООО «КМЗ». — URL: https://kmz1.ru/company/istoriya-kompanii.html (дата обращения: 09.07.2025).

334. АКРА присвоило обществу с ограниченной ответственностью «Кингисеппский машиностроительный завод» кредитный рейтинг BBB-(ru), прогноз «стабильный». — URL: https://www.acra-ratings.ru/press-releases/5215/ (дата обращения: 09.07.2025).

335. ТЕТИС-ПРО. — URL: https://www.tetis-pro.ru/about/ (дата обращения: 09.07.2025).

336. АО «НПП ПТ «Океанос». — URL: https://www.oceanos.ru/company (дата обращения: 09.07.2025).

337. Argolini R., Bonalumi F., Deichmann J., Pellegrinelli S. Digital twins: The key to smart product development. — URL: https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/digital-twins-the-key-to-smart-product-development (дата обращения: 05.06.2025).

338. Ding Y. et al. A Digital Twin-based Testing and Data Collection System for Autonomous Driving in Extreme Traffic Scenarios //Proceedings of the 2022 6th International Conference on Video and Image Processing. – 2022. – P. 101-109.

339. Khatiri S., Panichella S., Tonella P. Simulation-based testing of unmanned aerial vehicles with aerialist //Proceedings of the 2024 IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings. – 2024. – P. 134-138.

340. Tahera K., Jowers I., Loureiro-Koechlin C., Eckert C., Lockett H. Industrial perspectives on the adoption of virtual testing. — Cambridge University Press, 2023. — Т. 3. — С. 2305-2314.

341. Helmreich K., Reinwardt G. Virtual test of noise and jitter parameters // Proceedings International Test Conference. — 1996. — С. 461-470.

342. Lu P., Glaser D., Uygur G., Weichslgartner S., Helmreich K., Lechner A. A novel approach to entirely integrate virtual test into test development flow. — Nice, France: 2009 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, 2009. — С. 78-83.

343. Huizinga F., Ostaijen R., Slingeland A. A practical approach to virtual testing in automotive engineering // Journal of Engineering Design. — 2010. — С. 33-47.

344. Design Software History: Evolution of Design Software in Aerospace: From CAD to AI and Additive Manufacturing. — URL: https://novedge.com/blogs/design-news/design-software-history-evolution-of-design-software-in-aerospace-from-cad-to-ai-and-additive-manufacturing?srsltid=AfmBOornuUI2Kv0hZVBIYWqtCT7aE57_eu640xIGBQqFnl-Xkmu_Xw1u (дата обращения: 10.06.2025).

345. ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» : Национальный стандарт Российской Федерации. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2021 г. N 979-ст. – М., 2021. — URL: http://protect.gost.ru/v.aspx?control=7&id=241313 (дата обращения: 06.12.2022).

346. Китай официально признал российский ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ИЗДЕЛИЙ. Общие положения». — URL: https://nticenter.spbstu.ru/news/8683 (дата обращения: 30.05.2025).

347. Daley P. What are the limits of simulation? — URL: https://www.automotivetestingtechnologyinternational.com/industry-opinion/what-are-the-limits-of-simulation.html (дата обращения: 02.06.2025).

348. Ead R., AbouRizk S. Virtual simulation environment for comparing and testing current modeling strategies in project planning and control //Automation in Construction. – 2024. – T. 166. – P. 105647.

349. Piazzoni A., Vijay R., Cherian J., Chen L., Dauwels J. Challenges in Virtual Testing of Autonomous Vehicles // Proceedings of the 2022 17th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV). — Singapore, 2022. — P. 416-421.

350. Hiba A., Bauer P., Nagy M., Erno E., Kisari A., Gergely I.K., Drotar I. Software-in-the-loop simulation of the forerunner UAV system. — 2022 — P.139-144.

351. Isukapati I. K., Demers A., List G. F. Hardware-in-the-loop simulation: challenges and solutions //Traffic and Transportation Studies 2010. – 2010. – P. 915-926.

352. Software in the Loop Testing for PX4. — URL: https://www.riis.com/blog/software-in-the-loop-testing-for-px4 (дата обращения: 12.06.2025).

353. Fei Z., Andersson M., Tingberg A. Correlation of Software-in-the-Loop Simulation with Physical Testing for Autonomous Driving // 2024 IEEE 27th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). – IEEE, 2024. – P. 2050-2057.

354. Solmaz S., Rudigier M., Mischinger M. A vehicle-in-the-loop methodology for evaluating automated driving functions in virtual traffic //2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). – IEEE, 2020. – P. 1465-1471.

355. Menzel T., Bagschik G., Maurer M. Scenarios for Development, Test and Validation of Automated Vehicles. — 2018. — P. 1821-1827.

356. Kelly D. How virtual verification can enhance physical testing. — URL: https://www.automotivetestingtechnologyinternational.com/industry-opinion/how-virtual-verification-can-enhance-physical-testing.html (дата обращения: 02.06.2025).

357. Trauer O. Whitepaper: Virtual Validation in the Automotive Industry. — URL: https://in-tech.com/en/articles/whitepaper-virtual-validation-in-the-automotive-industry (дата обращения: 03.06.2025).

358. Tahera K., Earl C., Claudia E. Integrating virtual and physical testing to accelerate the engineering product development process // International Journal of Information Technology and Management. — 2014. — Vol. 13. — No. 2-3. — P. 154-175.

359. Tahera K., Earl C., Eckert C. Integrating physical and virtual testing to improve confidence in product design. — 2012.

360. ЦИПР-2024: делегация Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг» приняла активное участие в самом представительном деловом мероприятии в России. — URL: https://nticenter.spbstu.ru/news/8835 (дата обращения: 30.05.2025).

361. Chalot F., Johan Z., Mallet M., Billard F., Martin L., Barré S. Extension of methods based on the stabilized finite element formulation for the solution of the Navier–Stokes equations and application to

aerodynamic design // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. — 2023. — Т. 417.

362. Kouhi Esfahani M. A contribution to the finite element analysis of high-speed compressible flows and aerodynamics shape optimization / M. Kouhi Esfahani. — Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria, 2013. — 111 с.

363. Reimer L. Virtual aircraft technology integration platform: Ingredients for multidisciplinary simulation and virtual flight testing // AIAA Scitech 2021 Forum AIAA Scitech 2021 Forum. — С. 1202.

364. Шевченко А., Муравицкая Л. Численное моделирование аэродинамических характеристик беспилотных летательных аппаратов на дозвуковых скоростях // Труды МАИ. — 2024. — Т. 138.

365. Гунчин В., Больших А., Устинов Б. Разработка и апробация методики численного моделирования аэроупругого состояния крыла на основе методов конечных элементов и контрольных объемов // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2023. — Т. 7.

366. Воеводин А., Ефремов Ф., Судаков В. Численное и экспериментальное исследование аэродинамики модели гражданского самолета на больших углах атаки и при вращении // Теплофизика и аэромеханика. — 2023. — Т. 30. — № 1.

367. Bird I. Hydrodynamic Impact Analysis and Testing of an Unmanned Aerial Vehicle / I. Bird. — Daytona Beach, Florida: Embry-Riddle Aeronautical University, 2013. — 63 p.

368. Du P., Ouahsine A., Hu H., Chen X. Computational Fluid Mechanics Methods and Applications in Marine Engineering // Journal of Marine Science and Engineering. — 2023. — Т. 11. — № 3. — С. 606.

369. Ranmuthugala S., Leong Z. Hydrodynamics Design Considerations for Underwater Vehicles // Proceedings in (Engineering, Built Environment and Spatial Sciences), 9th International Research Conference-KDU, Sri Lanka 9th International Research Conference-KDU. — Sri Lanka, 2016.

370. Salimov R. Application in aerohydrodynamics of the solution of an inverse boundary value problem for analytic functions // Sibirskii Zhurnal Industrial'noi Matematiki. — 2018. — Т. 21. — № 1. — P. 80-89.

371. Azanaw G. Revolutionizing Structural Engineering: A Review of Digital Twins, BIM, and AI Applications // Indian Journal of Structure Engineering. — 2024. — Т. 4. — № 2. — P. 1-8.

372. Bartels A., Sayma A. Computational aeroelastic modelling of airframes and turbomachinery: progress and challenges // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. — 2007. — Т. 365(1859).

373. Mufti B., Perron C., Mavris D. N. Multifidelity methodology for reduced-order models with high-dimensional inputs //AIAA Journal. – 2024. – Т. 62. – №. 10. – P. 3932-3947.

374. Rossow C., Krol N. Perspectives and Requirements of numerical Simulation for Future Aircraft Design // VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering. — Institute of Aerodynamics and Flow Technology > Leitungsbereich AS BS, 2016.

375. Fredriksson B. Advanced numerical methods for analysis and design of aircraft structures // International journal of vehicle design. — 1986. — Т. 7. — № 3-4. — P. 306-336.

376. Chengalva M., Dang V. Practical Applications of the Material Modeling Approach in the Aerospace Industry // American Society of Mechanical Engineers. — 2024. — T. 87745. — P. V001T03A007.

377. Hong S. P. Different numerical techniques, modeling and simulation in solving complex problems //Journal of Machine and Computing. – 2023. – T. 3. – №. 2. – P. 058-086.

378. Desai A. Enhanced multi-fidelity modeling for digital twin and uncertainty quantification // Probabilistic Engineering Mechanics. — 2023. — T. 74. — P. 103525.

379. Администрация гражданской авиации Китая выпустила «Руководство по сертификации летной годности беспилотных летательных аппаратов на основе эксплуатационных рисков». — URL: https://www.gov.cn/xinwen/2019-01/26/content_5361378.htm (дата обращения: 01.08.2025).

380. Департамент летной годности выпустил «Административные процедуры сертификации летной годности гражданских беспилотных летательных аппаратов» и «Руководство по оценке рисков в рамках экспертизы летной годности систем гражданских беспилотных летательных аппаратов». — URL: http://www.capar-china.com/prod_view.aspx?nid=3&typeid=498&id=563981 (дата обращения: 01.08.2025).

381. Уведомление о выпуске «Стандартов летной годности для БПЛА самолетного типа, предназначенных для перевозки грузов повышенной опасности» — URL: https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/ZFGW/202005/t20200511_202468.html (дата обращения: 01.08.2025).

382. Чжухай строит морской испытательный полигон для беспилотных судов в водах Ваньшаня. — URL: https://www.gov.cn/xinwen/2018-02/12/content_5266304.htm (дата обращения: 05.08.2025).

383. Морской испытательный полигон Ваньшань. — URL: https://www.sml-zhuhai.cn/list/42.html (дата обращения: 05.08.2025).

384. Виртуальный аэродинамический полигон для тестирования беспилотных летательных аппаратов (2018-2019 гг.). — URL: https://fea.ru/project/221 (дата обращения: 04.08.2025).

385. Embraer and Ufes Conduct First Autonomous Aircraft Test in Brazil. — URL: https://www.aviationpros.com/aircraft-maintenance-technology/aircraft-technology/unmanned/press-release/21109420/embraer-embraer-and-ufes-conduct-first-autonomous-aircraft-test-in-brazil (дата обращения: 05.08.2025).

386. TII's Secure Systems Research Center in Abu Dhabi Announces Launch of First Motion Capture Facility Outside United States. — URL: https://www.tii.ae/news/tiis-secure-systems-research-center-abu-dhabi-announces-launch-first-motion-capture-facility (дата обращения: 05.08.2025).

387. Сборка мультироторных БВС и эксперимент по виртуальному моделированию группового взаимодействия. — URL: https://virtualsim.nuaa.edu.cn/exp/2.html (дата обращения: 04.08.2025).

388. Parker M.Z., Engelbrecht J.A.A. Precise automated landing of a fixed-wing aircraft onto a moving platform // MATEC Web of Conferences. — 2022. — Vol. 370. — P. 05007.

389. Семейство БПЛА «Снегирь». — URL: https://nticenter.spbstu.ru/nti_projects/151 (дата обращения: 04.08.2025).

390. Разработка БПЛА «Снегирь-1». — URL: https://nticenter.spbstu.ru/nti_projects/151 (дата обращения: 04.08.2025).

391. Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг» выиграла стратегически важный конкурс и заключила контракт с АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем». — URL: http://technet.spbstu.ru/news/8904 (дата обращения: 04.08.2025).

392. AI Drone Research Centre. — URL: https://jjcet.ac.in/ai-drone-research-centre/ (дата обращения: 05.08.2025).

393. Виртуальное моделирование АНПА. — URL: http://me.zju.edu.cn/syzx/sxwwwxnfzsy/list.psp (дата обращения: 05.08.2025).

394. Экспериментальная платформа для виртуального моделирования подводного робота. — URL: https://www.ilab-x.com/details/page?id=11364&isView=true (дата обращения: 05.08.2025).

395. Создан цифровой полигон для испытания двойников БПЛА. — URL: https://tass.ru/nauka/21614963 (дата обращения: 04.08.2025).

396. Созданный в МФТИ (Участник НАУРР) цифровой полигон ускорит разработку российских БПЛА. — URL: https://robotunion.ru/glavnaya/tpost/zf2rhrlj31-sozdannii-v-mfti-uchastnik-naurr-tsifrov (дата обращения: 04.08.2025).

397. Инженерно-исследовательский центр Циндао. — URL: https://sjkx.qust.edu.cn/info/1040/2063.htm (дата обращения: 04.08.2025).

398. Embraer Selects Dassault Systèmes' Simulation Technology to Support Quieter eVTOL Aircraft Development for Eve Air Mobility. — URL: https://www.3ds.com/newsroom/press-releases/embraer-selects-dassault-systemes-simulation-technology-support-quieter-evtol-aircraft-development-eve-air-mobility (дата обращения: 05.08.2025).

399. ГОСТ Р 58048-2017 Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий. — URL: https://meganorm.ru/Index/66/66205.htm (дата обращения: 11.08.2025).

400. Экспорт российских дронов может достичь $12 млрд в год - Ведомости. — URL: https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2025/08/15/1131738-eksport-rossiiskih-dronov-mozhet-dostich-12-mlrd-v-god (дата обращения: 15.08.2025).

401. Официально выпущен CAXA CAD/PLM 2024, повышающий эффективность НИОКР — URL: http://ex.chinadaily.com.cn/exchange/partners/82/rss/channel/cn/columns/sz8srm/stories/WS6530f1d0a310d5acd876ad3c.html (дата обращения: 01.10.2025).

402. ZWSOFT: Empowering Sustainable Innovation with All-in-One Cax Solutions. — URL: https://www.zwsoft.com/about (дата обращения: 01.10.2025).

403. Simright: Welcome to Simright.com. — URL: https://simright.com/en/blogs/simright-welcome-to-simright-com/ (дата обращения: 01.10.2025).

404. Gstarsoft - Software Downloads & Reviews for GstarCAD Architecture, DWG FastView for Web and DWG FastView Mobile. — URL: https://www.cesdb.com/developers/gstarsoft.html (дата обращения: 01.10.2025).

405. Jytra Technology Solutions Private Limited. — URL: https://jytra.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

406. Ведущий инвестиционный проект Linear в рамках раунда ангельских инвестиций, Yuansuan Technology, завершил раунд финансирования C1 на сумму в сотни миллионов юаней. — URL: https://finance.sina.cn/2024-03-01/detail-inakuyaq4405414.d.html (дата обращения: 01.10.2025).

407. Indian start-up achieves break-through in Aero Engine design with Digital Twin - The Economic Times. — URL: https://economictimes.indiatimes.com/tech/startups/indian-start-up-achieves-break-through-in-aero-engine-design-with-digital-twin/articleshow/93517416.cms (дата обращения: 01.10.2025).

408. Digital Twin Technology & Platforms Provider | Fusion VR. — URL: https://www.fusionvr.in/digital-twins (дата обращения: 01.10.2025).

409. Digital Twin Technology Company - 4 Sight Holdings. — URL: https://4sight.cloud/digital-twin-technology-company (дата обращения: 01.10.2025).

410. Developing a New Cloud PLM Platform in China: Per Johnsson has the World in His Sights - Engineering.com. — URL: https://www.engineering.com/developing-a-new-cloud-plm-platform-in-china-per-johnsson-has-the-world-in-his-sights/ (дата обращения: 01.10.2025).

411. ZWSOFT releases ZW3D 2026 - Engineering.com. — URL: https://www.engineering.com/zwsoft-releases-zw3d-2026/ (дата обращения: 01.10.2025).

412. Supplier - Caxa Technology. — URL: https://asiagrowthpartners.com/supplier/caxa-technology/v2193 (дата обращения: 01.10.2025).

413. Dassault Systemes and Caxa release new V5 PLM products. — URL: https://survey.alchemer.eu/s3/90829725/All-Sites-Tariff-Poll-04-Change-in-tariff-concern-over-past-six-months&r=true (дата обращения: 01.10.2025).

414. SIASUN Industrial Robots. — URL: https://en.siasun.com/industrial-robot.html (дата обращения: 01.10.2025).

415. GCR Series Cobot-SIASUN. — URL: https://en.siasun.com/gcr-series-cobot.html (дата обращения: 01.10.2025).

416. Estun Automation. — URL: https://en.estun.com/?about_57/ (дата обращения: 01.10.2025).

417. Efort Robotics | A Member of Efort Group. — URL: https://www.efortrobotics.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

418. JAKA. — URL: https://www.jaka.com/en/about (дата обращения: 01.10.2025).

419. ASYSTR 600 Industrial Robot Launched at IMTEX 2019 : Made in India | TimesTech. ASYSTR 600 Industrial Robot Launched at IMTEX 2019. — 2019.

420. Dong J., Ota K., Dong M. UAV-Based Real-Time Survivor Detection System in Post-Disaster Search and Rescue Operations // IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems. — 2021. — Т. 2. — № 4. — С. 209-219.

421. Autel EVO Max Drone Series. — URL: https://www.autelpilot.eu/pages/autel-evo-max-drone-series (дата обращения: 01.10.2025).

422. Sharma R. At Par With US Gray Eagles! China's Combat Fleet Of Wing Loong UAVs To Become "Smarter, Deadlier" With AI. — 2023.

423. SENSETHINK. — URL: https://www.sensethink.cn/index.html (дата обращения: 01.10.2025).

424. LinkAV Technology - COFDM Video Transmitter | IP MESH Radio | UAV Data Link. — URL: https://www.linkavtech.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

425. UAV Drone Data Link IP MESH 10km Relay 82Mbps AES Encryption Small Size. — URL: https://www.videowirelesstransmitters.com/sale-4121245-uav-drone-data-link-ip-mesh-10km-relay-82mbps-aes-encryption-small-size.html (дата обращения: 01.10.2025).

426. Модуль беспроводной широкополосной сети Ad Hoc – Официальный сайт Chaowendao Robotics | Разработчик и производитель мобильных роботов для научных исследований и образования. — URL: https://www.hanhgk.com/h-pd-38.html (дата обращения: 01.10.2025).

427. Самоорганизующийся сетевой модуль HangGk-MESH-UAV. — URL: https://wap.tezhongzhuangbei.com/shopcp_550296_hanhgk.html (дата обращения: 01.10.2025).

428. China Electronics Technology Group Corporation впервые в Китае завершил испытания. — URL: https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_24020286 (дата обращения: 01.10.2025).

429. Компания Liubo Optoelectronics завершила испытания коммерческого оборудования лазерной связи для беспилотных летательных аппаратов — URL: http://www.wh-fso.com/doc_27245406.html (дата обращения: 01.10.2025).

430. Anti-Jamming. Harxon — URL: https://en.harxon.com/industry/Anti-Jam.html (дата обращения: 01.10.2025).

431. XAG combats alien pests with crop spraying drones | PreventionWeb. — URL: https://www.preventionweb.net/news/debug-fall-armyworm-xag-combats-alien-pests-crop-spraying-drones (дата обращения: 01.10.2025).

432. NewSpace Research to Unveil SHESHNAAG Swarming Systems at Aero India 2025 - Indian Defence Research Wing. — URL: https://idrw.org/newspace-research-to-unveil-sheshnaag-swarming-systems-at-aero-india-2025/ (дата обращения: 01.10.2025).

433. Introduction to APAS. — URL: https://support.dji.com/help/content?customId=en-us03400006561&spaceId=34&re=GB&lang=en&documentType=artical&paperDocType=paper (дата обращения: 01.10.2025).

434. Drone and Robotic Technology. — URL: https://www.infinitdrones.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

435. Baidu Apollo Launches Camera Based Solution for Level 4 Autonomous Driving - Pandaily. — URL: https://pandaily.com/baidu-apollo-launches-camera-based-solution-for-level-4-autonomous-driving (дата обращения: 01.10.2025).

436. SenseFoundry - Digital City Operation - SenseTime. — URL: https://www.sensetime.com/en/product-business?categoryId=1077 (дата обращения: 01.10.2025).

437. DJI Automotive Autonomous Driving Business Analysis Report: Leading the NOA Market by Virtue of Unique Technology Route - ResearchAndMarkets.com. — URL: https://www.businesswire.com/news/home/20240815963940/en/DJI-Automotive-Autonomous-Driving-Business-Analysis-Report-Leading-the-NOA-Market-by-Virtue-of-Unique-Technology-Route---ResearchAndMarkets.com (дата обращения: 01.10.2025).

438. Macey J. New Intelligent Drone Hangar to Advance Autonomous Operations | UST // Unmanned Systems Technology. — URL: https://www.unmannedsystemstechnology.com/2025/06/new-intelligent-drone-hangar-to-advance-autonomous-operations/ (дата обращения: 01.10.2025).

439. McNabb M. JOUAV Introduces Fixed + Mobile UAS Inspection System for Power Grids. — URL: https://dronelife.com/2025/03/06/jouav-introduces-fixed-mobile-uas-inspection-system-for-power-grids/ (дата обращения: 01.10.2025).

440. Autel Evo MAX – 720° Obstacle Avoidance – Infinit Drones Corp. — URL: https://www.infinitdrones.com/products/autel-evo-max (дата обращения: 01.10.2025).

441. UAV Obstacle Avoidance Radar MR72-Hunan Nanoradar Science &Technology_Accurate Detection. — URL: https://en.nanoradar.cn/Products_1/6.html (дата обращения: 01.10.2025).

442. DJI's Livox introduces 500 meter lidar with unique scanning pattern | Geo Week News. — URL: https://www.geoweeknews.com/news/djis-livox-introduces-500-meter-lidar-with-unique-scanning-pattern (дата обращения: 01.10.2025).

443. Экстренная связь с помощью беспилотника China Unicom на большой дальности полета прошла успешную проверку, скорость загрузки базовой станции достигла 10 Мбит/с - China Unicom China Unicom - cnBeta.COM. — URL: https://www.cnbeta.com.tw/articles/tech/1339981.htm (дата обращения: 01.10.2025).

444. Китайская корпорация спутниковой связи настаивает на реформах и инновациях, постоянно повышает качество листингуемых компаний и ускоряет трансформацию и развитие. — URL: http://www.sasac.gov.cn/n4470048/n29955503/n30329277/n30329323/c32872513/content.html (дата обращения: 01.10.2025).

445. CW-80E Large Commercial Drone | 25kg Payload, 10hr Endurance - JOUAV. — URL: https://www.jouav.com/products/cw-80e.html (дата обращения: 01.10.2025).

446. JOUAV Launches CW-80E Satellite Communication UAV at the 14th China Zhuhai Airshow. — URL: https://www.jouav.com/news/cw-100-gen-2-uav-launching.html (дата обращения: 01.10.2025).

447. SATPRO. — URL: https://satpro.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

448. SATPRO | Products — URL: https://www.satpro.com/products_view.asp?id=150 (дата обращения: 01.10.2025).

449. Обзор компании Zongshen Aero Engine. — URL: https://flo.host/vfy9B86/ (дата обращения: 01.10.2025).

450. Web Technologies used by Dlengine.com. — URL: https://w3techs.com/sites/info/dlengine.com (дата обращения: 01.10.2025).

451. Xiamen Limbach Aircraft Engine Co., Ltd. — URL: https://www.made-in-china.com/showroom/limbachaircraft (дата обращения: 01.10.2025).

452. Professional Motor Manufacturer for BG Motor_DC Motor_AC Universal Motor_DC Brushless Motor_Customizable Motor. — URL: https://www.china-bgmotor.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

453. Uav Motor Manufacturer, Brushless DC Motor, Brush DC Motor Supplier - DONGYANG JC MOTOR CO., LTD. — URL: https://jcmotor.en.made-in-china.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

454. T-MOTOR: Leading UAV Propulsion System Innovator. — URL: https://uav-en.tmotor.com/Company/AboutUs/ (дата обращения: 01.10.2025).

455. T-MOTOR Inside T-MOTOR's UAV Propulsion Systems // Unmanned Systems Technology. — URL: https://www.unmannedsystemstechnology.com/feature/inside-t-motors-uav-propulsion-systems/ (дата обращения: 01.10.2025).

456. Brushless Drone Motor Manufacturer in India. — URL: https://mechtex.com/products/drone-motors (дата обращения: 01.10.2025).

457. Richen Power fly hybrid hexacopter for over seven hours – sUAS News. — URL: https://www.suasnews.com/2018/01/richen-power-fly-hybrid-hexacopter-seven-hours/ (дата обращения: 01.10.2025).

458. Drones & Hybrid Engine | Manufacturer China. — URL: https://www.richenpower.com (дата обращения: 01.10.2025).

459. Zhuhai SVFFI Aviation Technology Co., Ltd. Official website Oil-electric hybrid power drone long life multi-rotor power motor ESC propeller. — URL: http://www.svffi.com/en (дата обращения: 01.10.2025).

460. DLE. — URL: https://www.dlengine.com/en/about-us/ (дата обращения: 01.10.2025).

461. Engine Manufacturer, 23kg Engine, 40kg Engine Supplier - Shandong Lianxin Power Technology Co., Ltd. — URL: https://lianxindongli.en.made-in-china.com/?pv_id=1j1vequtg13b&faw_id=null&bv_id=1j1ver43de82 (дата обращения: 01.10.2025).

462. Blower Accessories Factory, Company, Manufacturers - FENGCHENG HONGBO TURBO CO,.LTD. — URL: https://www.hongboturbo.net/aboutus (дата обращения: 01.10.2025).

463. Малый турбореактивный двигатель для БПЛА, дронов, тяга 400 Н, OEM. — URL: https://turbokoo.com/ru/product/small-turbojet-engine-uavs-drones-400n-thrust/ (дата обращения: 01.10.2025).

464. Atlas H100 - HiTS (Shanghai) Hydrogen Power Technology Co., Ltd. — URL: https://www.shhits.com.cn/en/product/%E6%93%8E%E5%A4%A9h100.html (дата обращения: 01.10.2025).

465. Zhejiang Hydrogen Technology Co., Ltd. — URL: https://www.hydrogencraft.com/en/index.php/hangkong.html (дата обращения: 01.10.2025).

466. Aviation Power. — URL: https://www.hydrogencraft.com/en/index.php/hangkong.html (дата обращения: 01.10.2025).

467. HyPACE. — URL: https://hypace.in/ (дата обращения: 01.10.2025).

468. Custom Battery Pack Manufacturing & Energy Storage Solutions. — URL: https://holobattery.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

469. Lithium-Ion Battery Pack Design & Manufacturing Q&A. — URL: https://holobattery.com/lithium-ion-battery-pack-design-manufacturing-qa/ (дата обращения: 01.10.2025).

470. Contemporary Amperex Technology Co., Ltd. — URL: https://www.catl.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

471. China's CATL Unveils Battery to Power Electric Aircraft | Commercial UAV News. — URL: https://www.commercialuavnews.com/international/china-s-catl-unveils-battery-to-power-electric-aircraft (дата обращения: 01.10.2025).

472. Lithium Ion Battery - 22.2V For Drone. — URL: https://artekgroup.in/drone-lithium-ion-batteries-india/ (дата обращения: 01.10.2025).

473. Fpv Drone Batteries Manufacturer, Solid State Uav Batteries, Lipo Batteries for Drones Supplier - SunLipo Energy (Shenzhen) Co., Ltd. — URL: https://sunlipo.en.made-in-china.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

474. Carbon-Fiber UAV. — URL: https://www.carbonfiberuav.com/aboutus.html (дата обращения: 01.10.2025).

475. Jinbo Carbon Co., Ltd. — специализируется на исследованиях, разработке, производстве и продаже углеродных композиционных материалов и изделий. — URL: https://www.kbcarbon.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

476. China UAV And Drone 3K Carbon Fiber Sheet Manufacturers and Factory - High Strength Carbon Fiber Plate Wholesale - XINBO COMPOSITE. — URL: https://www.composite-china.com/uav-and-drone-3k-carbon-fiber-sheet (дата обращения: 01.10.2025).

477. BLT: A Pioneering Force in Chinese Metal 3D Printing - 3DPrint.com | Additive Manufacturing Business. — URL: https://3dprint.com/302153/blt-a-pioneering-force-in-chinese-metal-3d-printing/ (дата обращения: 01.10.2025).

478. BLT: A Pioneering Force in Chinese Metal 3D Printing Shines at Formnext. — URL: https://www.xa-blt.com/en/news/blt-a-pioneering-force-in-chinese-metal-3d-printing-shines-at-formnext-2/ (дата обращения: 01.10.2025).

479. 3D Printing Financials: Unpacking Farsoon and BLT's 2023 Performance - 3DPrint.com | Additive Manufacturing Business. — URL: https://3dprint.com/308414/3d-printing-financials-unpacking-farsoon-and-blts-2023-performance/ (дата обращения: 01.10.2025).

480. China Metal 3D Printing, MJF 3D Printing, SLS 3D Printing Suppliers, Manufacturers, Factory - JR TECH. — URL: https://www.china-3dprinting.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

481. Wipro 3D Metal and Polymer Additive Manufacturing. — URL: https://www.wipro-3d.com/ (дата обращения: 01.10.2025).

482. Рой дронов «Геоскан Пионер» | ГК «Геоскан». — URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/pioneer/drone-swarm (дата обращения: 30.05.2025).

483. Как «Геоскан» помогает дронам ориентироваться в помещении - Журнал Стратегия. — URL: https://strategyjournal.ru/innovatsii/geoskan-pomozhet-dronam-orientirovatsya-v-pomeshhenii/ (дата обращения: 30.05.2025).

484. Беспилотные самолеты Геоскан. — URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/bespilotnie-samoleti (дата обращения: 30.05.2025).

485. Геоскан: как выбрать БВС. — URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/bpla (дата обращения: 01.10.2025).

486. Геоскан Gemini | ГК «Геоскан». — URL: https://www.geoscan.ru/ru/products/gemini (дата обращения: 01.10.2025).

487. Беспилотный летательный аппарат Геоскан 401 — ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ. — URL: https://www.gsi.ru/catalog/bpla/geoskan401 (дата обращения: 30.05.2025).

488. Supercam S350 // SUPERCAM. — URL: https://supercam.aero/catalog/supercam-s350 (дата обращения: 01.10.2025).

489. Supercam X4 // SUPERCAM. — URL: https://supercam.aero/catalog/supercam-x4 (дата обращения: 01.10.2025).

490. Supercam X4E // SUPERCAM. — URL: https://supercam.aero/catalog/supercam-x6m2 (дата обращения: 01.10.2025).

491. Группа компаний «Аэромакс» - ООО «АВС». — URL: https://www.aeromax-group.ru/group-avs/ (дата обращения: 01.10.2025).

492. «Аэромакс» и «АВС» начнут совместно разрабатывать новые беспилотные вертолеты — URL: https://www.aeromax-group.ru/ajeromaks-i-avs-nachnut-sovmestno-razrabatyvat-novye-bespilotnye-vertolety/ (дата обращения: 01.10.2025).

493. «Аэромакс» будет внедрять водородные технологии для гражданских беспилотников. — URL: https://www.aeromax-group.ru/ajeromaks-budet-vnedrjat-vodorodnye-tehnologii-dlja-grazhdanskih-bespilotnikov/ (дата обращения: 01.10.2025).

494. Столичный производитель представил отечественные гражданские БПЛА на водороде. — URL: https://www.aeromax-group.ru/stolichnyj-proizvoditel-predstavil-otechestvennye-grazhdanskie-bpla-na-vodorode/ (дата обращения: 01.10.2025).

495. Российские компании «Аэромакс», «ИКАР» и «Центр водородных технологий» представили свои разработки на выставке UMEX и SimTEX 2024 в Абу-Даби. | «Аэромакс». — URL: https://www.aeromax-group.ru/rossijskie-kompanii-ajeromaks-ikar-i-centr-vodorodnyh-tehnologij-predstavili-svoi-razrabotki-na-vystavke-umex-i-simtex-2024-v-abu-dabi/ (дата обращения: 01.10.2025).

496. Московская «Аэромакс» представила беспилотный вертолет с водородным двигателем. — URL: https://tender.russiandrone.ru/news/moskovskaya_aeromaks_predstavila_bespilotnyy_vertolyet_s_vodorodnym_dvigatelem/ (дата обращения: 01.10.2025).

497. «Аэромакс» приобрел долю в компании «АС-КАМ». — URL: https://www.aeromax-group.ru/ajeromaks-priobrel-dolju-v-kompanii-as-kam/ (дата обращения: 01.10.2025).

498. «Аэромакс» запустил производство гражданских беспилотных вертолетов в индустриальном парке «Руднево» | «Аэромакс». — URL: https://www.aeromax-group.ru/ajeromaks-zapustil-proizvodstvo-grazhdanskih-bespilotnyh-vertoletov-v-industrialnom-parke-rudnjovo/ (дата обращения: 01.10.2025).

499. ГРУППА КОМПАНИЙ «ИКАР»: ведущий инженерно-производственный холдинг. — URL: https://ikarcenter.ru/ (дата обращения: 01.10.2025).

500. Новые разработки в сфере БАС показали на выставке «HeliRussia» 2024. — URL: https://ikarcenter.ru/news_feed/novie-razrabotki-v-sfere-grajdanskih-bespilotnih-sistem-pokazali-na-vistavke-helirussia (дата обращения: 01.10.2025).

501. Производство // ГК «Икар». — URL: https://ikarcenter.ru/proizvodstvo (дата обращения: 01.10.2025).

502. Новейший российский беспилотник с гибридным двигателем получил искусственный интеллект. — URL: https://tass.ru/armiya-i-opk/11153275 (дата обращения: 01.10.2025).

503. Изделие 51-Э — барражирующий боеприпас. — URL: https://zala-aero.com/product/izd-51-e/ (дата обращения: 01.10.2025).

504. ZALA Z-16: корректировка и объективный контроль удара ОТРК «Искандер» по силам противника. ZALA Z-16. — URL: https://zala-aero.com/news/zala-z-16-korrektirovka-i-obektivnyj-kontrol-udara-otrk-iskander-po-silam-protivnika/ (дата обращения: 01.10.2025).

505. Изделие 52-Э — барражирующий боеприпас. — URL: https://zala-aero.com/product/izdelie-52-e/ (дата обращения: 01.10.2025).

506. Portnews ЦКБ МТ «Рубин» представил на «Армии-2023» автономный подводный аппарат «Аргус». — URL: https://portnews.ru/news/351908/ (дата обращения: 01.10.2025).

507. Portnews ЦКБ МТ «Рубин» показало на «Армии-2023» робототехнический комплекс для круглогодичной сейсморазведки в Арктике. — URL: https://portnews.ru/news/351867/ (дата обращения: 02.10.2025).

508. Витязь (подводный) // RoboTrends. — URL: https://robotrends.ru/robopedia/vityaz-1 (дата обращения: 02.10.2025).

509. ЦКБ МТ Рубин: Комплекс «Витязь-Д». — URL: https://ckb-rubin.ru/proekty/robototekhnika/kompleks_vitjaz_d/ (дата обращения: 02.10.2025).

510. Комплекс «Витязь-Д» вошел в ТОП главных достижений современной России. — URL: https://fpi.gov.ru/press/news/kompleks-vityaz-d-voshel-v-top-glavnykh-dostizheniy-sovremennoy-rossii/ (дата обращения: 02.10.2025).

511. Специалисты ЦКБ МТ «Рубин» подробно рассказали о глубоководном комплексе «Витязь-Д». — URL: https://spbvedomosti.ru/news/country_and_world/spetsialisty-tskb-mt-rubin-podrobno-rasskazali-o-glubokovodnom-komplekse-vityaz-d-/ (дата обращения: 02.10.2025).

512. Surin S.N., Balakin A.V., Musatov E.A., Chelpanov A.S., Rozhkov Yu.E., Popko A.O. EXPERIENCE IN MARINE ROBOTIC PLATFORM DEVELOPMENT FOR LIGHT-WEIGHT CLASS AUV // Podvodnye issledovaniia i robototehnika. — 2022. — № 1. — С. 4-16.

513. Сурин С. Н., Мусатов Е. А., Попко А. О. Перспективная модульная платформа морских робототехнических средств //II Научно-практическая конференция по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности «RoboEmercom». г. Москва – 2022. – С. 212-230.

514. Андросенко Е. НПО «Аврора» создаст подводный беспилотник с воздухонезависимой энергоустановкой. — URL: https://mashnews.ru/minpromtorg-profinansiroval-sozdanie-podvodnogo-bespilotnika-na-vodorode.html (дата обращения: 02.10.2025).

515. Леонова Ю. Выйти в море: запущен в серию первый отечественный тяжелый плавучий дрон. — URL: https://iz.ru/1760598/iuliia-leonova/vyiti-v-more-zapushchen-v-seriiu-pervyi-otechestvennyi-tiazhelyi-plavuchii-dron (дата обращения: 02.10.2025).

516. Визир-700 // RoboTrends. — URL: https://robotrends.ru/robopedia/vizir-700 (дата обращения: 02.10.2025).

517. Продукты // Центр технологических проектов СПбПУ. — URL: https://dtp.spbstu.ru/userfiles/files/dtp-products.pdf (дата обращения: 02.10.2025).

518. Политех в «Приоритет-2030» // Офис технологического лидерства СПбПУ. — URL: https://strategy.spbstu.ru/userfiles/files/buklet_prioritet_ot-10_11_2023_compressed.pdf (дата обращения: 02.10.2025).

519. Portnews «Тетис Про» планирует создать ТНПА для автономных судов к 2028 году. — URL: https://portnews.ru/news/353611/ (дата обращения: 02.10.2025).

520. Искусственный интеллект в бортовых системах управления морской робототехники резидентного типа. — URL: https://oceanos.ru/news/614 (дата обращения: 02.10.2025).

521. Океанос внедряет искусственный интеллект в морскую робототехнику. — URL: https://www.korabel.ru/news/comments/okeanos_vnedryaet_iskusstvennyy_intellekt_v_morskuyu_robototehniku.html (дата обращения: 02.10.2025).

522. Высокоскоростная беспроводная оптическая связь // АО «НПП ПТ «Океанос». — URL: https://oceanos.ru/resident_optic (дата обращения: 02.10.2025).

523. Семейство БПЛА «Снегирь» | Центр НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии». — URL: https://nticenter.spbstu.ru/nti_projects/151 (дата обращения: 02.10.2025).

524. Разработка БПЛА «Снегирь-1» — URL: https://nticenter.spbstu.ru/nti_projects/151 (дата обращения: 04.08.2025) (дата обращения: 02.10.2025).

525. Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг» СПбПУ – цифровые технологии и платформенные решения для промышленности. — URL: https://pish.spbstu.ru/ (дата обращения: 06.06.2025).

526. Виртуальный аэродинамический полигон для тестирования беспилотных летательных аппаратов - FEA.RU | CompMechLab - разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/HPC. — URL: https://fea.ru/article/virtualnyj-aerodinamicheskij-poligon-dlya-testirovaniya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov (дата обращения: 30.05.2025).

527. Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг» выиграла стратегически важный конкурс и заключила контракт с АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем». — URL: http://technet.spbstu.ru/news/8904 (дата обращения: 02.10.2025).

528. Создан цифровой полигон для испытания двойников БПЛА. — URL: https://tass.ru/nauka/21614963 (дата обращения: 02.10.2025).

529. Созданный в МФТИ (Участник НАУРР) цифровой полигон ускорит разработку российских БПЛА. — URL: https://robotunion.ru/glavnaya/tpost/zf2rhrlj31-sozdannii-v-mfti-uchastnik-naurr-tsifrov (дата обращения: 02.10.2025).

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



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



Функциональные характеристики отечественных систем технологической подготовки производства (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. Понятева, 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-Зууави, И.А. Скогликов; под ред. А.И. Боровкова. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 243 с.



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



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



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



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



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



Функциональные характеристики отечественных систем управления оборудованием с числовым программным управлением (CAM-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова [и 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
Рождественский Олег Игоревич
Павлова Елизавета Ивановна
Поняева Ирина Игоревна
Чхеидзе Екатерина Павловна
Старостенко Анастасия Андреевна
Распопина Полина Станиславовна
Голякевич Артем Сергеевич
Чварков Сергей Анатольевич
Корчков Михаил Юрьевич
Луковникова Наталья Михайловна
Андреев Иннокентий Борисович
Ольховик Александра Олеговна
Джелали Полина Александровна

ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В РОССИИ И СТРАНАХ – УЧАСТНИЦАХ БРИКС

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

Монография

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 16.12.2025. Формат 60×84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 31,0. Тираж 300. Заказ 5858.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.